

1 – PRESENTATION DU MODULE AU SEIN DU CVS

1.1 Organes connectés au module PM3

Le module PM3 – **Figure C.1** - est connecté au module PM2 qui lui fournit une tension continue. La sortie du module PM3 est un réseau triphasé avec neutre. Les ordres de commandes de PM3 sont issus de la carte de commande électronique. Des mesures ont montré que :

- le module PM3 est alimenté en 640 V continue en mode 50 Hz
- le module PM3 est alimenté en 720 V continue en mode 60 Hz

Les explications complémentaires concernant les modules PM1 et PM2 sont proposées au paragraphe 1.1 de la partie B.

1.2 Caractéristiques électriques du réseau triphasé

Les caractéristiques de ce réseau sont les suivantes (les valeurs des courants et des tensions sont des valeurs efficaces) :

- ❑ 3*400V - 50Hz ou 3*460V - 60Hz
- ❑ Le neutre du réseau est accessible => les charges connectées peuvent être déséquilibrées
- ❑ Courant de déséquilibre < 3A
- ❑ Courant permanent de sortie = 42A
- ❑ Courant maximum de sortie = 120A pendant 10s (temps du démarrage des compresseurs de climatisation)

2 - PRESENTATION THEORIQUE DU MODULE

Le module PM3 est un onduleur de tension – **Figure C.2**. Il permet de transformer une tension continue d'entrée nommée '*bus DC*' en un réseau triphasé avec neutre accessible.

Une photographie du module – **Figure C.3** - permet de repérer assez facilement les différentes fonctions et organes présents autour de la structure de base que constitue le '*module IGBT*'

Un schéma simplifié de cet onduleur est proposé **Figure C.4**. Le module IGBT est constitué de 6 interrupteurs élémentaires (3 cellules de 2 interrupteurs) et d'une source de tension (E_1 ; E_2) avec point milieu. La source de tension constituée de E_1 et E_2 est créée par le module PM2.

3 – ETUDE DU MODULE PM3

Le but de cette étude est de valider partiellement le fonctionnement et les choix faits pour le module PM3. On s'intéressera tout d'abord aux concepts de base d'une structure d'onduleur monophasé, puis on étendra l'étude aux onduleurs triphasés.

3.1 Principes Fondamentaux – Onduleur monophasé.

L'étude sera faite avec une charge identique d'un mode de fonctionnement à l'autre. Cette charge n'est pas représentative de la charge réelle variable en fonction des besoins sur le tramway mais elle permet de valider les principaux concepts relatifs à l'onduleur.

D'un point de vue structure avec une cellule seule, il est possible de générer une onde tension comportant une composante alternative, mais obligatoirement superposée à une composante continue. Pour éliminer cette dernière, il est indispensable d'utiliser un montage différentiel.

Pour réaliser ce montage différentiel, on utilise couramment d'un point de vue structure soit deux sources continues de la moitié de la source de départ, soit un diviseur capacitif – **Figure C.5** - et le plus souvent la tension découpée d'une seconde cellule dont le point de repos est la moitié de la tension continue de départ.

L'équivalence entre ces structures est totale et nous travaillerons dans ce paragraphe avec des structures à 2 cellules.

Les interrupteurs (K_1, K_2) et (K_3, K_4) forment une cellule de commutation. On rappelle que :

- les interrupteurs de la cellule de commutation ne peuvent pas être simultanément passants
- les interrupteurs de la cellule de commutation ne peuvent pas être simultanément bloqués

Les cellules de commutation portent également le nom de « bras d'onduleurs ».

3.1.1 Onduleur monophasé en pont – mode bipolaire – commande non modulée

On considère le montage onduleur de la **Figure C.6**. La source en entrée est une source de tension continue. La source en sortie est une source de courant alternative constituée d'une inductance L en série avec une résistance R . Les interrupteurs sont supposés ici parfaits

Fonctionnement pour une commande non modulée :

$t \in [0, T_d/2]$, les interrupteurs K_1 et K_4 sont passants.

$t \in [T_d/2, T_d]$, les interrupteurs K_2 et K_3 sont passants.

QC1 – Compléter le document réponse REPC1 donnant la forme d'onde des tensions $v_{K1}(t)$, $v_{K3}(t)$ et $v_s(t)$. Préciser $\langle V_s \rangle$ la valeur moyenne de $v_s(t)$. Justifier par une analyse fine si nécessaire chacune des réponses.

QC2 – Pour $t \in [0, T_d/2]$, écrire l'équation différentielle régissant l'évolution de $i_s(t)$. En déduire l'expression de $i_s(t)$ si $i_s(0) = I_{min}$.

QC3 – Pour $t \in [T_d/2, T_d]$, écrire l'équation différentielle régissant l'évolution de $i_s(t)$. En déduire l'expression $i_s(t)$ en partant d'une condition initiale $i_s(T_d/2) = I_{max}$.

QC4 - Déterminer les expressions analytiques de I_{min} et I_{max} . Faire l'application numérique.

QC5 – La décomposition en série de Fourier du signal $v_s(t)$ permet de le mettre sous la forme :

$$v_s(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} v_{s_n} \cdot \sin(n(\theta - \varphi_{s_n})) \text{ avec } v_{s_n} = \frac{4E}{n\pi} \text{ pour } n \text{ impair et } \varphi_{s_n} = 0$$

QC6 – Représenter sur le document réponse REPC2 l'amplitude des 11 premiers harmoniques de la tension $v_s(t)$. Vous préciserez sur le graphique l'amplitude correspondant à chacun des harmoniques non nuls.

QC7 – Calculer $\hat{I}_{s1}$, l'amplitude du fondamental du courant $i_s(t)$. Calculer φ_1 , le déphasage entre le fondamentale de $i_s(t)$ et de $v_s(t)$.

QC8 - Calculer $\hat{I}_{s3}$, l'amplitude de l'harmonique 3 de $i_s(t)$. Calculer φ_3 , le déphasage entre les harmoniques 3 de $i_s(t)$ et de $v_s(t)$.

QC9 - Tracer sur le document réponse REPC1 le courant $i_s(t)$ et le fondamental de $i_s(t)$

QC10 – Conclusions :

Commenter la richesse ou non du spectre de $v_s(t)$. Justifier la nullité des harmoniques pairs.

Commenter la possibilité de filtrage de la tension.

Quelle est l'amplitude des discontinuités de tension que subissent les cellules de commutation et la tension de sortie.

Commenter la possibilité du réglage de la valeur efficace du fondamental de la tension.

Comparer $\hat{I}_{s1}$ et $\hat{I}_{s3}$ et conclure sur l'allure du courant $i_s(t)$.

3.1.2 Onduleur monophasé en pont – mode unipolaire – commande non modulée

Le réglage de la valeur efficace du fondamental est possible en modifiant le déphasage relatif de la commande des 2 cellules ou en modulant la largeur de l'impulsion de commande des cellules.

On considère à nouveau le montage onduleur de la **Figure C.6** avec des commandes différentes.

Fonctionnement pour une commande non modulée

- les interrupteurs K_1 et K_2 ont des commandes complémentaires.
- les interrupteurs K_1 et K_4 ont des commandes décalées d'un angle α .

QC11 – Compléter le document réponse REPC3 donnant la forme d'onde des tensions $v_{K1}(t)$, $v_{K3}(t)$ et $v_s(t)$. Préciser $\langle V_s \rangle$ la valeur moyenne de $v_s(t)$.

QC12 – Montrer que la décomposition en série de Fourier du signal $v_s(t)$ peut se mettre sous la forme : $v_s(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} v_{s_n} \cdot \sin(n(\theta - \varphi_{s_n}))$. avec $v_{s_n} = \frac{4E}{n\pi} \cdot \cos(n\alpha)$ pour n impair et $\varphi_{s_n} = 0$.

QC13 – Dans le cas où $\alpha = \pi / 6$, représenter sur le document réponse REPC4 l'amplitude des 11 premiers harmoniques de la tension $v_s(t)$. Vous préciserez sur le graphique l'amplitude correspondant à chacun des harmoniques non nuls.

QC14 – Conclusions :

Commenter la richesse ou non du spectre de $v_s(t)$. Justifier la nullité des harmoniques pairs et multiples de 3.

Commenter la possibilité de filtrage de la tension.

Quelle est l'amplitude des discontinuités de tension subies par les cellules de commutation et la tension de sortie.

Commenter la possibilité de réglage de la valeur efficace du fondamental de la tension.

QC15 – Calculer la valeur de α qui annulerait l'harmonique 5. Que devient l'amplitude de l'harmonique 3 dans ce cas. Commenter la possibilité de filtrage de la tension.

QC16 – Citer une autre commande dérivée de la commande unipolaire qui permettrait l'annulation des harmoniques 3 et 5, ou 3, 5 et 7.

3.1.3 Onduleur monophasé en pont – mode unipolaire – commande modulée

Il s'agit d'étudier ici les effets de la modulation de largeur de l'impulsion de commande des cellules sur le spectre de la tension de sortie et sur la valeur efficace du fondamental. On ne s'intéressera qu'à une modulation dite adjacente à 180 °.

On considère à nouveau le montage onduleur de la **Figure C.6** avec des commandes modulées cette fois. Le principe de découpage ou de modulation est représenté à la **Figure C.7**.

Fonctionnement pour une commande modulée

- K_1 est fermé quand le signal de modulation est supérieur au signal de découpage.

L'allure de la tension $v_s(t)$ peut varier en fonction du rapport des amplitudes du signal de découpage et du signal modulant, ainsi que du rapport des fréquences f_{tri} et f_{sin} .

QC17 – Compléter le document réponse REPC5 en traçant les intervalles de conduction des interrupteurs K_1 à K_4 et la forme d'onde de la tension $v_s(t)$.

Le spectre de $v_s(t)$ est représenté à la **Figure C.8**.

QC18 – Tracer sur le document réponse REPC5 le fondamental de $v_s(t)$ sur le même graphique que $v_s(t)$.

QC19 – Conclusions :

Valider l'amplitude du fondamentale par rapport aux signaux v_{tri} et v_{sin} .

Commenter la richesse ou non du spectre de $v_s(t)$.

Préciser numériquement puis en fonction de f_{sin} et f_{tri} à quelles fréquences apparaissent les premières raies.

Commenter la possibilité de filtrage de la tension.

Commenter la possibilité de réglage de la valeur efficace du fondamental.

Préciser l'intérêt de cette commande par rapport à la précédente.

3.2 Onduleur Triphasé.

Nous allons nous intéresser dans cette partie aux principes de commande du convertisseur du module PM3 et à l'utilisation de la connexion au neutre.

L'onduleur utilisé offre une structure assez classique. Bien qu'alimenté par un bus continu à point milieu, l'ensemble de l'étude en gardant la source E de l'approche monophasée est toute à fait suffisante dans un premier temps. On travaillera désormais avec la tension E égale à 640 V.

Pour faciliter le tracé des formes d'ondes, nous nous limiterons dans un premier temps à des commandes non modulées de type unipolaire.

Le réseau triphasé étant destiné à l'alimentation de moteurs électriques asynchrone pour la climatisation – **Figure C9** -, et les composants de puissances étant supposés parfaits, l'onduleur et sa charge sont modélisés par la **Figure C.10**.

3.2.1 Calculs préalables.

QC20 – Déterminer l'expression des potentiels v_{1N} , v_{2N} et v_{3N} en fonction de u_{12} , u_{23} et u_{31} . Vous supposerez pour cela que l'actionneur électrique se comporte comme une charge linéaire triphasée équilibrée.

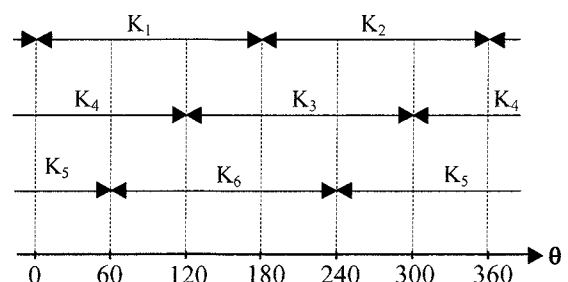
QC21 – En déduire les expressions des potentiels v_{1N} , v_{2N} et v_{3N} en fonction de v_{10} , v_{20} et v_{30} .

QC22 – Déterminer l'expression du potentiel v_{N0} en fonction de v_{10} , v_{20} et v_{30} .

3.2.2 Commande unipolaire non modulée.

Stratégie de commande :

Chaque interrupteur est commandé à l'amorçage pendant 180° . Les commandes des 2 interrupteurs d'une cellule de commutation sont adjacentes. Les commandes des interrupteurs d'un bras sont décalées de 120° par rapport à celles du bras voisin



QC23 - Compléter le document réponse REPC6 donnant la forme d'onde des tensions v_{10} , v_{20} , v_{30} , u_{12} , u_{23} , u_{31} , v_{NO} et v_{IN} .

QC24 – En utilisant les résultats des questions précédentes, préciser la décomposition en série de Fourier des tensions v_{10} , v_{20} et v_{30} sous la forme : $v(\theta) = v_{moy} + \sum_{n=0}^{\infty} V_n \cdot \sin(n\theta)$. Vous préciserez avec soins les coefficients v_{moy} et V_n .

QC25 – En déduire que :

$$v_{IN}(\theta) = \sum_{p=0}^{\infty} \frac{4E}{3 \cdot (2p+1)\pi} \cdot (1 + \cos((2p+1) \cdot \pi/3)) \sin((2p+1) \cdot \theta)$$

On rappelle que $\cos(a) + \cos(b) = 2 \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$

QC26 – Représenter sur le document réponse REPC7 l'amplitude des 11 premiers harmoniques de la tension $v_{IN}(\theta)$. Vous préciserez sur le graphique l'amplitude correspondant à chacun des harmoniques non nuls.

