

SESSION 2023

---

**AGREGATION  
CONCOURS EXTERNE**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR  
ET INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE**

**CONCEPTION PRÉLIMINAIRE D'UN SYSTÈME,  
D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION**

Durée : 6 heures

---

*Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.*

*Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.  
Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire**

**Tournez la page S.V.P.**

A

Ce sujet se décompose de la façon suivante :

- la présentation du sujet et ses questions (pages 1 à 18)
- les documents techniques (pages 19 à 36)
- les documents réponses, DR1 à DR3 (pages 37 à 39), à rendre avec la copie.

Il est demandé aux candidats :

- de rédiger les réponses aux différentes parties sur des feuilles de copie séparées et clairement repérées ;
- de numéroter chaque feuille de copie et indiquer le numéro de la question traitée ;
- d'utiliser exclusivement les notations indiquées dans le sujet lors de la rédaction des réponses ;
- de justifier clairement les réponses ;
- d'encadrer ou souligner les résultats ;
- de présenter lisiblement les applications numériques, sans omettre les unités, après avoir explicité les expressions littérales des calculs ;
- de formuler les hypothèses nécessaires à la résolution des problèmes posés si celles-ci ne sont pas indiquées dans le sujet.

**INFORMATION AUX CANDIDATS**

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAE	1415A	103	1268



# Voiture citadine électrique

## Mise en situation

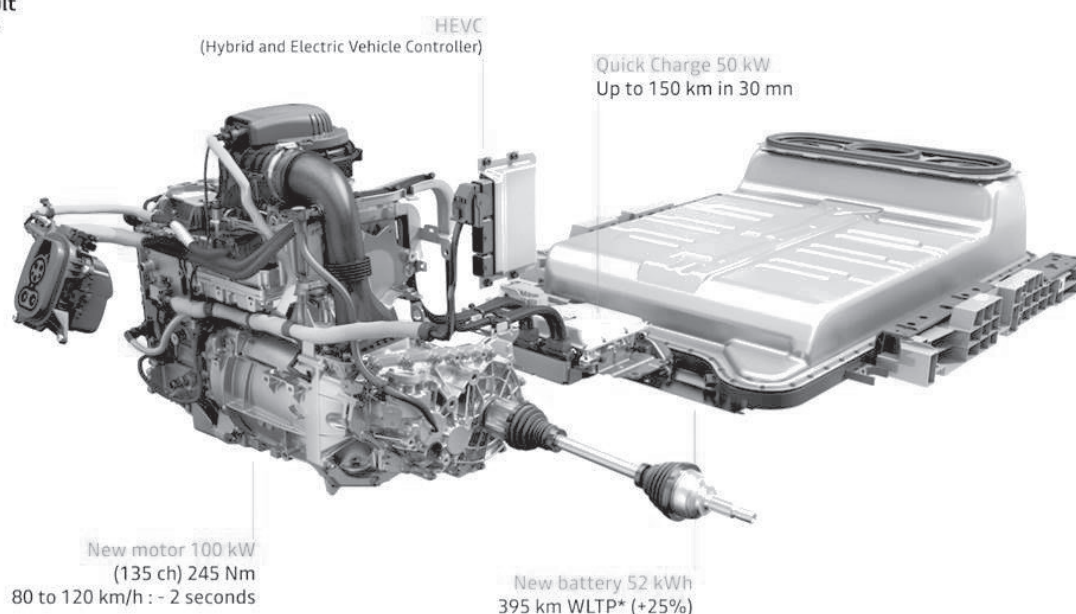
Le groupe Renault© se trouve en tête de classement des voitures électriques les plus vendues en France et voit sa part de marché augmenter depuis plusieurs mois. Les mieux classées étant la Zoé, la Dacia Spring et la Megane E-Tech.



Pionnier dans l'électrification, Renault a choisi de développer en interne son moteur, misant sur la technologie du rotor bobiné et le présente comme une pépite technologique.

Dans une voiture électrique, la batterie est très importante, elle représente près du tiers du prix total. Mais ce réservoir d'énergie très coûteux, c'est le moteur électrique qui l'exploite. La performance de ce dernier est donc essentielle. Un moteur à haut rendement offre davantage d'autonomie ou permet d'utiliser une batterie plus petite, donc moins chère, pour une même autonomie. C'est aussi un composant clé de l'agrément de conduite et des capacités d'accélération du véhicule. Renault a vite compris le rôle central du moteur dans la chaîne de valeur électrique. Ils ont été les premiers à fabriquer leurs moteurs électriques en interne de A à Z.

