

## Partie B

### ETUDE DE LA MOTORISATION ET DE SA COMMANDE



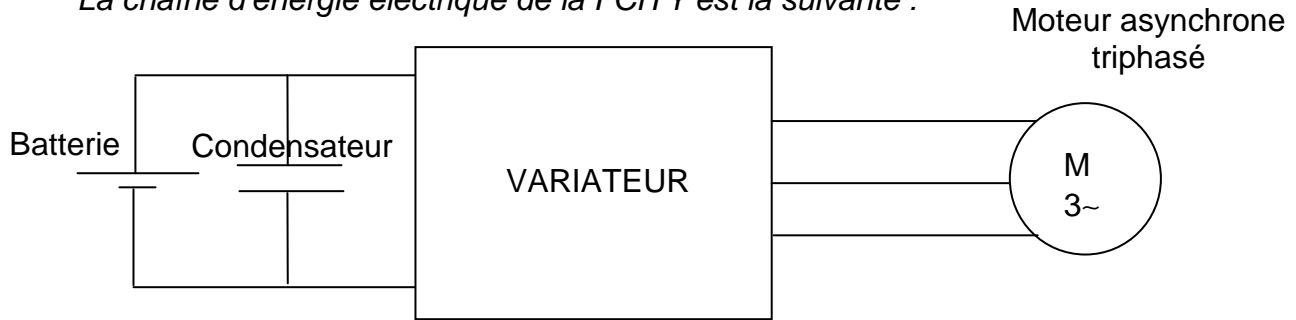
- ❖ Vérification du choix du moteur pour le véhicule
- ❖ Etude du modulateur d'énergie

Ce dossier est constitué de :

- 13 pages numérotées de B2 à B14 (Questionnement et Réponses)
- 5 pages numérotées de DTB1 à DTB5 (Documents techniques)

Temps conseillé : 2h00.

La chaîne d'énergie électrique de la FCITY est la suivante :



Ensemble batterie SAFT délivrant une tension continue de 72V



Variateur de vitesse Curtiss



Moteur asynchrone triphasé ABM

### **B1 : Etude de l'association moteur-variateur.**

Objectifs : Les questions liées à cette partie vont permettre de justifier l'emploi de la commande vectorielle pour la machine asynchrone.

La motorisation de la FCITY est de type asynchrone triphasé à cage. Ce moteur est associé à un variateur de vitesse électronique type MLI.

On donne figure 1 l'allure du couple moteur en fonction de la vitesse du rotor (caractéristique mécanique) pour le démarrage sous tension nominale et à fréquence nominale.

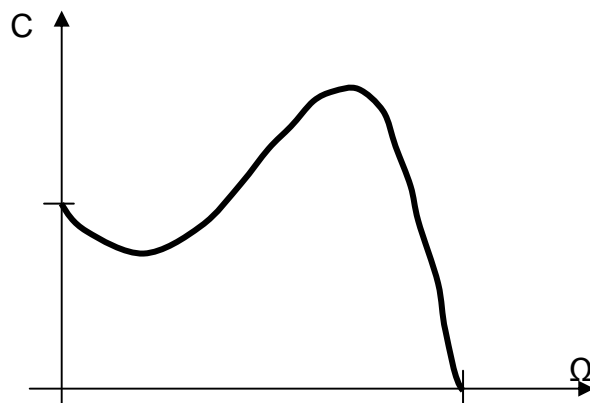


Figure 1

B1.1 : A partir de la documentation moteur fournie page DTB1, **calculer** le couple nominal  $C_N$ .

B1.2 : Quel est le nombre de pôles du moteur ?

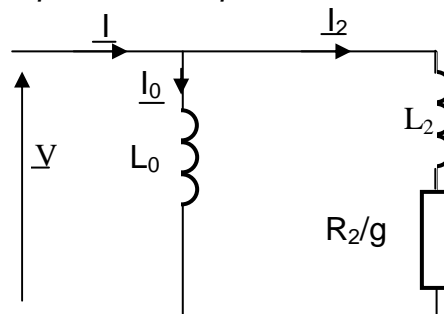
B1.3 : En **déduire**, toujours à l'aide de la documentation moteur, le couple maximal ( $C_M$ ), le couple de démarrage ( $C_{DEM}$ ) ainsi que la vitesse de synchronisme ( $\Omega_S$  en  $\text{rad.s}^{-1}$ ). **Indiquer**  $C_M$ ,  $C_{DEM}$  et  $\Omega_S$  sur la figure 1 page précédente.

*Au démarrage, dans les conditions extrêmes de fonctionnement, le couple résistant est de 82 N.m.*

B1.4 : Est-ce que le démarrage est possible ? **Justifier** votre réponse.

*La première solution envisagée pour assurer un démarrage est d'utiliser un variateur à commande scalaire de type V/f.*

*On donne ci-dessous le modèle équivalent simplifié d'un enroulement du moteur asynchrone ramené au stator.*



$V$  : tension efficace aux bornes d'un enroulement statorique.

$L_0$  : inductance magnétisante statorique.