QC27 – Conclusions :

Commenter la richesse ou non du spectre de $v_{IN}(\theta)$.

Préciser à quelles fréquences apparaissent les premières raies.

Commenter la possibilité de filtrage de la tension.

Quelle sont les amplitudes des discontinuités de tension que subissent les cellules de commutation ?

QC28 – La décomposition en série de Fourier de la tension $v_{IN}(\theta)$ fait apparaître a priori une absence totale d'harmonique de rang 3 et multiple de 3. Justifier par un raisonnement exact que ce résultat était prévisible. On rappelle que le neutre de la charge n'est pas relié et que cette charge est linéaire et équilibrée.

Les mesures des harmoniques des courants i_{K1} et i_1 limitées aux 12 premières valeurs ont permis de tracer les spectres de ces courants représentés à la **Figure C.11**.

QC29 – La décomposition en série de Fourier du courant $i_{K1}(t)$ pouvant se mettre sous la forme générique : $i_{K1}(t) = I_{K1_moyen} + \sum_{n=1}^{12} I_{K1_n} \cdot \sin(n\omega t - \alpha_n)$, en déduire l'expression de la décomposition en série de Fourier du courant $i_{K2}(t)$.

QC30 – En déduire la décomposition en série de Fourier du courant $i_1(t)$ et justifier l'absence totale d'harmoniques 3 et 9 sur les courants $i_{K1}(t)$ et $i_{K2}(t)$ pour valider qu'il ne s'agit pas d'une erreur de mesure.

La mesure du courant $i_e(t)$ sur le bus continu fait apparaître un phénomène d'ondulation à une fréquence qu'il faut connaître pour positionner le filtre d'entrée du bus continu et éviter les phénomènes de résonance à cette fréquence.

QC31 – On montre que la décomposition en série de Fourier du courant $i_e(t)$ peut se mettre sous la forme : $i_e(t) = 3.I_{K1_moyen} + \sum_{n=1}^2 3I_{K1_{6n}} \cdot \sin(6n\omega t - \alpha_n)$, si on se limite aux 12 premiers harmoniques pour les courants $i_{K1}(t)$, $i_{K3}(t)$ et $i_{K5}(t)$. Valider les fréquences et les amplitudes du spectre du courant mesuré proposées à la **Figure C.12**.

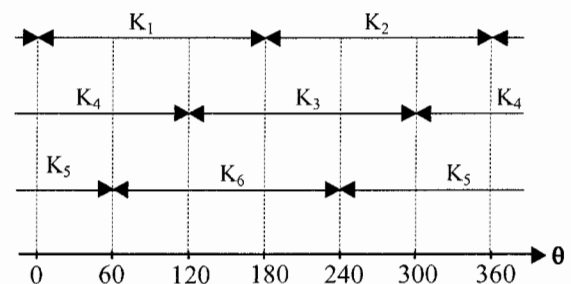
3.2.3 Influence de l'accessibilité du neutre.

L'onduleur mis en place sur le tramway fait apparaître par rapport à la structure étudiée précédemment un neutre accessible. Cette connexion est utilisée entre autre pour la mise en place d'appareillage monophasé de type ordinateur portable pendant des phases de maintenance.

Le point milieu du diviseur capacitif constitue alors la borne neutre. L'onduleur et sa charge reliée au neutre peut s'étudier avec le schéma équivalent de la **Figure C.14**.

Stratégie de commande :

Chaque interrupteur est commandé à l'amorçage pendant 180° . Les commandes des 2 interrupteurs d'une cellule de commutation sont adjacentes. Les commandes des interrupteurs d'un bras sont décalées de 120° par rapport à celles du bras voisin



QC32 - Compléter le document réponse REPC8 donnant la forme d'onde des tensions v_{10} , v_{20} , v_{30} , u_{12} , u_{23} , u_{31} , v_{NO} et v_{IN} .

QC33 – Conclusions :

Quelle sont les amplitudes des discontinuités de tensions simples par rapport au montage avec neutre ?

Comment évoluent les tensions composées par rapport au montage avec neutre ?

QC34 – En présence de charges déséquilibrées ou équilibrées mais avec des courants i_1 à i_3 possédant des harmoniques de rang ou multiple de 3, que devient l'expression du courant dans le neutre. En déduire l'expression du courant i_e en fonctions du courant dans le neutre et des courants dans les interrupteurs.

Comparer cette expression et sa valeur à celle utilisée dans la question QC31.

Préciser dans ce cas l'influence de la connexion au neutre.

3.2.4 Commande unipolaire modulée.

On s'intéresse désormais à la commande de type MLI mise en place effectivement sur cet onduleur triphasé. Le principe de la commande MLI triphasée est présenté à la **Figure C.15**. On tracera les allures des principales tensions pour un rapport de fréquence de 10 et on transposera ensuite ces résultats à la fréquence de l'application dans le cadre de la **Figure C.10**.

Fonctionnement pour une commande modulée

- K_1 , K_3 et K_5 sont fermés quand le signal de modulation est supérieur au signal de découpage.

QC35 – Compléter le document réponse REPC9 en traçant les tensions $v_{10}(t)$, $v_{20}(t)$, $v_{30}(t)$, $u_{12}(t)$, $u_{31}(t)$ et $v_{IN}(t)$. Le schéma étudié ici est celui de la **Figure C.10**

QC36 – Conclusions :

*Le spectre de $v_{IN}(t)$ est donné à la **Figure C.16**. Commenter la richesse ou non du spectre de $v_{IN}(t)$ et son allure sinusoïdale ou non, à priori.*

Préciser à quelles fréquences apparaissent les 1^{ères} raies en fonction des fréquences f_{tri} et f_{sin} . Commenter les avantages de la commande MLI sur la commande précédente.

Quelle sont les amplitudes des discontinuités de tension que subissent les cellules de commutation et celles de la tension $v_{IN}(t)$.

PARTIE C – Figures

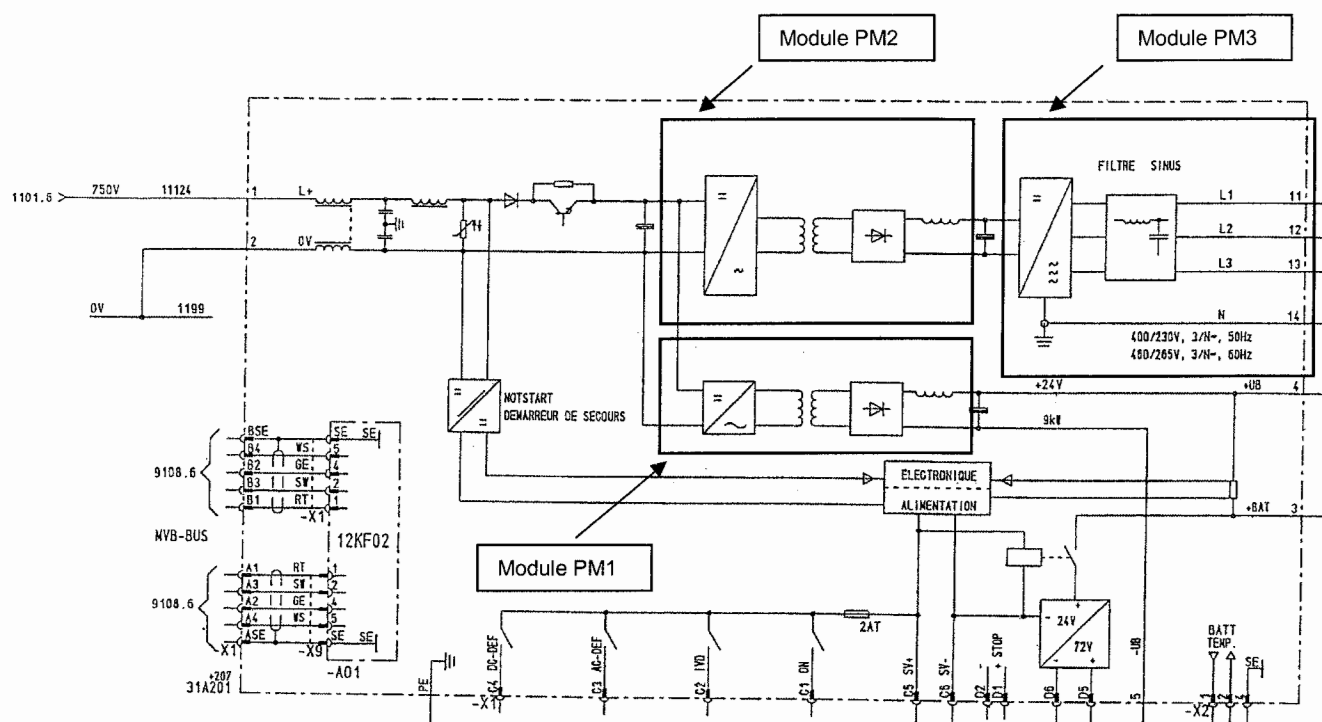


Figure C.1 – Le module PM3 au sein du CVS¹

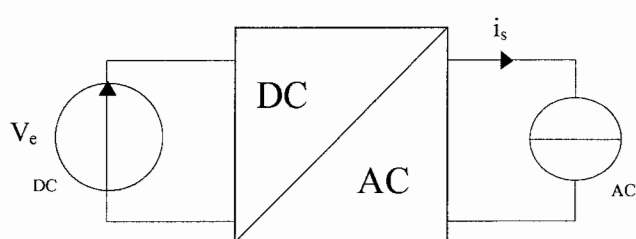


Figure C.2 – Conversion DC/AC

¹ Reproduction partielle avec l'autorisation de la SEMITAN

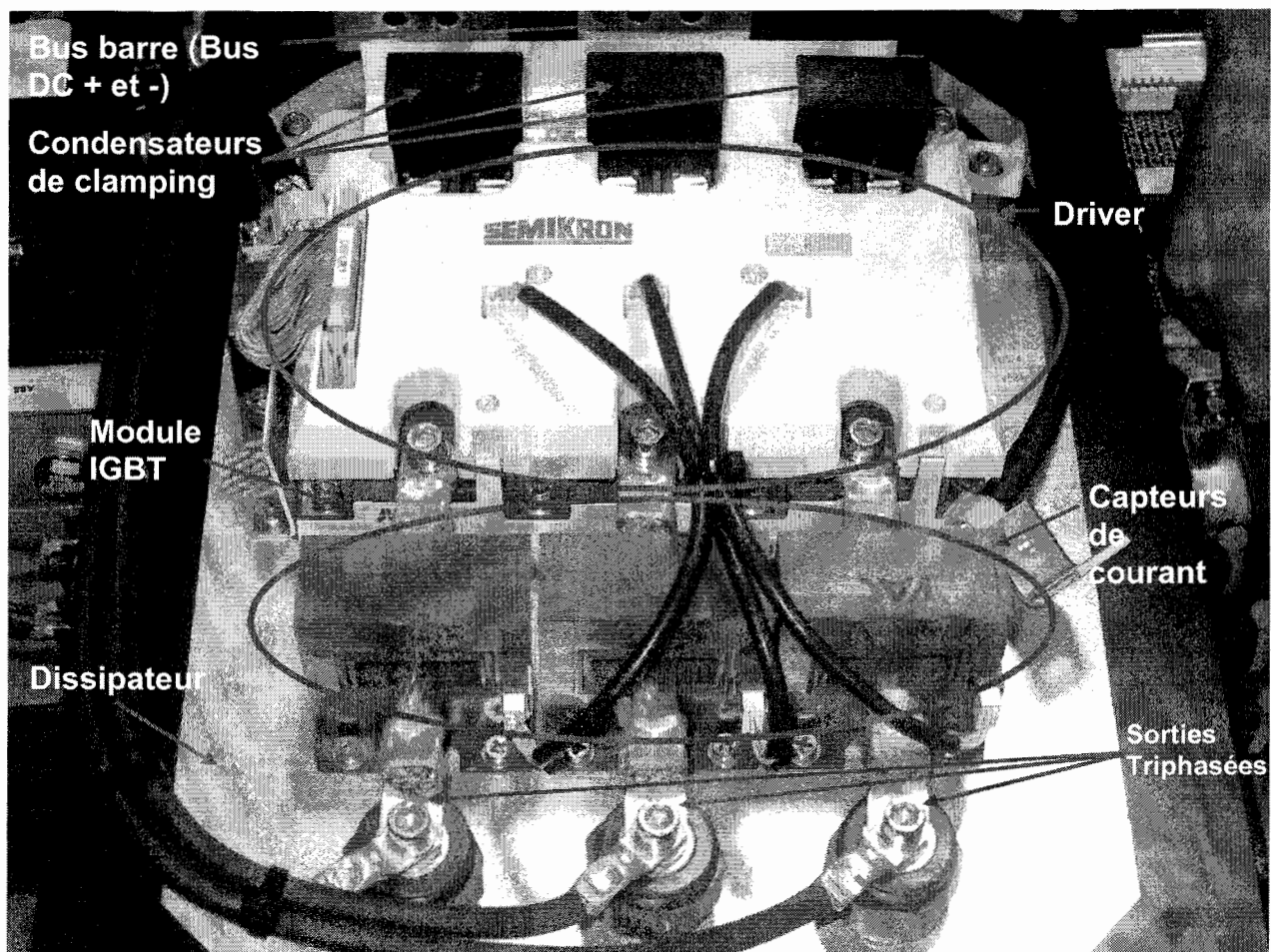


Figure C.3 – Identification physique des fonctions sur le module PM3

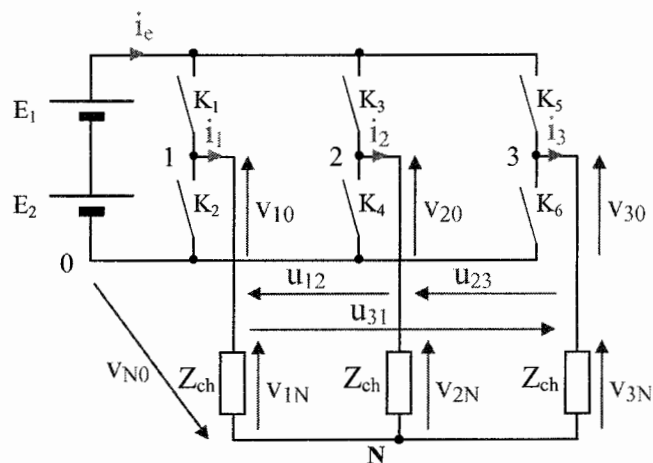
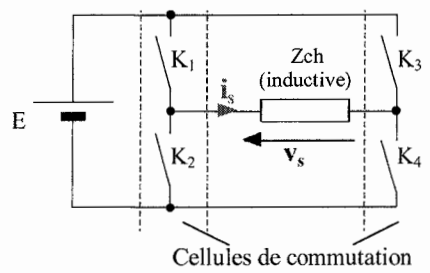
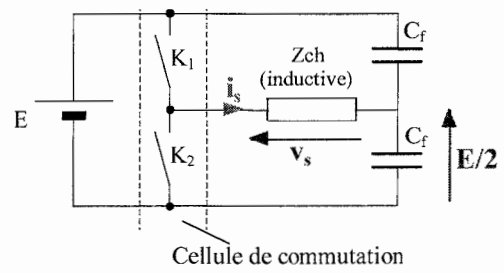