Renault  
R135

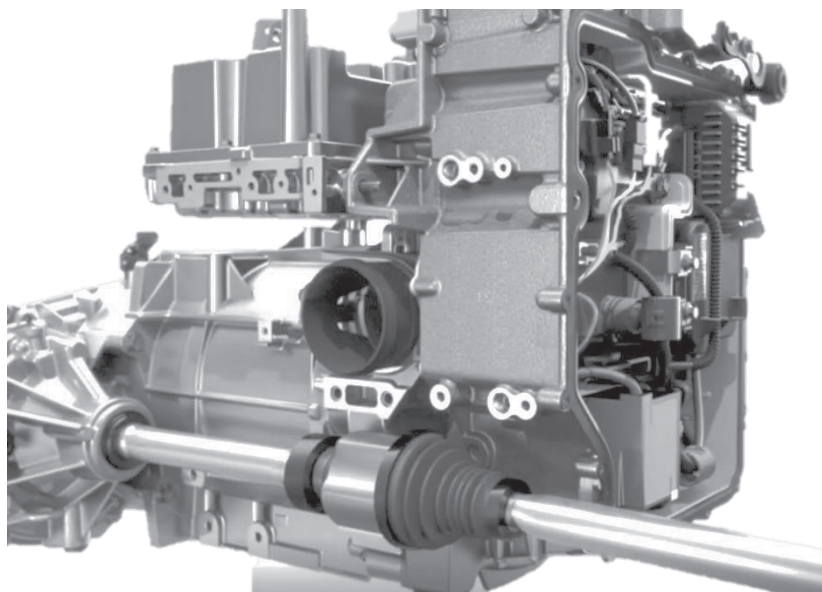


\*Homologation of the Life version

Illustration Renault©

Dans l'industrie, l'encombrement, le coût et la masse n'étaient pas des contraintes aussi essentielles que pour un moteur embarqué. De plus, l'immense majorité des actionneurs industriels sont pilotés en vitesse, parfois en position, tandis que la traction d'un véhicule est pilotée en couple. Enfin, la production de masse est un enjeu spécifique au secteur automobile. Il s'agit par exemple de parvenir à une meilleure intégration du moteur avec les autres composants – la batterie, l'électronique de puissance et le réducteur – et d'optimiser les matériaux, aimants et tôles magnétiques, ainsi que le bobinage.

Renault produit et assemble toute la partie active (le rotor, le stator, l'électronique de puissance, le réducteur).



*Illustration Renault©*

Le premier avantage de cette technologie est d'offrir un très bon rendement sur de larges plages de couple et de vitesse, notamment sur les faibles charges. Contrairement aux machines à aimants permanents, le constructeur a la main sur le niveau d'excitation magnétique via le courant injecté dans le bobinage du rotor. Quand le moteur n'a pas besoin d'être fortement sollicité, l'excitation peut être réduite, ce qui diminue la mise en œuvre magnétique au sein de la machine et les pertes associées. Le rendement reste donc très bon à faible charge. C'est crucial car, à l'usage, le moteur est le plus souvent dans ce régime de bas couple et de basse puissance. C'est là que l'essentiel de l'énergie est consommé. Le deuxième avantage est d'ordre industriel. À partir d'un design optimisé de l'intérieur de la machine - le circuit magnétique - il est possible, à moindre coût, de le décliner pour une famille de moteurs qui sont tous produits sur la même ligne de fabrication. C'est ainsi qu'avec la même base de composants et la même forme de tôles magnétiques (dont l'appareillage industriel coûte cher), des moteurs peuvent être destinés à la Zoé, à la Twingo Electric, au Kangoo Electric ou au Master Electric. Outre l'optimisation économique associée, cela apporte beaucoup de flexibilité dans la gestion des mélanges de production.