$R_2$  : résistance rotorique ramenée au stator.

$L_2$  : inductance de fuite rotorique ramenée au stator.

$g$  : glissement.

$R_2/g$  : résistance fictive représentant la puissance transmise du stator au rotor.

$\omega$  : pulsation des courants statoriques.

$p$  : nombre de paires de pôles.

B1.5 : **Exprimer** la valeur efficace de l'intensité  $I_2$  en fonction de  $V$ ,  $L_2$ ,  $R_2$ ,  $g$  et  $\omega$ .

B1.6 : La puissance transmise au rotor P est égale à 3 fois la puissance dans la résistance  $R_2/g$ . **Exprimer** cette puissance P en fonction de V,  $L_2$ ,  $R_2$ , g et  $\omega$ .

B1.7 : **Donner** l'expression de la vitesse de synchronisme  $\Omega_S$  (en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ) en fonction de  $\omega$  et p.

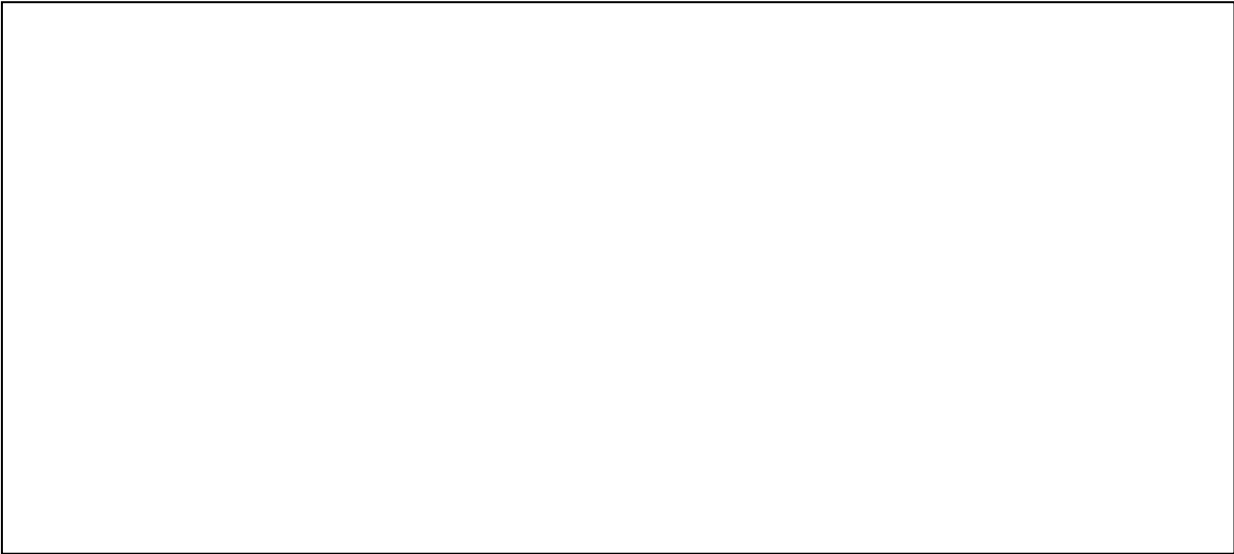
B1.8 : A partir des questions précédentes, **démontrer** que la formule du couple

électromagnétique est égale à 
$$C = \frac{3 \times p \times V^2}{\omega} \times \frac{\frac{R_2}{g}}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + (L_2 \times \omega)^2}$$

*Le dénominateur de l'expression ci-dessus est la somme de deux termes dont le produit est constant. Il est minimal lorsque les deux termes sont égaux c'est-à-dire*

**$R_2/g = L_2 \times \omega$**

B1.9 : En **déduire** l'expression du couple électromagnétique maximal  $C_{MAX}$ . **Démontrer** que  $C_{MAX}=K \times (V/f)^2$  et **définir** la constante K.