Figure C.4 – Schéma simplifié du module PM3

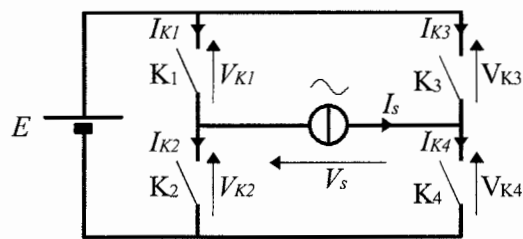


a) Onduleur monophasé à 4 interrupteurs



b) Onduleur monophasé à point milieu capacitif

Figure C.5 – Exemples de structures d'onduleur de tension monophasé



$$E = 100 \text{ V}$$

$$L = 25 \text{ mH} ; R = 6,25 \Omega.$$

$$\text{Fréquence de découpage : } f_d = 50 \text{ Hz.}$$

$$\text{On pose } \theta = \omega t.$$

Figure C.6 – Schéma de principe de l'onduleur monophasé

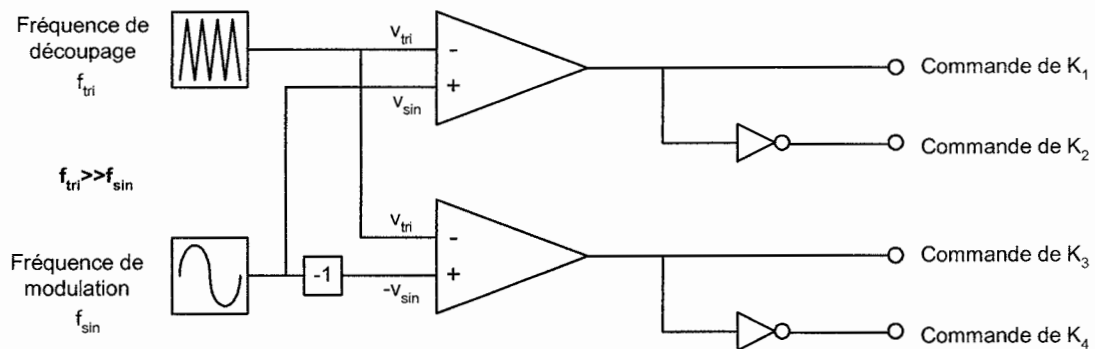


Figure C.7 – Principe de découpage d'une commande MLI adjacente à 180°

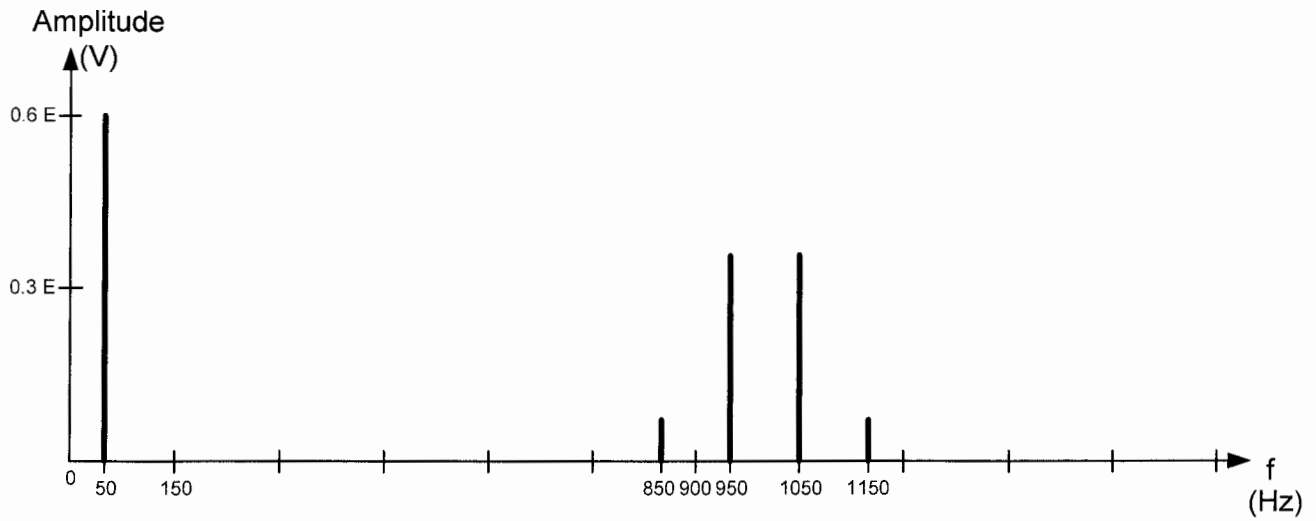


Figure C.8 – Spectre de $v_s(t)$ pour une commande MLI adjacente à 180°

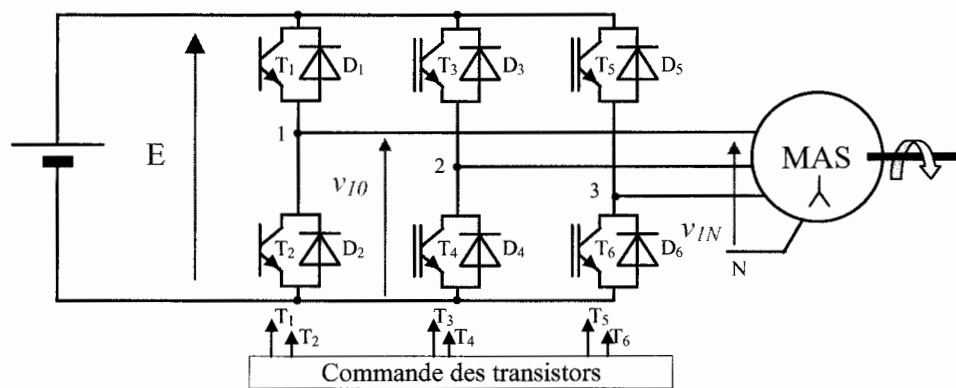


Figure C.9 – Onduleur triphasé du module PM3

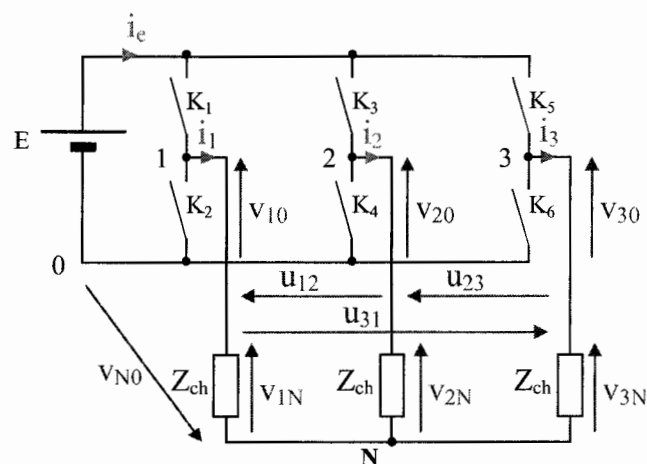


Figure C.10 – Structure de base d'un onduleur triphasé

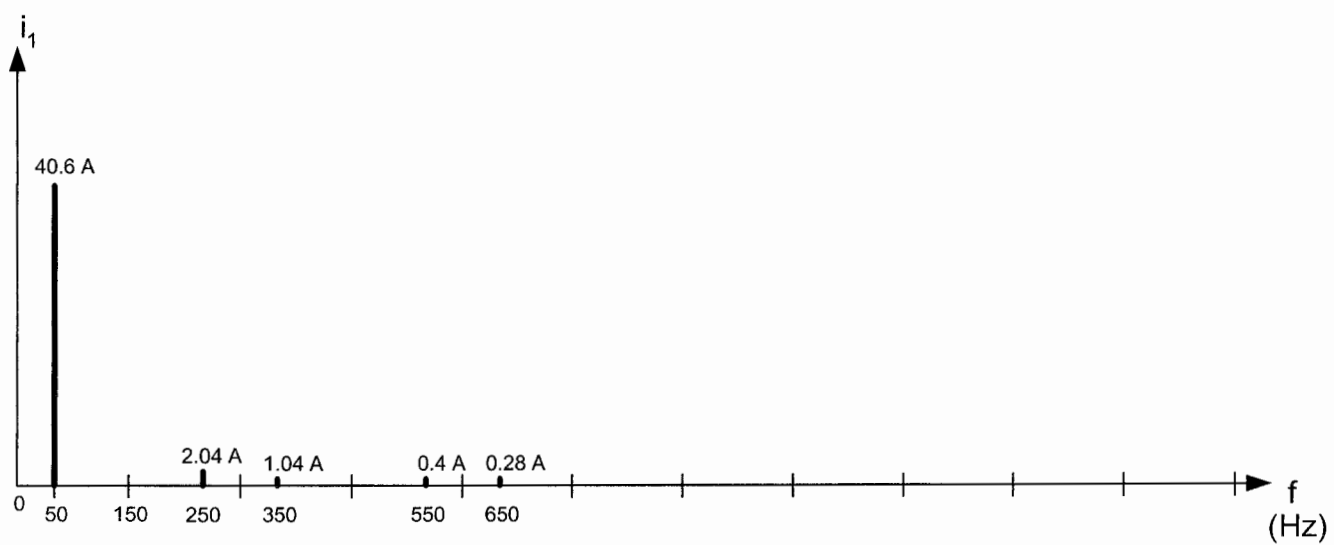
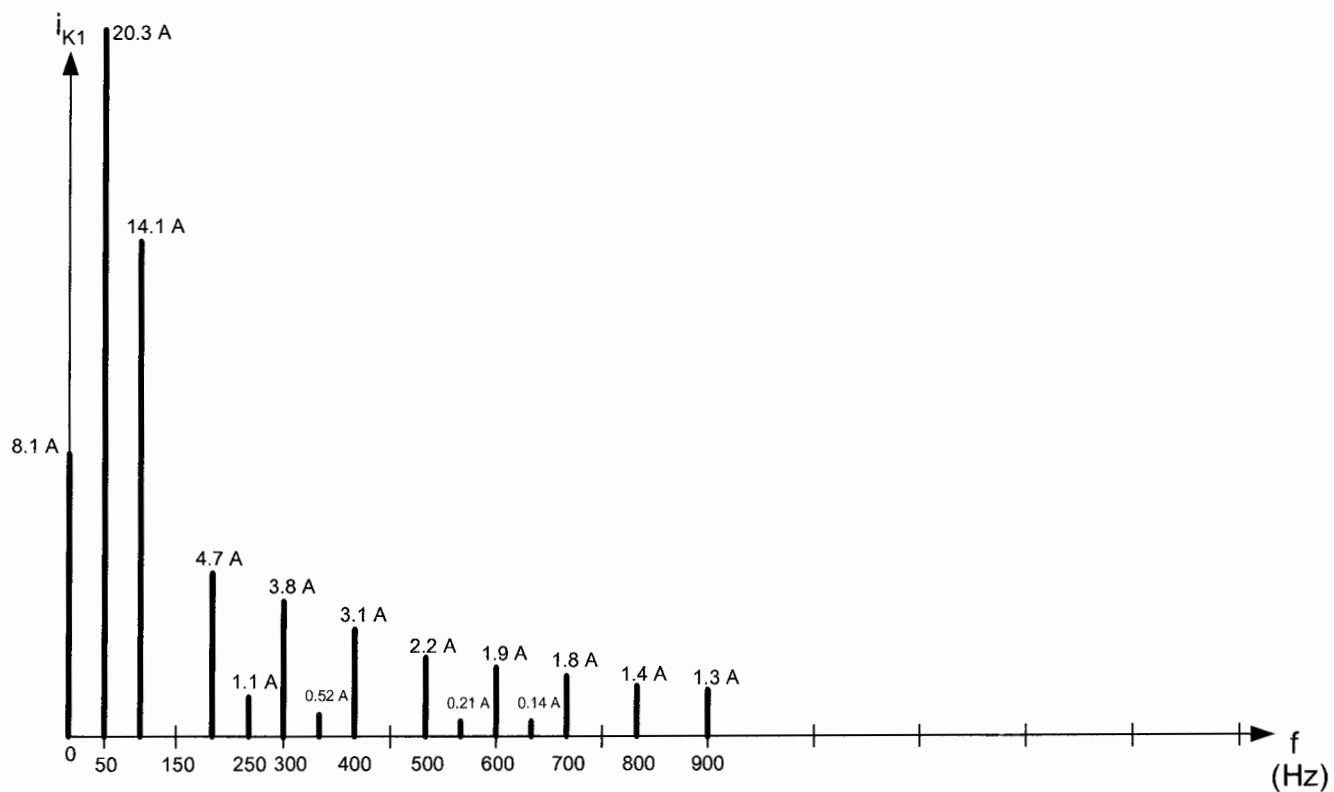