Ce moteur à rotor bobiné affiche de belles performances sur le nouveau cycle de référence (WLTC), qui est assez proche d'un usage client, avec beaucoup de points peu chargés. L'objectif est de 91 % de rendement en cycle WLTC, tandis que les machines à aimants se situent plutôt autour de 85-87 % sur la zone de fonctionnement sur cycle, pour l'ensemble machine et électronique de puissance. En revanche, le moteur de la Zoé peut sembler

légèrement en retrait en termes de densité massique de puissance et de densité volumique de couple. La technologie à aimants reste, pour le moment, supérieure sur la compacité. Mais le groupe Renault progresse sur cet aspect, tout en faisant attention à ne pas pousser les matériaux dans leurs retranchements en termes de saturation magnétique ou de densité de courant dans les bobinages, ce qui pourrait dégrader l'essentiel : le rendement.

Certains concurrents sont en train de se tourner vers cette technologie. Mais il faut reconnaître que ses avantages ne sont pas facilement accessibles. Le rotor bobiné pose deux grandes difficultés. La première concerne l'industrialisation. La structure du rotor est complexe : le bobinage, avec ses fils, sa résine et ses pièces de maintien, doit résister aux effets dynamiques à vitesse élevée (jusqu'à 12 000 tours par minute sur la Zoé) et aux contraintes thermiques. Le processus de fabrication requiert donc un savoir-faire important. Deuxième difficulté : cette technologie à excitation variable offre certes un degré de liberté supplémentaire, mais il faut savoir le gérer et l'optimiser via l'électronique de puissance et le calculateur. Si ces modulations sont mal maîtrisées, le résultat peut être pire qu'en l'absence de ce degré de liberté.

En définitive, Renault a levé des verrous technologiques qui permettront d'atteindre des densités de puissance et de couple équivalentes à celles des machines à aimants permanents.

Si le constructeur automobile veut se démarquer de la concurrence, il doit donc afficher un cycle WLTC performant. En effet, chez le consommateur certaines angoisses subsistent vis à vis des véhicules électriques, à commencer par des soupçons du point de vue de l'autonomie ou du manque d'infrastructures de recharge publiques.

Un autre aspect est lié aux sensations : en s'installant à bord, le conducteur découvre une voiture capable de délivrer une puissance élevée et continue, dès le démarrage, en silence et sans gaz d'échappement.

Le sujet est constitué de trois parties totalement indépendantes :

- Partie A – Conception de la chaîne de puissance
- Partie B – Conception de l'onduleur
- Partie C – Conception de la commande rapprochée.

La partie A du sujet s'intéresse globalement aux aspects liés à l'autonomie et aux sensations.

Les parties B et C permettent d'analyser dans le détail les choix technologiques réalisés, sans jamais perdre de vue la nécessité d'optimiser la masse et le rendement global du véhicule.

## PARTIE A : Conception de la chaîne de puissance

L'objectif de cette partie est de valider le choix de la batterie de traction du véhicule pour obtenir une autonomie conforme aux exigences attendues en termes de performances WLTC et de confirmer la puissance maximale nécessaire pour obtenir le temps « départ arrêté » annoncé.

### A.1. Simulation du comportement du véhicule en vue du dimensionnement de la chaîne de puissance

**Question 1 :** À l'aide des DT1 et DT2, calculer la puissance massique du véhicule Zoé E-Tech. En déduire la classe retenue pour les essais WLTC.

Dans une démarche de conception, un modèle mécanique du véhicule est établi. Cela permet de simuler par exemple un cycle WLTC ou une accélération de 0 à 100 km·h<sup>-1</sup>. Les résultats obtenus permettent au constructeur de choisir les éléments de la chaîne de puissance.

Le modèle causal, issu de la mise en équation du comportement du véhicule dans son environnement, permet d'effectuer une simulation, il est décrit à la figure 1.

La variable de Laplace est notée « s ».