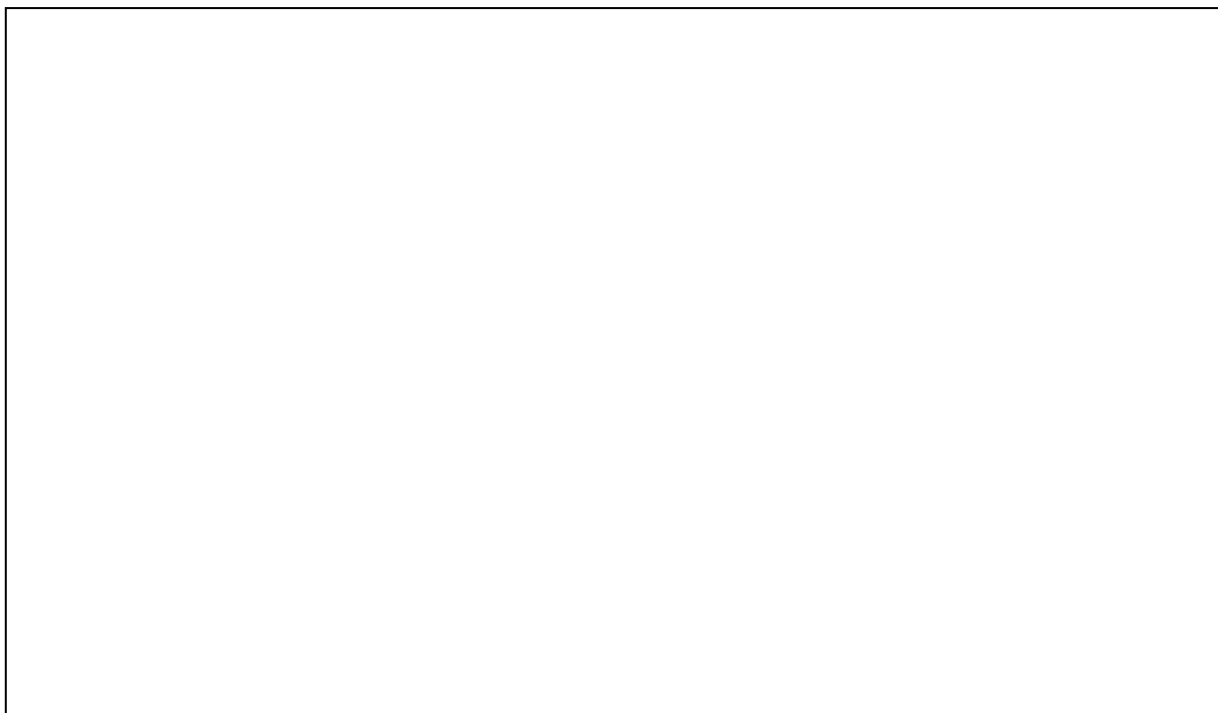


*D'après le modèle équivalent donné, la caractéristique du couple en fonction de la vitesse se déplace horizontalement en suivant la variation de fréquence de la tension d'alimentation. On peut obtenir le couple maximum tout au long de ce déplacement et notamment au démarrage. Il suffit de garder le terme  $V/f$  constant.*

*L'objectif de la question B1.10 est de calculer la valeur de la tension d'alimentation ainsi que sa fréquence pour obtenir le couple de démarrage maximum.*

*Les valeurs éléments du modèle équivalent sont :  $R_2=21,7m\Omega$  et  $L_2=0,385mH$ .*

**B1.10** : Quelle est la valeur de  $g$  au démarrage ? **Calculer** la fréquence de la tension d'alimentation pour obtenir le couple maximal au démarrage. **En déduire** la valeur de la tension d'alimentation correspondante.



On donne ci-dessous la caractéristique mécanique  $C=f(\Omega)$  lorsque le moteur est alimenté sous tension nominale ( $V=48V$ ) à fréquence nominale ( $f=69Hz$ ).

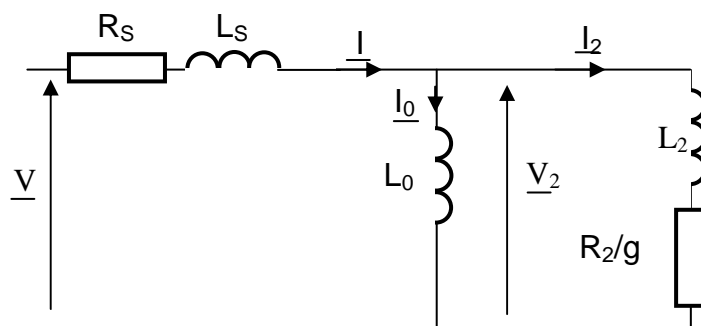
Question B1.11 : **Tracer** la caractéristique mécanique  $C=f(\Omega)$  correspondant aux valeurs calculées à la question B1.10.

Echelles : C : 1 cm représente 10 N.m

$\Omega$  : 1 cm représente 20 rad.s<sup>-1</sup>



*Le modèle équivalent donné ne tient pas compte de la résistance statorique  $R_S$  et de l'inductance de fuite statorique  $L_S$ . Ces composants provoquent une chute de tension qui dépend du courant statorique.*



B1.12 : Sachant que le courant statorique  $I$  est important au démarrage, quelle va être l'incidence sur la tension  $V_2$  (tension aux bornes de l'ensemble  $R_2/g$  et  $L_2$ ) ?

B1.13 : Quelle peut être la conséquence au démarrage de la voiture ? **Justifier** votre réponse.

*Il faut utiliser un variateur de vitesse qui présente un mode de contrôle de la machine asynchrone différent : le contrôle vectoriel de flux ou contrôle à flux orienté.*

*L'association machine asynchrone variateur se comporte comme une machine à courant continu et on peut comme pour cette machine, contrôler le courant inducteur et le courant induit.*

B1.14 : **Comparer** la constitution d'une machine asynchrone et d'une machine à courant continu et **justifier** le choix de la machine asynchrone.

*L'expression du couple électromagnétique d'une machine à courant continu est  $C = K \times \phi_{(Id)} \times I_a$  avec  $\phi_{(Id)}$  flux produit par l'inducteur et  $I_a$  courant d'induit.*

B1.15 : **Justifier** l'utilisation de la commande vectorielle pour le démarrage de la voiture.