Figure C.11 – Spectres des courants $i_{K1}(t)$ et $i_I(t)$

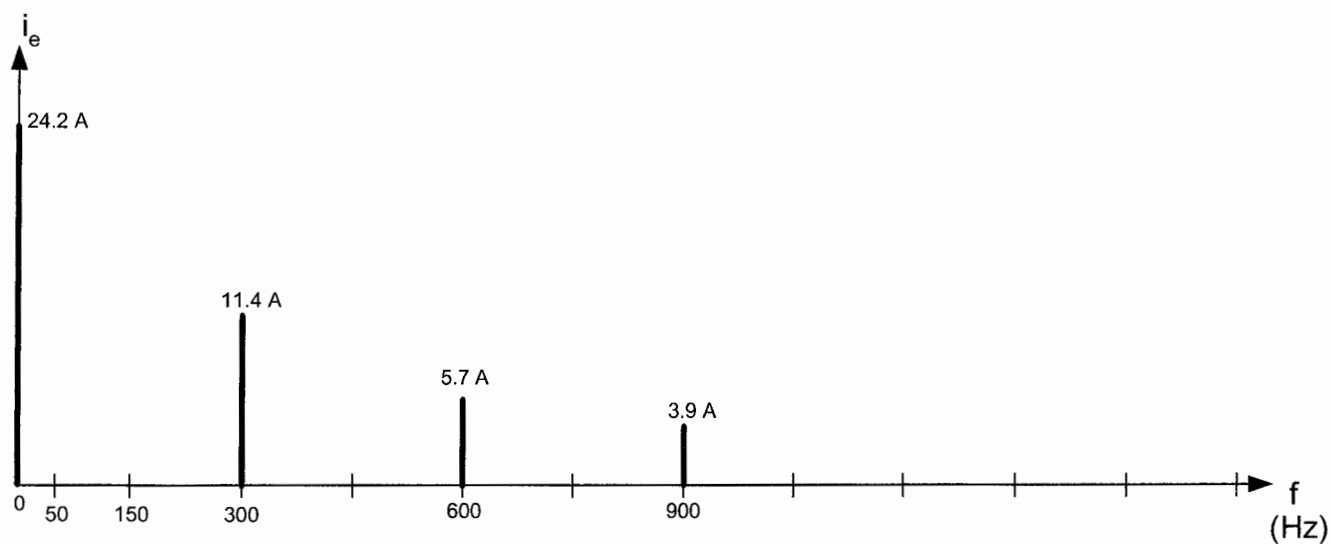


Figure C.12 – Spectre du courant $i_e(t)$

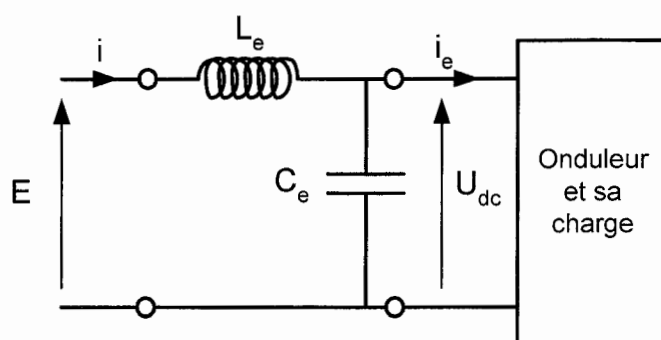


Figure C.13 – Structure générale du filtre d'entrée

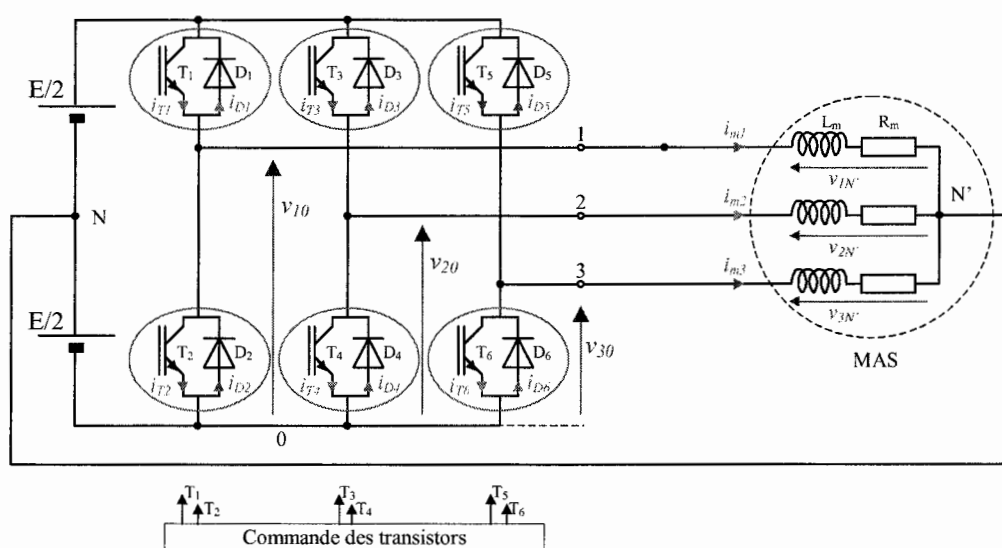


Figure C.14 – Onduleur PM3 avec neutre sorti

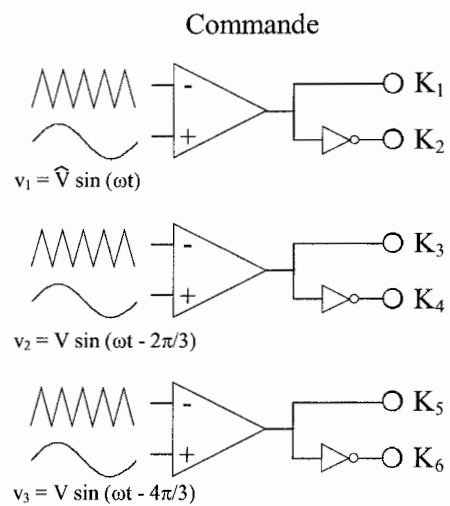


Figure C.15 – *Commande MLI triphasée*

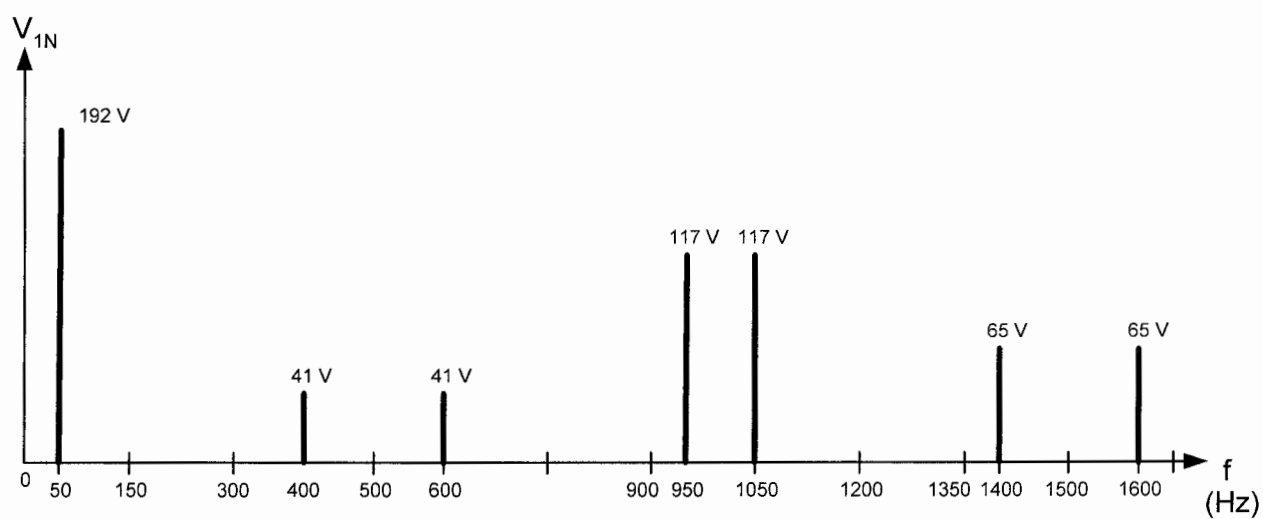


Figure C.16 – *Spectre de $v_{1N}(t)$*

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

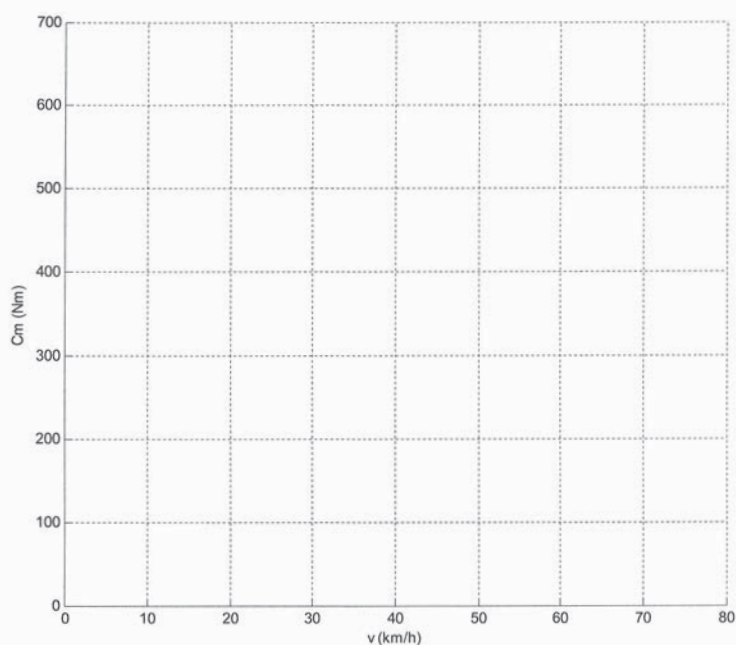
Prénoms : _____ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAI GEB 1