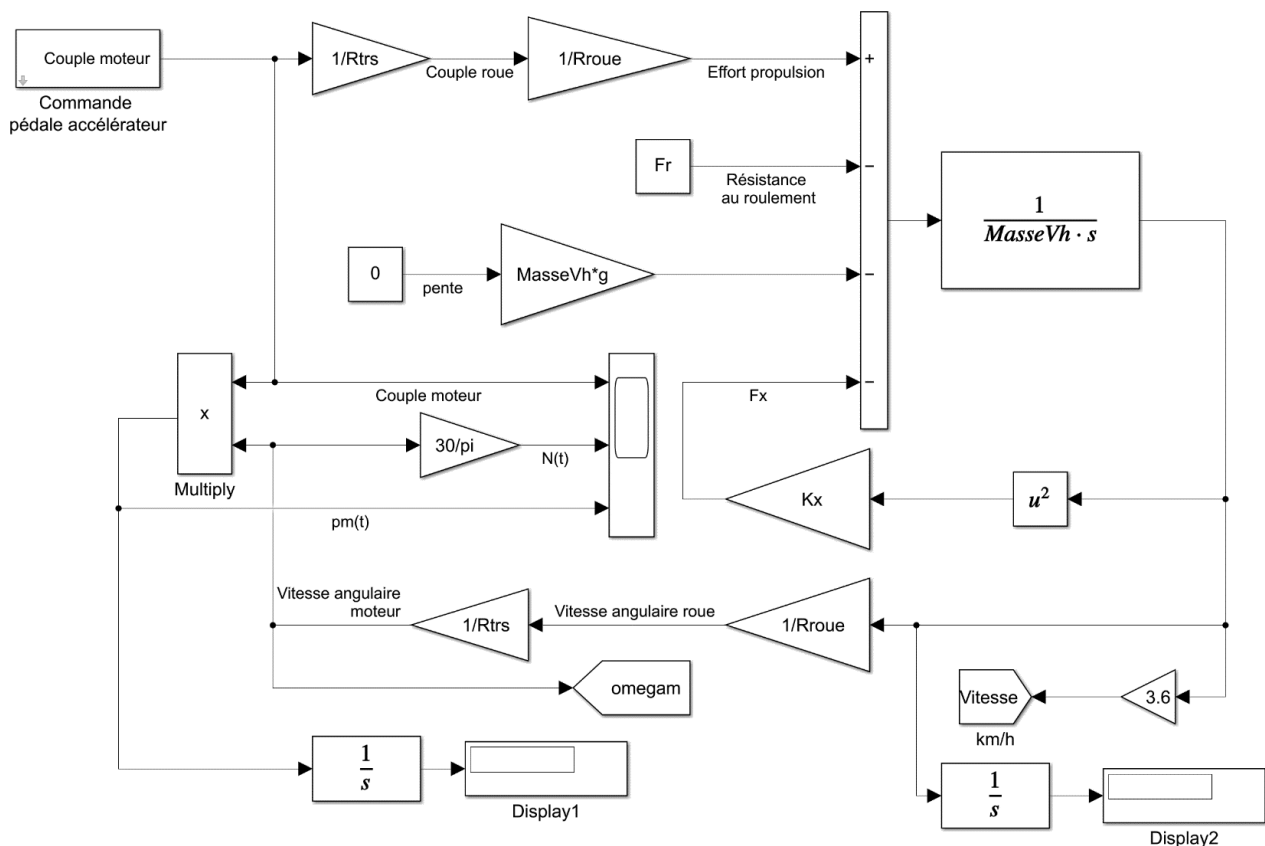


Figure 1 : modèle causal du véhicule

**Question 2 :** Afin de configurer le modèle de simulation, à l'aide des DT1, DT3 et de la figure 1, compléter le tableau du DR1. Lors de la simulation la masse volumique de l'air est réglée sur  $\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  et l'accélération de la pesanteur à  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