## **B2 : Etude du variateur de vitesse lié au moteur asynchrone entraînant le véhicule.**

Objectifs : Les questions liées à cette partie vont permettre d'étudier le modulateur d'énergie associé au moteur et d'établir son schéma de raccordement.

*Le variateur de vitesse associé au moteur asynchrone entraînant le véhicule possède comme référence CURTISS 1238-6572. Il délivre une tension de sortie efficace de 48 V~ entre phases.*

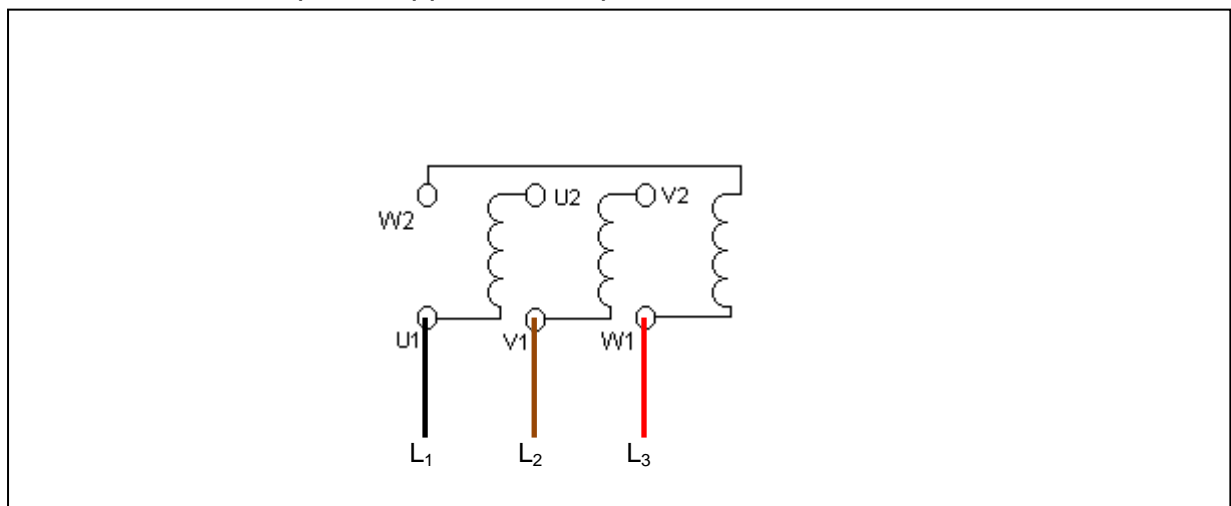
B2.1 : A l'aide des caractéristiques techniques du variateur de vitesse fournies page DTB2, **relever** les valeurs des caractéristiques suivantes :

- courant maximum admissible de sortie pendant 2 minutes  $I_{S(2mn)}$
- courant maximum admissible de sortie pendant 1 heure  $I_{S(1h00)}$

B2.2 : **Expliquer** pourquoi, dans le cadre de notre étude, le fabricant du variateur fournit 2 valeurs de courant maximum admissible de sortie suivant des critères de temps.

B2.3 : A l'aide des caractéristiques techniques du moteur fournies page DTB1, **Indiquer** le couplage du moteur à réaliser. **Justifier** votre réponse.

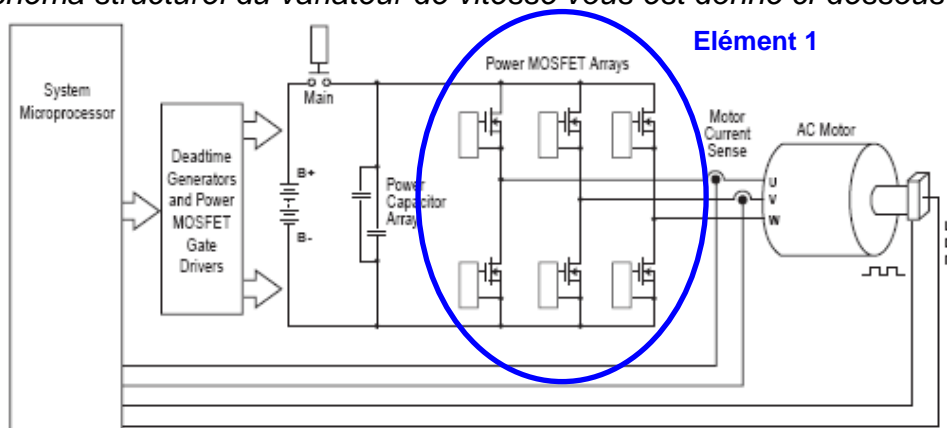
B2.4 : **Représenter** sur le schéma ci-dessous le couplage des enroulements conformément à la réponse apportée à la question B2.3.





B2.5 : Dans les caractéristiques techniques du variateur de vitesse données page DTB2 le terme IP65 est indiqué. **Expliquer** à l'aide du document technique DTB3 à quoi correspond cette indication. Au vu de votre réponse et sachant que le variateur est inséré sous le véhicule sans protection mécanique particulière, pensez vous que ce paramètre est bien choisi ? **Justifier** votre réponse.