PARTIE A – Document réponse

Document réponse REPA1



NE PAS DÉGRAFER CETTE LIASSE

Document Réponse Partie A : page 1/1

D

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

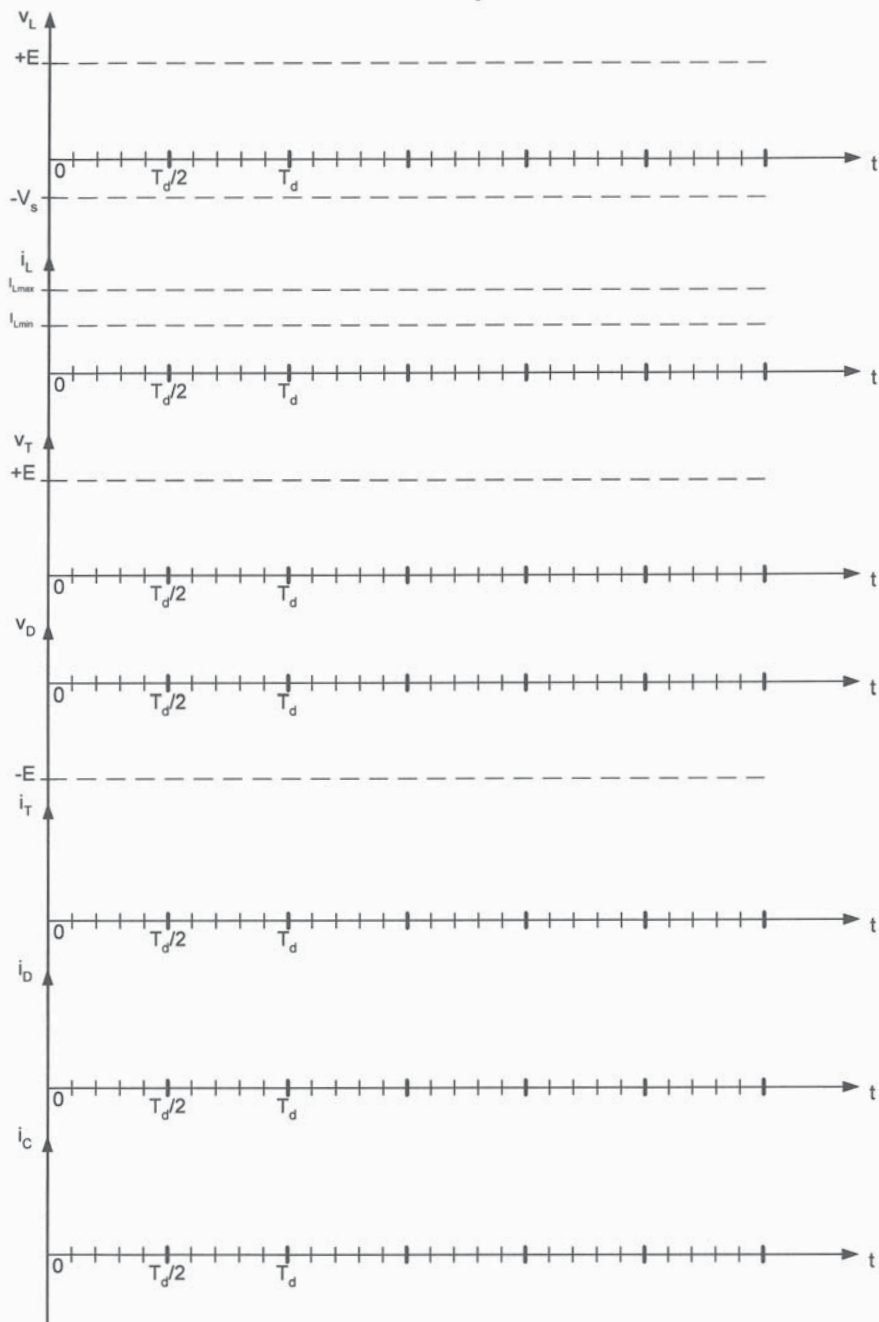
Partie B – Documents réponses

Documents Réponses Partie B : page 1/5

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

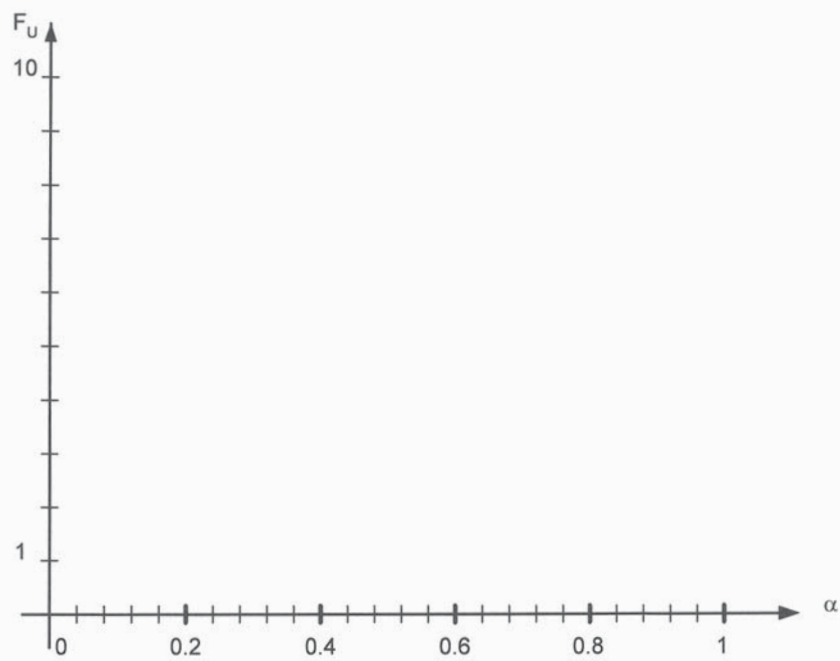
Document Réponse : REPB1



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

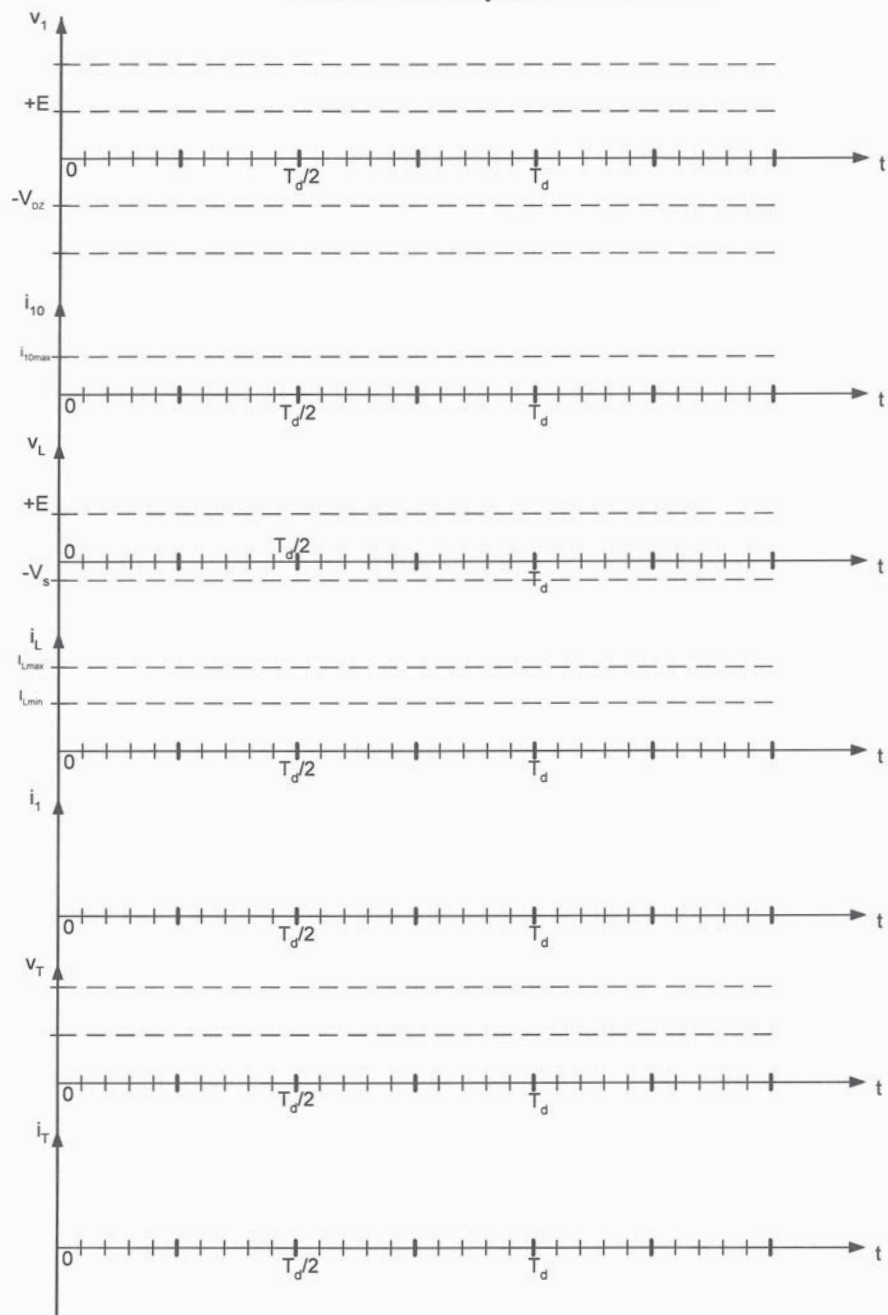
Document Réponse : REPB2



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

Document Réponse : REPB3

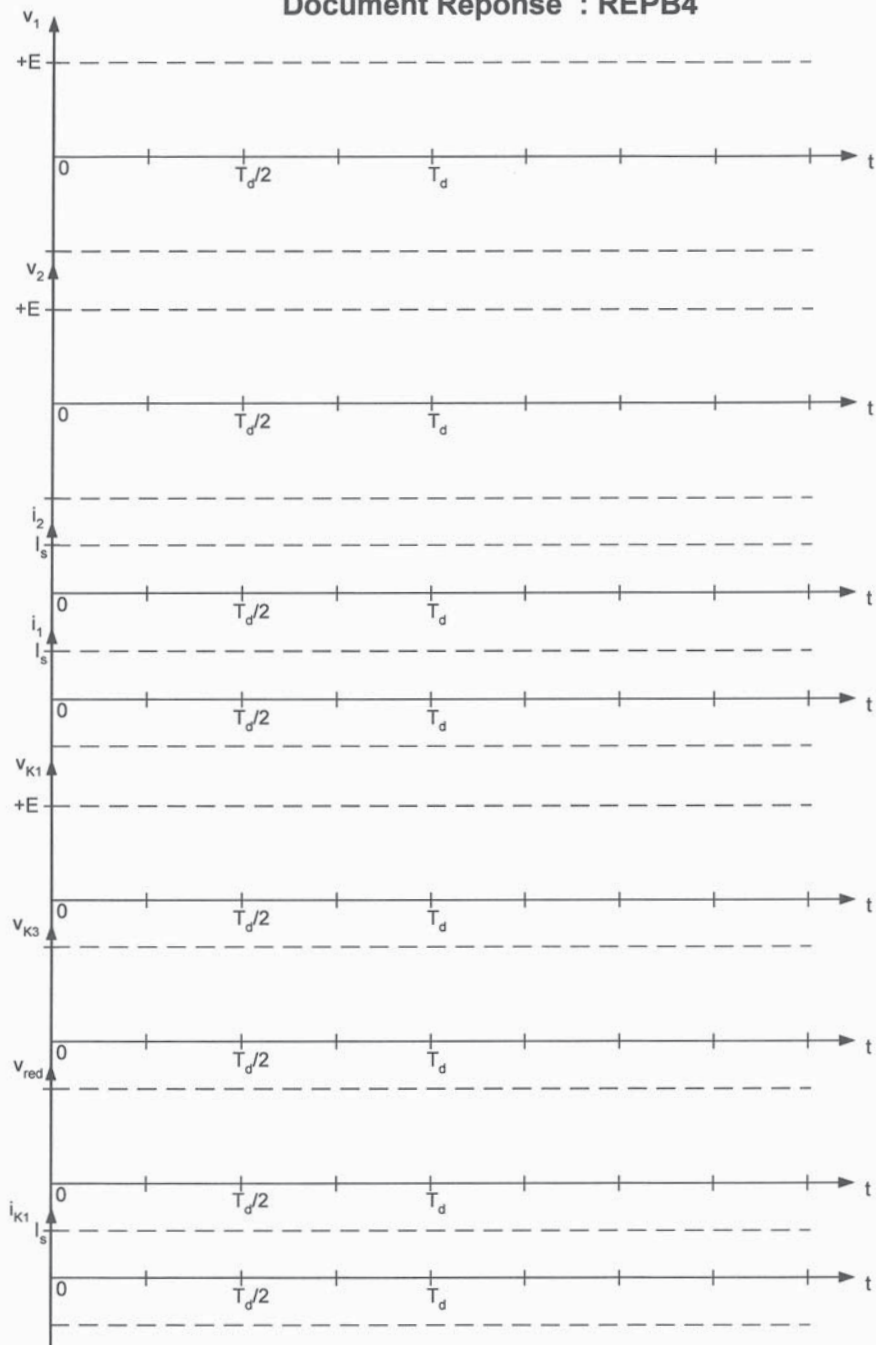


Documents Réponses Partie B : page 4/5

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

Document Réponse : REPB4



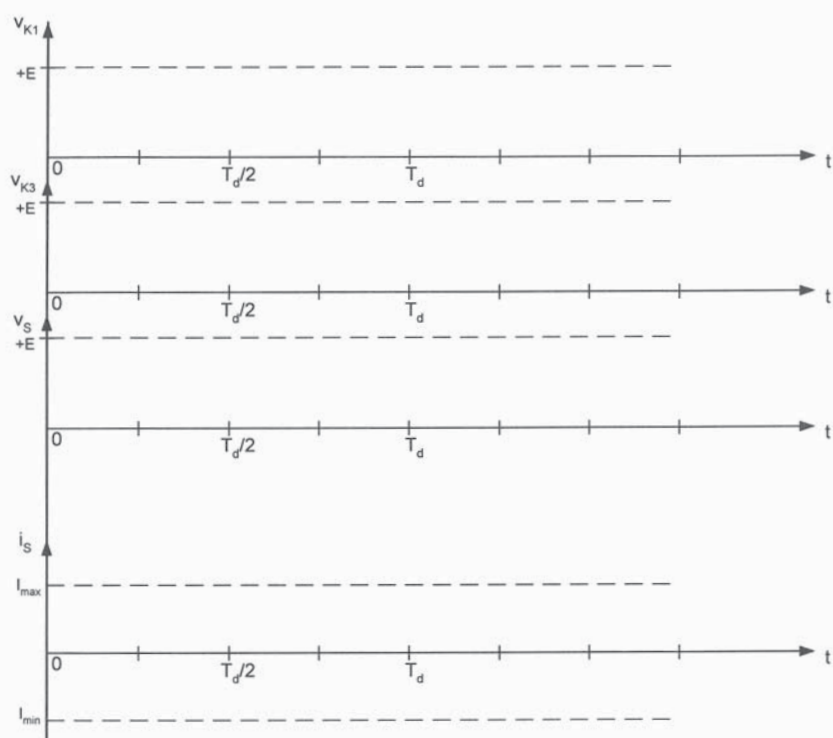
Documents Réponses Partie B : page 5/5

NE RIEN ÉCRIRE

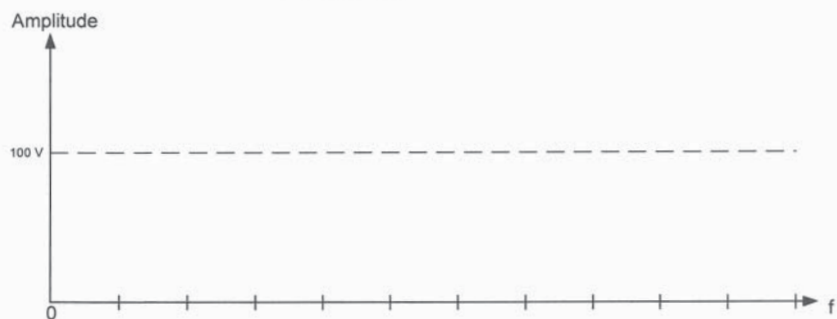
DANS CE CADRE

Partie C – Documents réponses

Document Réponse : REPC1



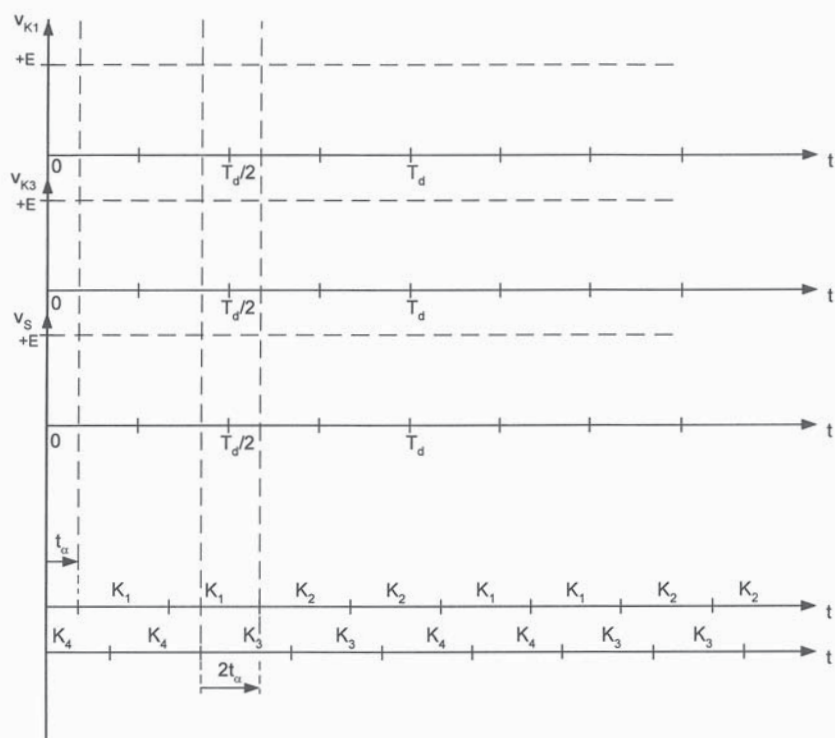
Document Réponse : REPC2



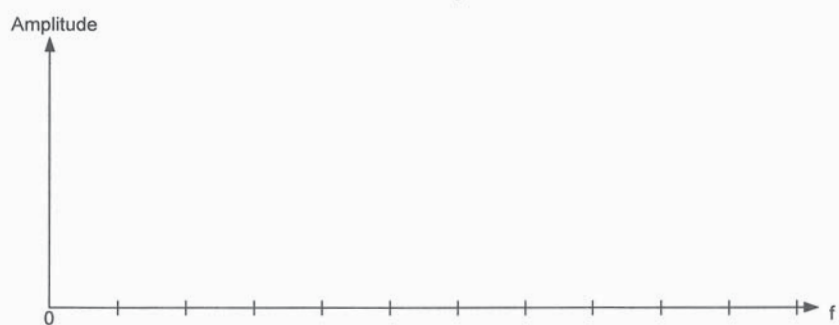
NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