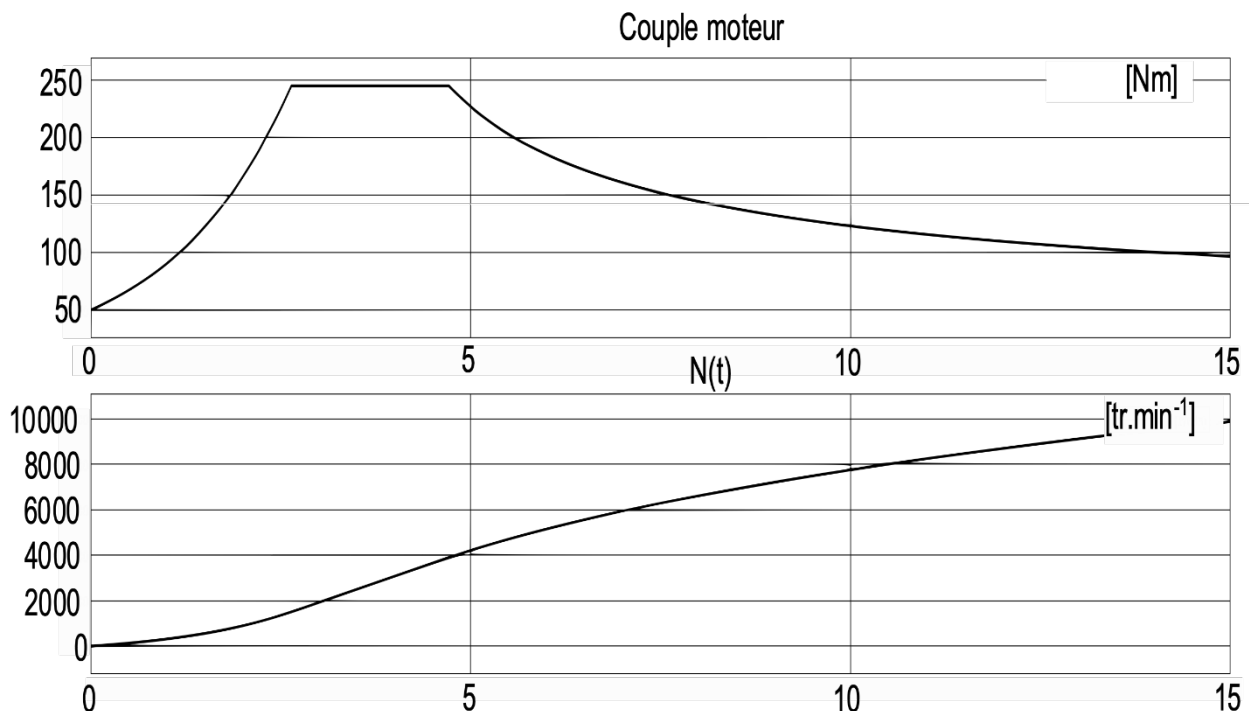


**Question 3 :** Indiquer les grandeurs physiques et les unités des valeurs présentées par les afficheurs Display1 et Display2 de la figure 1.

### A.2 Dimensionnement du moteur synchrone

Il s'agit de déterminer la puissance maximale qu'il faut fournir au véhicule pour obtenir la performance « départ arrêté » annoncée.

Le modèle de la figure 1 intègre la gestion du flux de la machine synchrone. Lors d'un test avec une consigne de couple de l'utilisateur maximale, la masse du véhicule ne tenant compte que d'un seul passager, le conducteur, avec l'hypothèse d'un terrain plat, les courbes de la figure 2 sont relevées.



**Figure 2 :** Relevés temporels du couple moteur et de la vitesse moteur lors d'une simulation « départ arrêté » sur une durée de 15 s

**Question 4 :** Relever graphiquement l'instant à partir duquel la puissance est maximale. Effectuer un tracé sur DR1, puis indiquer la valeur de  $P_{max}$  ainsi relevée.

**Question 5 :** À l'aide des informations du DT1 et des figures 1 et 2, déterminer la vitesse de rotation du moteur lorsque le véhicule roule à une vitesse de  $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

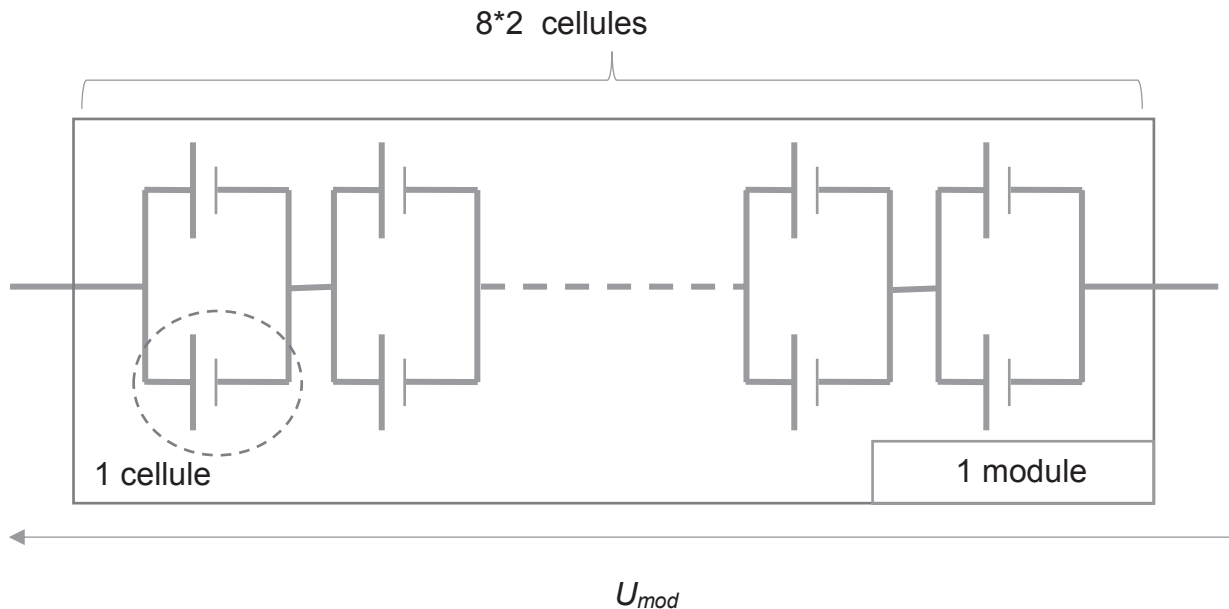
**Question 6 :** Déterminer le temps nécessaire pour passer de 0 à  $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Comparer aux données du DT1, conclure sur un éventuel écart. Effectuer un tracé sur DR1.