Le schéma structurel du variateur de vitesse vous est donné ci-dessous :



B2.6 : **Indiquer**, en choisissant parmi la liste suivante, le nom de l'élément 1 entouré sur le schéma structurel (barrer les mauvaises réponses). **Donner** sa fonction.

**Nom :**

- Redresseur,
- Onduleur
- Correcteur

**Fonction**

L'élément 1 est constitué de transistors MOS :

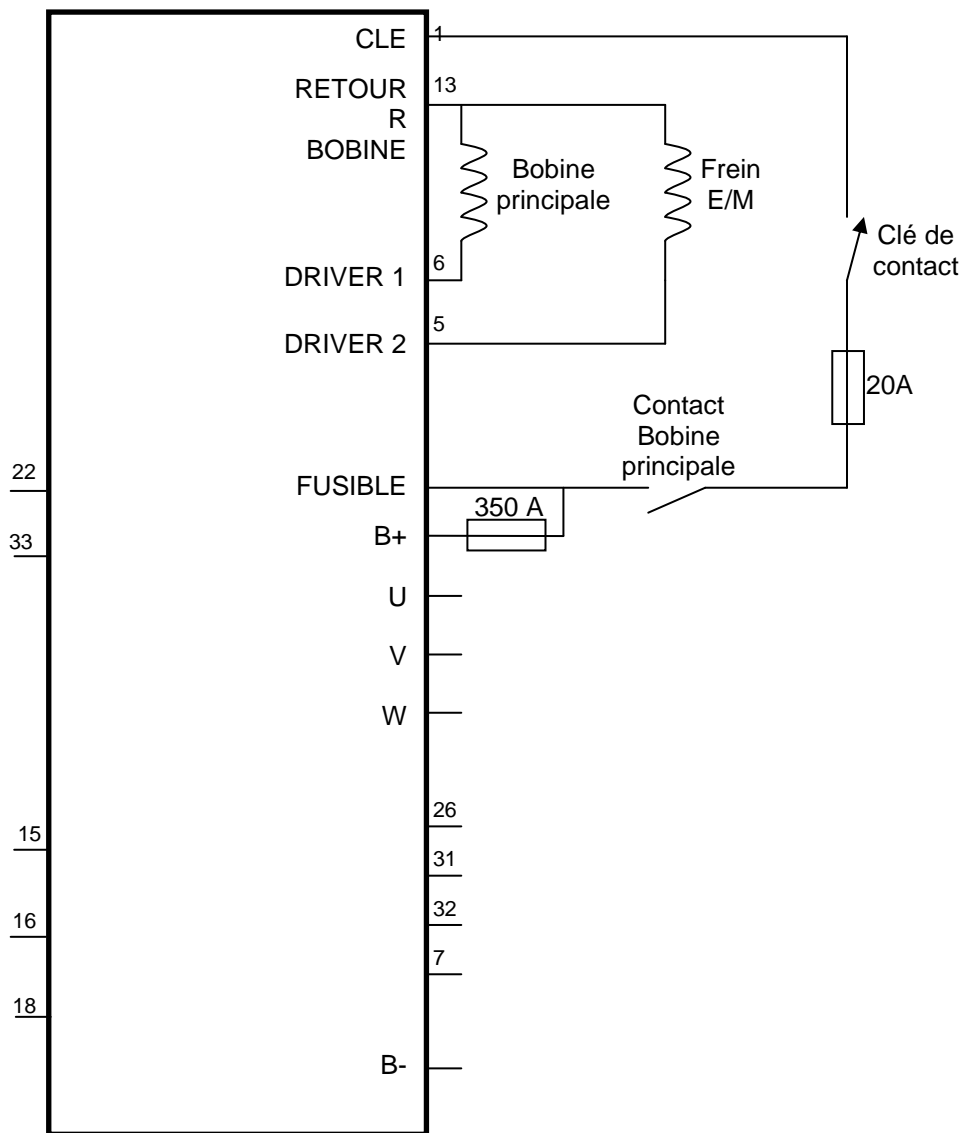
B2.7 : **Indiquer** par quelle fonction équivalente il est possible de modéliser un transistor MOS qui travaille en commutation.

Le variateur de vitesse CURTISS possède un système d'exploitation puissant qui permet le traitement en parallèles des fonctions de commande du véhicule, des fonctions de commande moteur et des fonctions d'automate programmables. Il est donc nécessaire à chaque utilisateur de définir ses besoins et d'assurer le raccordement du variateur à ses composants annexes. Une documentation constructeur sur les différentes possibilités de connexion vous est fournie pages DTB4.



B2.8 : Le schéma de raccordement incomplet vous est fourni ci-dessous, **représenter** les connexions à réaliser pour raccorder au variateur de vitesse :

- le moteur asynchrone triphasé.
- le codeur incrémental permettant de mesurer la vitesse moteur.
- la batterie.
- la pédale d'accélérateur électronique sachant que le montage est du type potentiométrique 3 fils.
- Les contacts de commande permettant de commander les sens Avant et Arrière du véhicule (la logique de commande est positive).