Document Réponse : REPC3



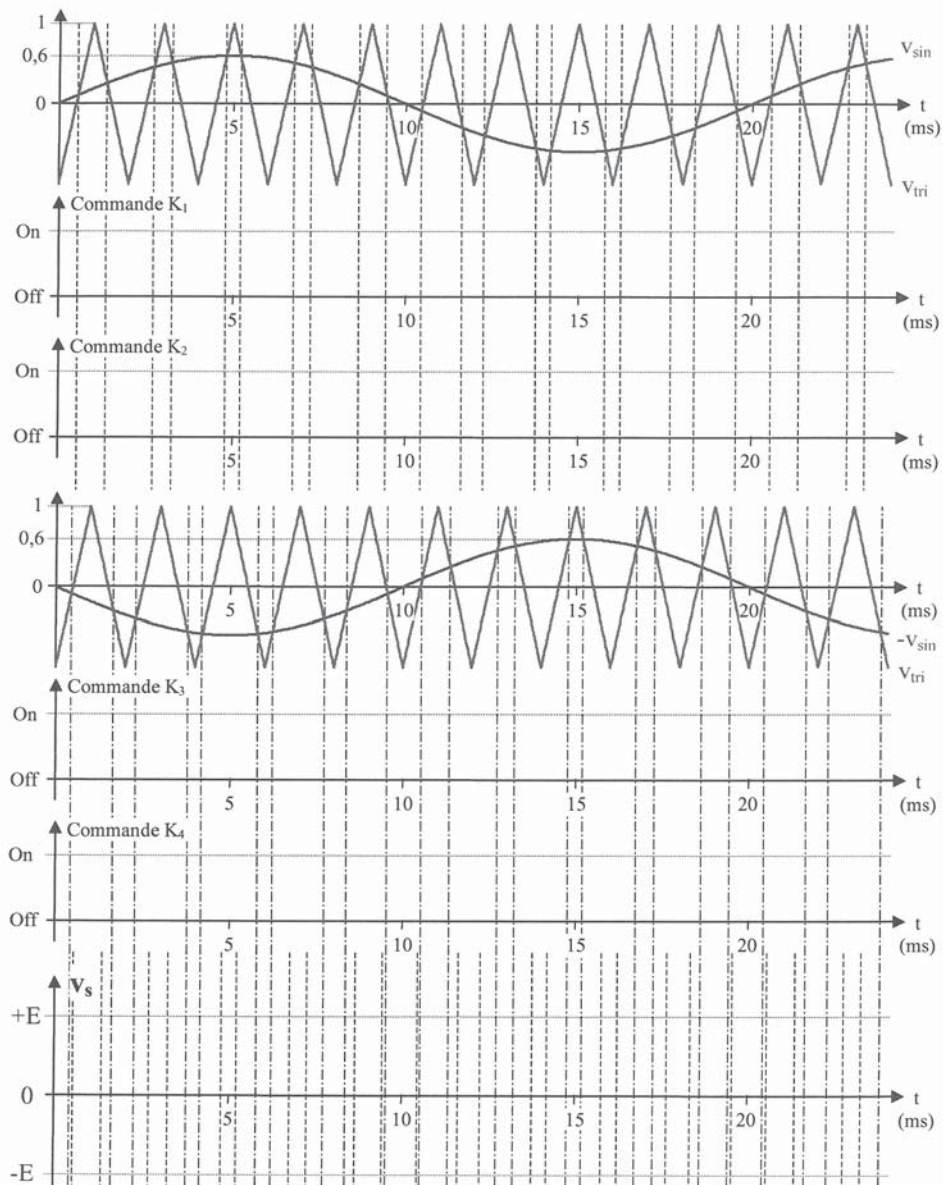
Document Réponse : REPC4



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

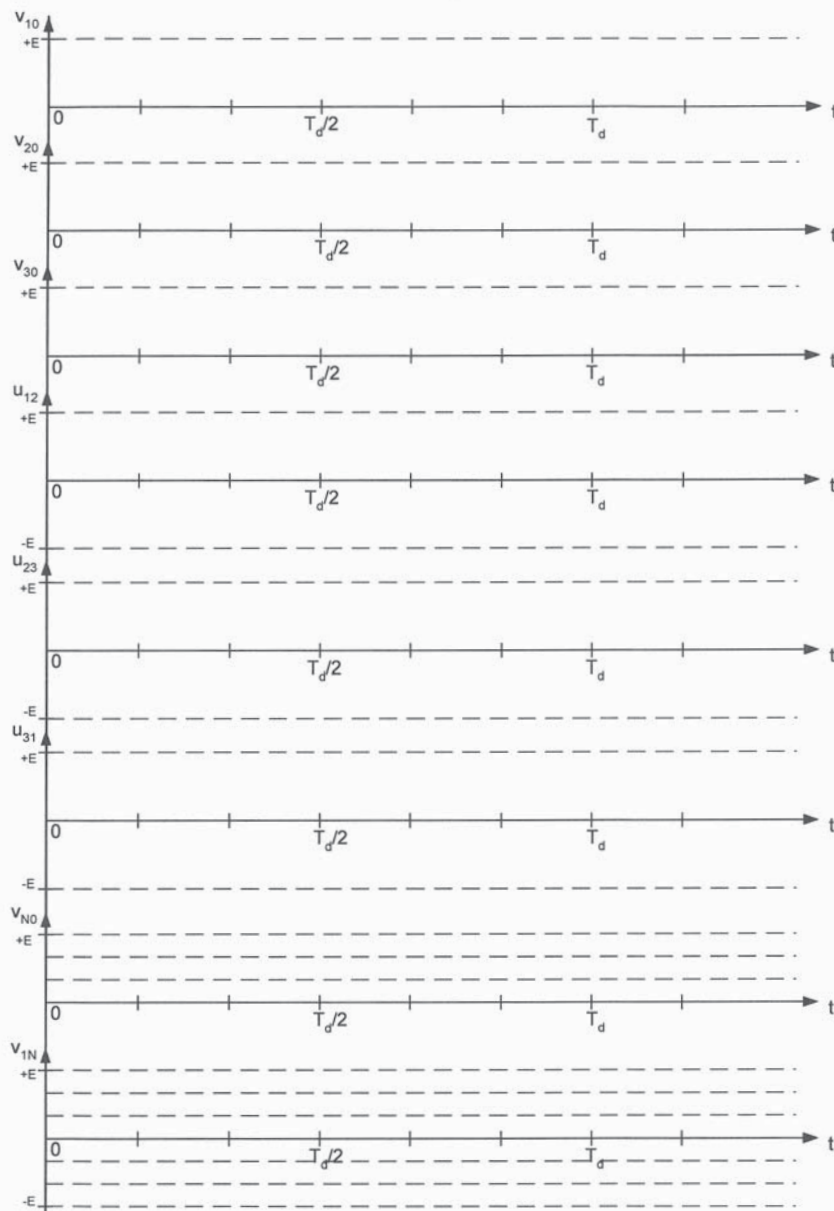
Document Réponse : REPC5

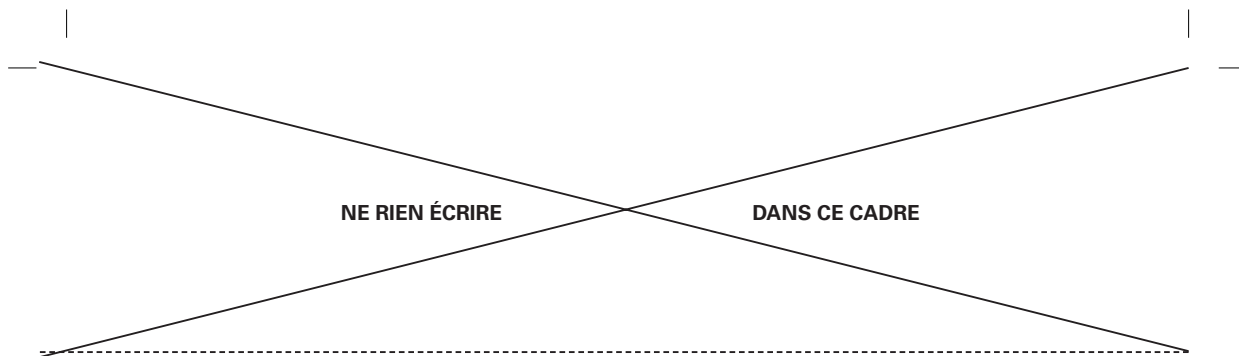


NE RIEN ÉCRIRE

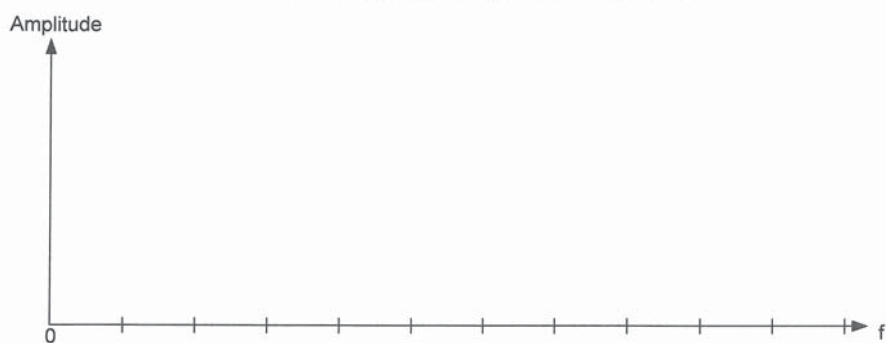
DANS CE CADRE

Document Réponse : REPC6





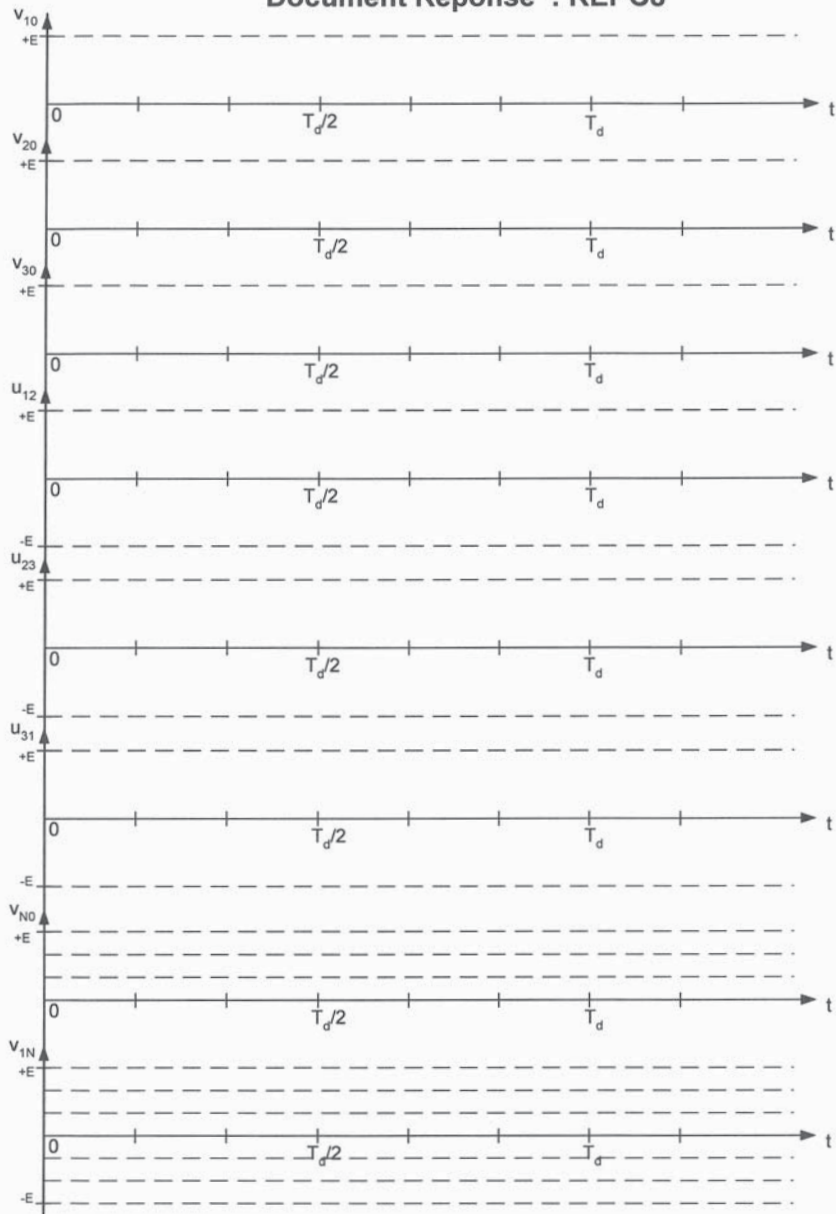
Document Réponse : REPC7



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

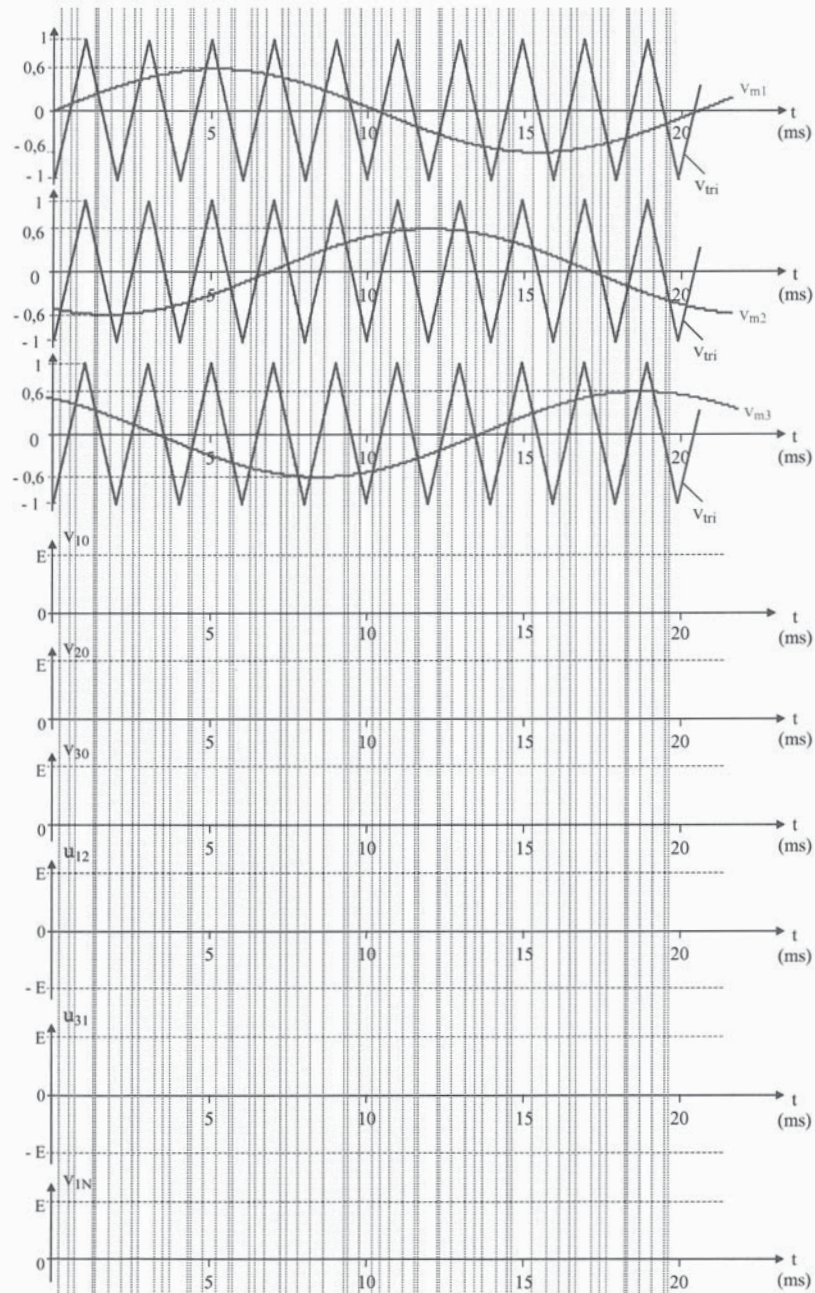
Document Réponse : REPC8



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

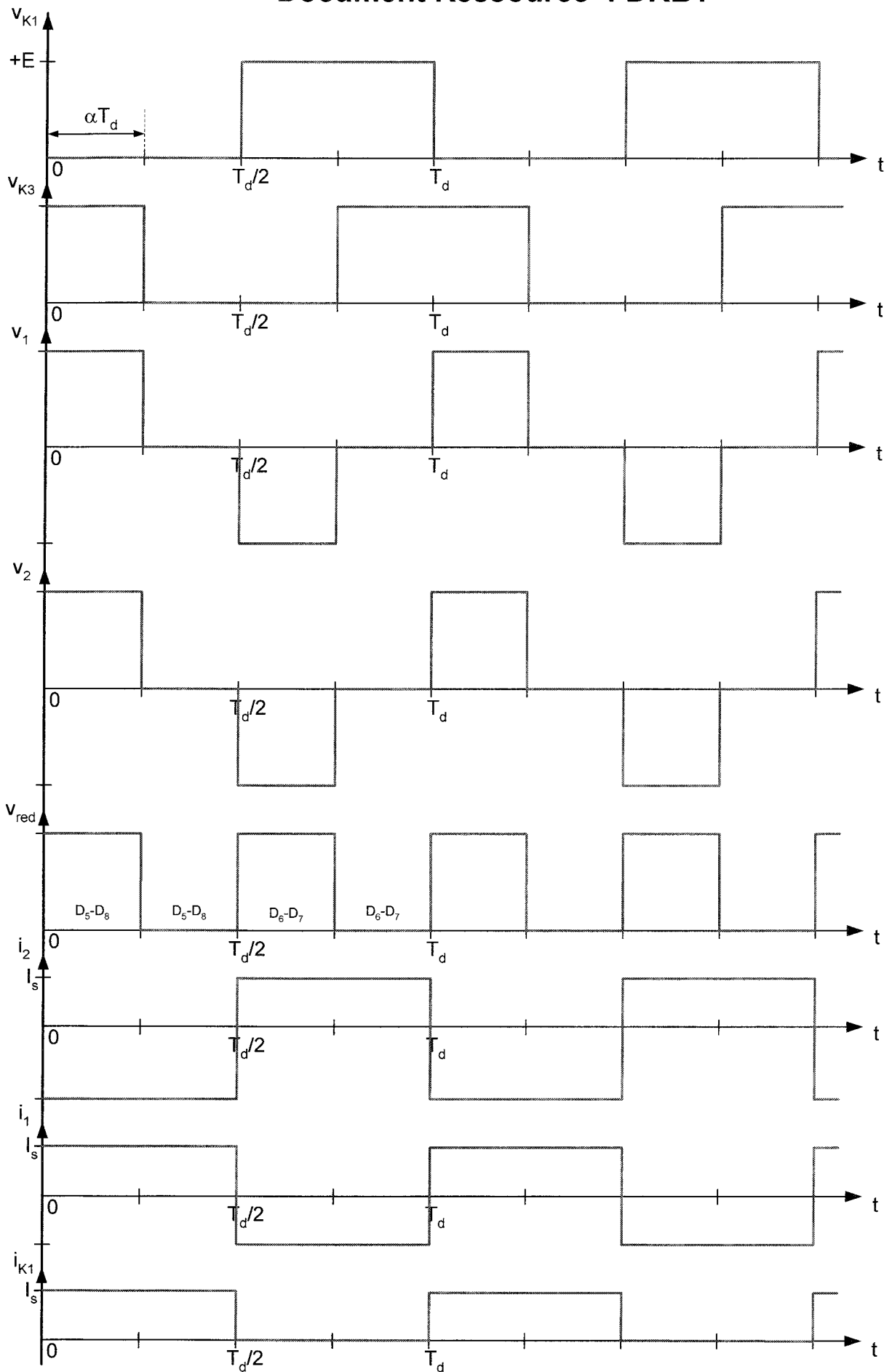
Document Réponse : REPC9



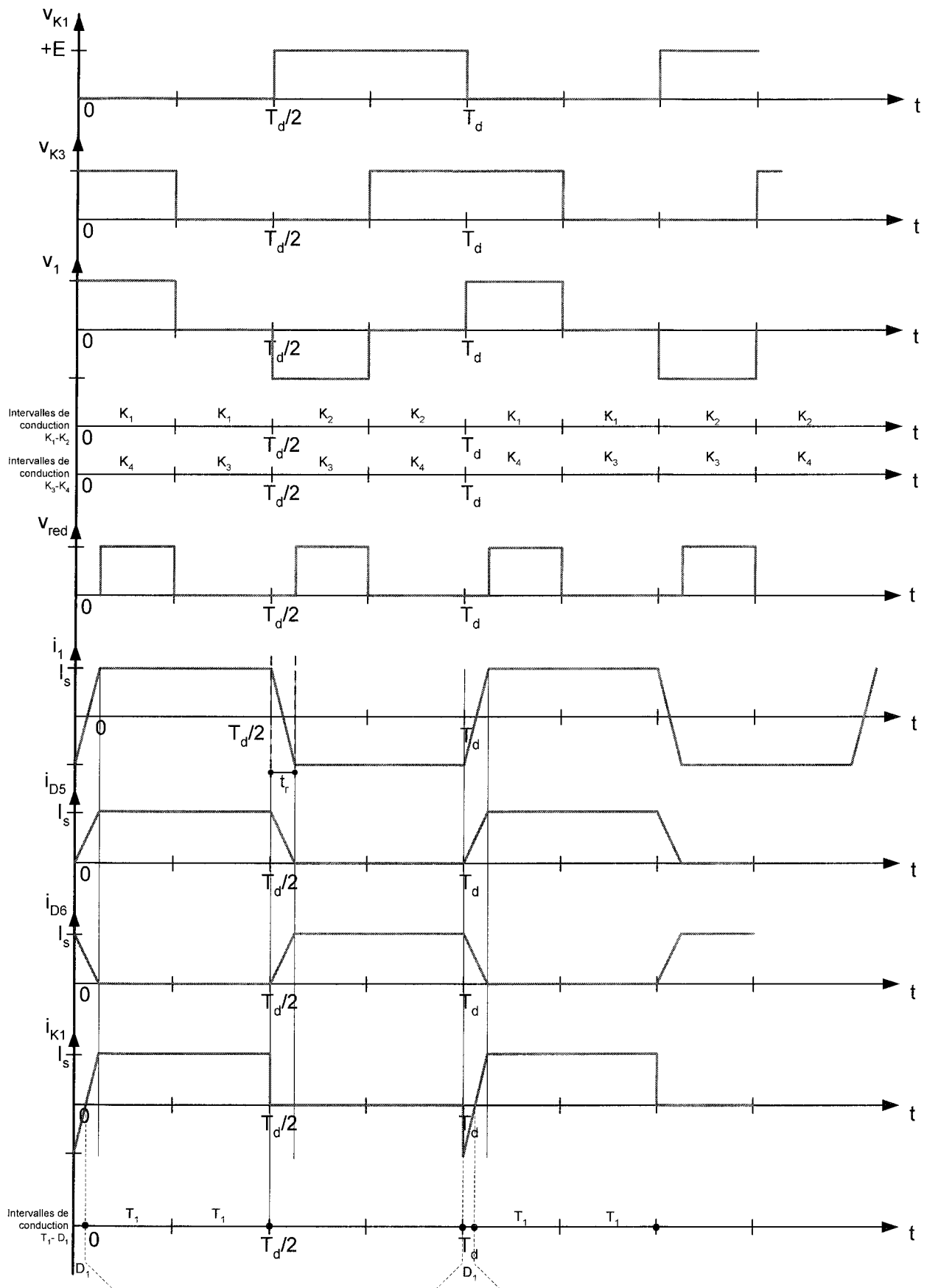
Documents Réponses Partie C : page 7/7

Partie B – Documents ressources

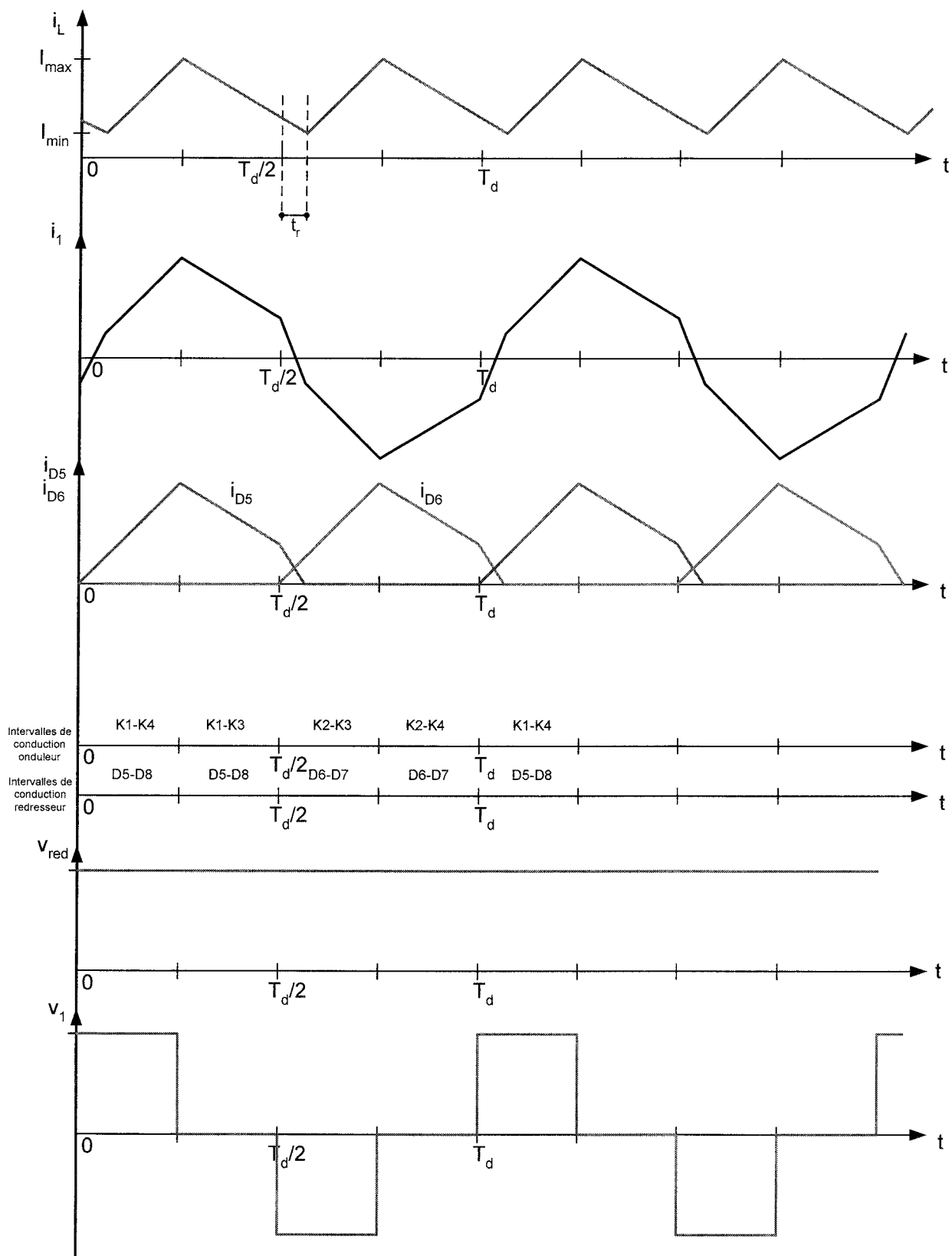
Document Ressource : DRB1



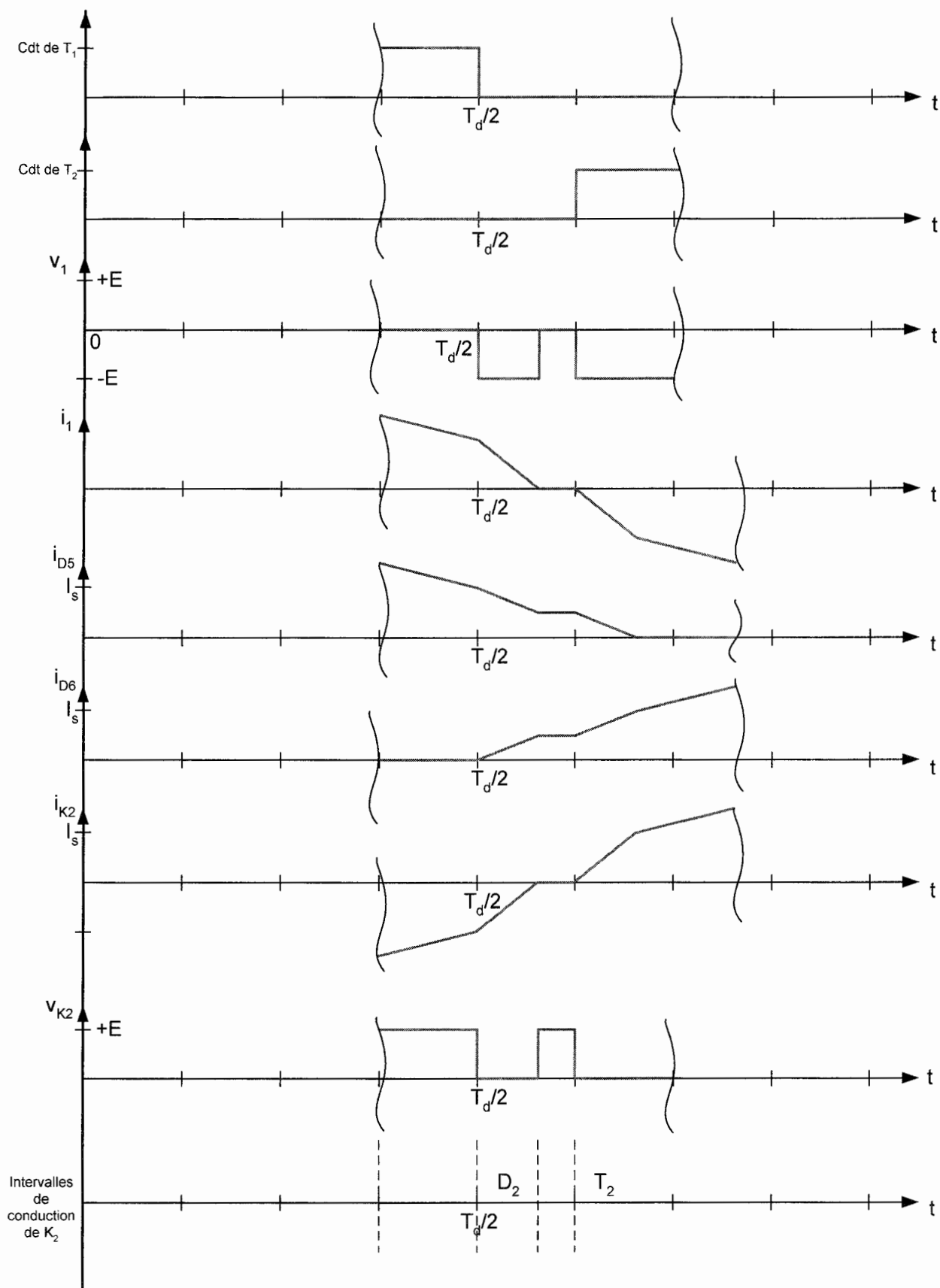
Document Ressource : DRB2



Document Ressource : DRB3



Document Ressource : DRB4



Annexe 1 – Réponse d'un circuit L-C

L'étude des équations différentielles linéaires conduit au résultat fondamental suivant :

La réponse $\mathcal{R}$ d'un système est la somme de la solution générale sans second membre $\mathcal{R}_L$ et de la solution particulière de l'équation avec second membre $\mathcal{R}_F$.