Un fusible de type FERRAZ CNL 350 A DIN protège l'entrée de puissance du variateur de vitesse CURTISS. La courbe de fusion du fusible vous est fournie page DTB5.



B2.9 : Le courant fourni par la batterie imposé lors du fonctionnement du véhicule dans le cas le plus défavorable est de 333 A, **justifier** à l'aide de la documentation technique page DTB5 que le fusible est bien choisi.

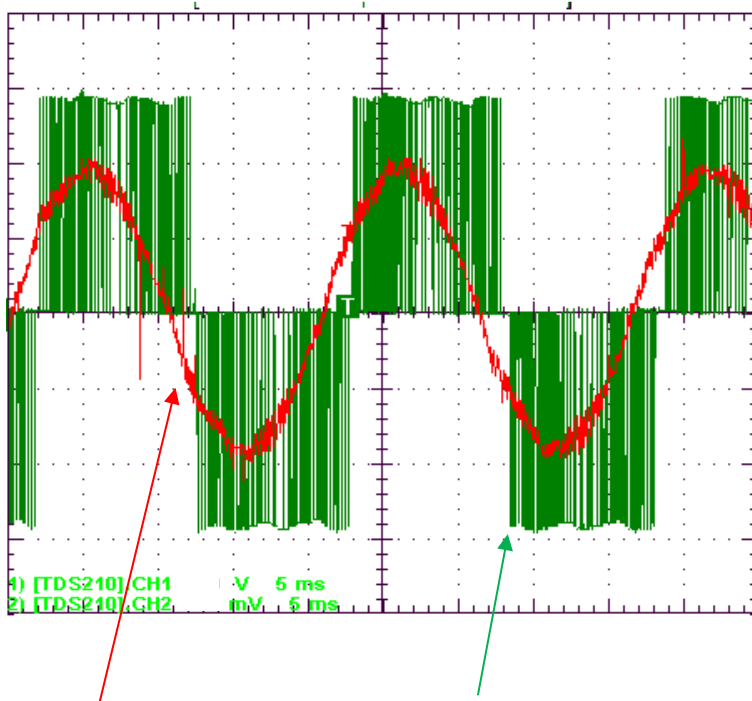
B2.10 : Suite à une anomalie de fonctionnement du véhicule, le courant débité par la batterie atteint 800 A, **indiquer** la nature du défaut : surcharge ou court-circuit. **Justifier** votre réponse.

B2.11 : **Relever** sur la courbe de fusion du fusible fournie page DTB5 le temps de coupure pour ce défaut.

*Le variateur CURTISS raccordé et paramétré, on souhaite étudier les signaux en sortie du variateur afin de valider le bon fonctionnement de l'ensemble.*

B2.12 : Le signal de la tension en sortie du variateur est dit « M.L.I. ». **Expliquer** ce que signifie ce sigle.

Les relevés effectués pour  $u_{31} = f(t)$  (tension composée entre phases 3 et 1) et  $i_1 = f(t)$  (courant de ligne phase 1) en sortie du variateur de vitesse sont donnés ci-dessous :



<b>Voie 1 : <math>u = f(t)</math></b>		
<b>Calibre</b>		
amplification : 2,5 V / Div		
Base de temps : 5 ms / Div		
Mode :		
AC	<input checked="" type="radio"/> DC	XY
<b>Voie 2 : <math>i = f(t)</math></b>		
<b>Calibre</b>		
amplification : 1V / Div		
Base de temps : 5 ms / Div		
Mode :		
AC	<input checked="" type="radio"/> DC	XY

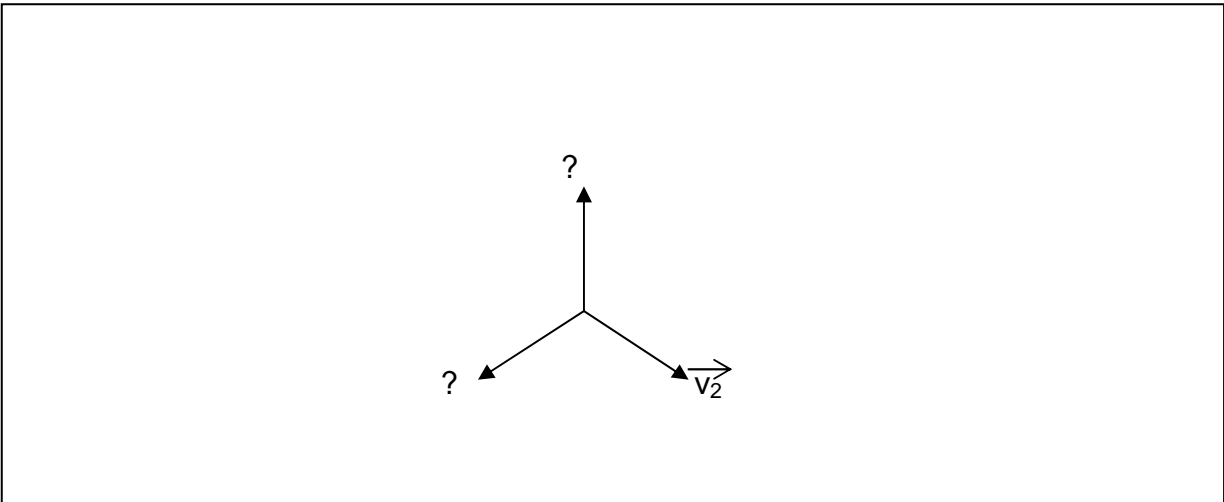
B2.13 : **Identifier** sur le graphique ci-dessus le signal de la tension et celui du courant.

B2.14 : A l'aide des courbes données ci-dessus et sachant que le calibre de sonde de tension atténuatrice utilisée est de 1/10, **calculer** la valeur de  $U_{max}$ .

B2.15 : A l'aide des courbes données ci-dessus et sachant que le calibre de la pince ampèremétrique utilisée est de 10 mV/1 A, **calculer** la valeur de  $I_{max}$ , la valeur de  $I_{eff}$  et la fréquence du courant fourni par le variateur (on supposera le courant purement sinusoïdal).

B2.16 : **Préciser** si le courant  $i_1$  est en retard ou en avance sur la tension composée  $u_{31}$  et **déterminer** la valeur du déphasage (qui sera nommé  $\beta$ ) en degrés.

B2.17 : **Représenter** sur le diagramme de Fresnel les tensions simples  $v_1$ ,  $v_3$ , la tension composée  $u_{31}$  et le courant de ligne  $i_1$ .



B2.18 : **Déterminer** graphiquement la valeur en degrés du déphasage  $\varphi_1$  du courant  $i_1$  par rapport au fondamental de la tension simple  $v_1$ . Dans ce cas, peut-on parler de charge « inductive » ou « capacitive » ? Pourquoi ?

B2.19 : Sachant que la puissance active est transportée par les grandeurs sinusoïdales ( $U_{31\text{eff}} = 35 \text{ V}$  et  $i_{1\text{eff}} = 141 \text{ A}$ ), **calculer** sa valeur.

B2.20 : En **déduire** le fonctionnement du véhicule (traction ou récupération d'énergie).  
**Justifier** votre réponse.

B2.21 : Dans ce cas de fonctionnement le glissement  $g$  est-il positif ou négatif ? **Justifier** votre réponse.

B2.22 : **Indiquer** et **justifier** le signe du couple moteur pour cet essai.

B2.23 : Pour les 2 fonctionnements possibles du véhicule en marche avant (traction et récupération d'énergie), **compléter** le tableau ci-dessous.

Fonctionnement du véhicule	Traction	Récupération d'énergie
Mode de fonctionnement de la machine asynchrone		
Signe de la puissance absorbée par le moteur		
Zone de fonctionnement du moteur (Hyposynchronisme ou Hypersynchronisme)		
Signe du glissement		
Signe du couple moteur		
Signe de la vitesse moteur		

# DOCUMENTATION TECHNIQUE

## A : Caractéristiques moteur asynchrone ABM

DATA SHEET		
Designation		
<p><b>Données techniques :</b>          Type ZFB40I / DLGF112200-4          Service type S2 – 60 min (E21011)          Puissance nominale 8Kw          Vitesse nominale 2000 tr/min          Tension 48 / 82 V triphasé          Frequence 69 Hz          IP54          Couple maximal / Couple nominal = 2,5          Couple de démarrage / Couple nominal = 2,1</p>		
Date	Name	
7.10.08	Hille	
Designed	Checked	
Issue:	Replacement for	
Date:	Replaced by	
		Modification
		Date



**G R E I F F E N B E R G E R**  
 Antriebstechnik GmbH, 95615 Marktredwitz



## **B : Caractéristiques variateur de vitesse CURTISS**

Spécifications : 1236/38 Controller	
Nominal Input voltage	24-36 V, 36-48 V, 48-80 V
PWM operating frequency	10 kHz
Electrical isolation to heatsink	500 V AC (minimum)
Storage ambient temperature range	-40 °C to 95 °C
Operating ambient temperature range	-40 °C to 95 °C
Internal heatsink operating temperature range	-40 °C to 95 °C
Package environmental rating	IP65
Dimensions (WxLxH)	1236 : 165 x 232 x 98 mm 1238 : 275 x 232 x 98 mm

Model Number	Nominal Battery voltage (V)	Current limit (A)	2 min rating (A)	1 hour rating (A)	Under-voltage cutback (V)	Over-voltage cutback (V)
1236-44XX	24-36	400	400	133	17	45
-45XX	24-36	500	500	160	17	45
-53XX	36-48	350	350	115	25	60
-63XX	48-80	300	300	100	34	100
1238-46XX	24-36	650	650	210	17	45
-46XX	24-36	800	800	260	17	45
-54XX	36-48	450	450	150	25	60
-54XX	36-48	650	650	210	25	60
-65XX	48-80	550	550	180	34	100



# C : Indices de protection des matériels électriques

## Indices de protection des matériels électriques

Le degré de protection des enveloppes de matériel électrique basse tension est défini par deux codes :







● **l'indice de protection IP**, défini par la norme NF EN 60-529.