$$\mathcal{R} = \mathcal{R}_L + \mathcal{R}_F$$

$\mathcal{R}_L$ est appelé **Régime Libre** ou **régime transitoire**. Il correspond à la réponse du système sans excitation.

$\mathcal{R}_F$ est appelé **Régime Forcé** ou **régime permanent**. Il correspond à la réponse du système avec excitation.

Toutes ces réponses peuvent être directement obtenues à partir de schémas électriques équivalents en régime libre et en régime forcé.

- Le schéma électrique en **régime libre** est obtenu en remplaçant **les sources de tension par un court-circuit** et **les sources de courant par un circuit ouvert**.
- Pour le **régime forcé**, on utilisera :
- En régime continu, le schéma électrique équivalent en remplaçant **les inductances par un court-circuit** et **les capacités par un circuit ouvert**.
- En régime sinusoïdal, le schéma électrique équivalent en remplaçant les dipôles par les impédances complexes associées.

♦ Représentation graphique du comportement du circuit oscillant L C série

On considère un circuit L C série non amorti attaqué en tension et en courant (figure n°A1) :

- E est une source de tension idéale, continue et constante.
- J est une source de courant idéale, continue et constante.

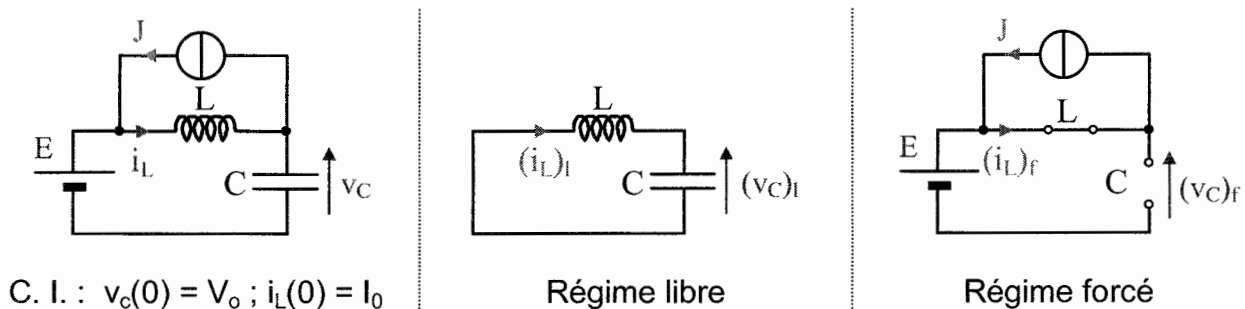


Fig. n° A1 : IGBT commandé à l'amorçage dans une cellule type onduleur

L'évolution des variables d'état, i_L et v_C , est représentée dans le plan de phase $(v_C, i_L \sqrt{L/C})$ par un cercle de centre $(E, J\sqrt{L/C})$ et passant par le point $(V_0, I_0\sqrt{L/C})$.

♦ Généralisation de l'Etude des Circuits L C :

Tout circuit L C soumis à des échelons de tension et de courant et dont le schéma équivalent en régime libre est celui d'un circuit LC série aura une réponse qui pourra être représentée dans le plan $(v_C, i_L \sqrt{L/C})$ par un cercle (figure n°A2) :

- Centré au point caractéristique (R.F) du régime forcé du système.
- Passant par le point $(V_0, I_0\sqrt{L/C})$, point représentatif des conditions initiales (C.I).
- Décrit dans le sens inverse du sens trigonométrique à partir du point de condition initiale $(V_0, I_0\sqrt{L/C})$ si l'on a choisi un sens positif de i_L tel que le courant rentre par l'armature positive du condensateur.

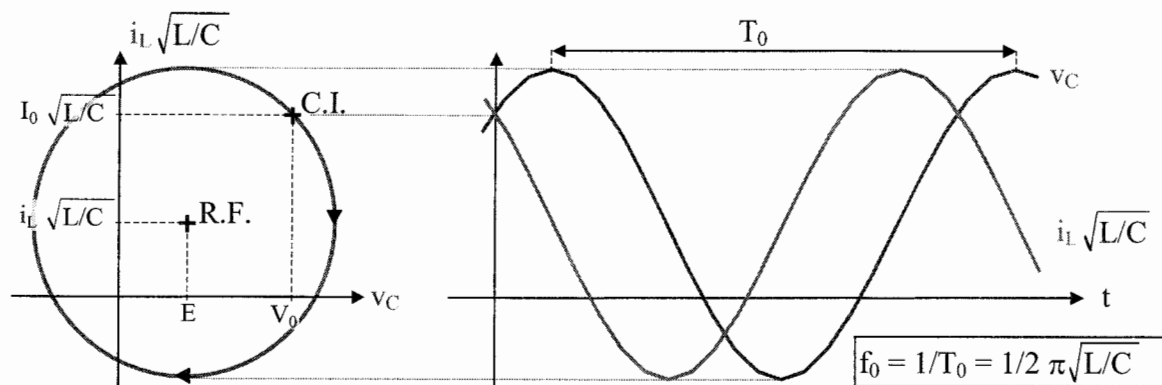


Fig. n° A2 : IGBT commandé à l'amorçage dans une cellule type onduleur