Il est caractérisé par 2 chiffres relatifs à certaines influences externes :









- 1<sup>er</sup> chiffre : (de 0 à 6) protection contre les corps solides
- 2<sup>ème</sup> chiffre : (de 0 à 8) protection contre les liquides

● **le code IK**, défini par la norme NF EN 50-102. Il est caractérisé par un groupe de chiffres (de 00 à 10) relatif à la protection contre les chocs mécaniques.


 **1<sup>er</sup> chiffre :**  
protection contre les corps solides

IP	désignation	
0		pas de protection
1		protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm Ø (ex : dos de la main)
2		protégé contre les corps solides supérieurs à 12 mm Ø (ex : doigts de la main) minimum exigé pour la protection contre les contacts directs
3		protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm Ø (ex : fils, outils...)
4		protégé contre les corps solides supérieurs à 1mm Ø (ex : petits fils, outils fins...)
5		protégé contre les poussières (pas de dépôts nuisibles)
6		étanche à la poussière

 **2<sup>ème</sup> chiffre :**  
protection contre les liquides

IP	désignation	
0		pas de protection
1		protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)
2		protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale
3		protégé contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale
4		protégé contre les projections d'eau de toutes directions
5		protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance
6		protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer
7		protégé contre les effets de l'immersion
8		protégé contre les effets prolongés de l'immersion sous pression

**code IK : protection contre les chocs mécaniques**

 code IK selon la norme NF EN 50-102 (nouvelle désignation)

IK	Energie de choc	"AG" de la NF C 15-100	Ancien 3 <sup>e</sup> chiffre IP
00	non protégé		0
01	0,14 joule		
02	0,2 joule	AG1	1
03	0,35 joule		
04	0,5 joule		3
05	0,7 joule		
06	1 joule		
07	2 joules	AG2	5
08	5 joules	AG3	
(1)	6 joules		7
09	10 joules		
10	20 joules	AG4	9

Ce tableau permet de connaître la résistance d'un produit à un impact donné en joules, à partir de code IK.

Il permet aussi de connaître la correspondance avec l'ancien 3<sup>e</sup> chiffre des IP et les conditions correspondantes d'influence externes "AG"

Pour connaître la résistance aux chocs et l'IP nécessaire en fonction des locaux où le produit est installé, se reporter à la page ci-contre du catalogue.

(1) il est admis qu'un produit qui était IP XX-7 remplit les conditions d'un IP XX-IK 08

## **D : Raccordement du variateur de vitesse.**

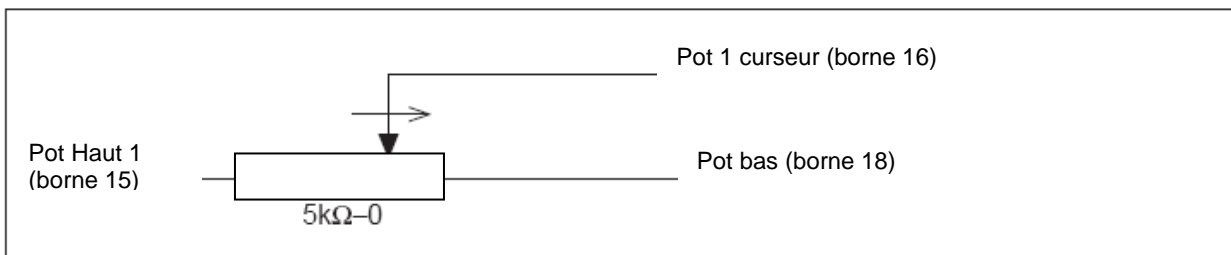
### **D1 : Connexion des bornes de puissance.**

Borne	Type	Fonction
B+	Entrée	Connexion + batterie
B-	Entrée	Connexion - batterie
Fusible	n/a	Connexion fusible entre la batterie et la borne B+
U	Entrée/Sortie	Phase U moteur
V	Entrée/Sortie	Phase V moteur
W	Entrée/Sortie	Phase W moteur

### **D2 : Connexion des bornes de commande.**

Borne	Nom	Description
7	Masse I/O	Référence masse pour les entrées/sorties
15	Pot Haut 1	Connexion tension haute du potentiomètre d'accélération
16	Pot 1 curseur	Connexion curseur du potentiomètre d'accélération
18	Pot bas	Connexion tension basse du potentiomètre d'accélération
22	Contact 7	Sélection marche avant
26	+ 5V	Alimentation 5V codeur incrémental
31	Phase A	Voie A codeur incrémental
32	Phase B	Voie B codeur incrémental
33	Contact 8	Sélection marche arrière

### **D3 : Connexion du potentiomètre d'accélération.**



## E : Courbes de fusion fusibles.

### Melting Time – Current Data – CNL35–400