**Question 7 :** À partir des relevés des questions précédentes et en supposant que la chaîne de transmission mécanique a un rendement  $\eta = 0,98$ , calculer la puissance maximale fournie par le motoréducteur et valider la puissance indiquée par le constructeur du véhicule.

### A.3 Dimensionnement de la batterie de traction

Le véhicule Zoé E-Tech est équipé de deux batteries, une batterie fournissant une tension de 12V pour l'alimentation du circuit électronique et une batterie 400 V dite de traction qui sert à l'alimentation du moteur.

La batterie de traction est de type Lithium-ion. Elle est constituée de modules en série. Chaque module contient 8x2 cellules. Un module est décrit sur la figure 3.



**Figure 3 :** Composition d'un module de batterie

La tension aux bornes d'une cellule chargée est de 4,2 V et sa capacité est de 65 A·h.

**Question 8 :** Calculer  $U_{mod}$  la tension aux bornes d'un module. En déduire le nombre de modules mis en série pour réaliser la batterie de traction.

**Question 9 :** Donner l'expression de la capacité énergétique de la batterie en kWh. Faire l'application numérique.

Les résultats de simulation du modèle de la figure 1 nous indiquent une consommation d'énergie au niveau de la batterie de 2,62 kWh, lorsqu'il est tenu compte du rendement du motoréducteur et de l'onduleur pour un cycle WLTC pour une distance parcourue de 23,3 km.

**Question 10 :** Déterminer le nombre de cycles WLTC réalisables avec une batterie initialement complètement chargée. En déduire l'autonomie en km de ce véhicule. Peut-on valider le choix de batterie du constructeur ? Exprimer l'origine d'un écart éventuel.

## PARTIE B : Conception de l'onduleur

L'objectif de cette partie est de concevoir une structure permettant de créer un système de courants triphasés à fréquence variable à partir d'une source de tension continue en limitant les pertes dans le moteur synchrone. Comme pour tout véhicule électrique, la chaîne de puissance de la Zoé E-tech se doit d'être optimisée de bout en bout pour obtenir des performances énergétiques favorisant l'augmentation de l'autonomie.

La structure de la chaîne de puissance est décrite dans le DT4.

Les données numériques sont les suivantes :

- la puissance nominale du motoréducteur est de 100 kW ;
- le rendement du motoréducteur synchrone  $\eta_{MR}$  est de 91 % ;
- le rendement de l'onduleur triphasé  $\eta_{OT}$  est supposé de 98,7 % ;
- la tension nominale du bus continu  $U_{Bat}$  est de 400 V ;

**Question 11 :** Indiquer la nature des différentes pertes produites au sein de l'ensemble motoréducteur synchrone en précisant leurs origines et les phénomènes physiques concernés.

### B.1 Détermination des caractéristiques du bus continu

**Question 12 :** Déterminer l'expression de  $P_{acc}$  la puissance nominale fournie par le bus continu en fonction de  $\eta_{MR}$ ,  $\eta_{OT}$  et  $P_m$ . Effectuer l'application numérique.

**Question 13 :** Déterminer l'expression du courant  $I_B$  nominal en fonction de  $P_{acc}$  et de  $U_{Bat}$ , la tension présente aux bornes du bus continu. En déduire sa valeur numérique.

### B.2 Structure de l'onduleur

La solution retenue est celle de la figure 4.

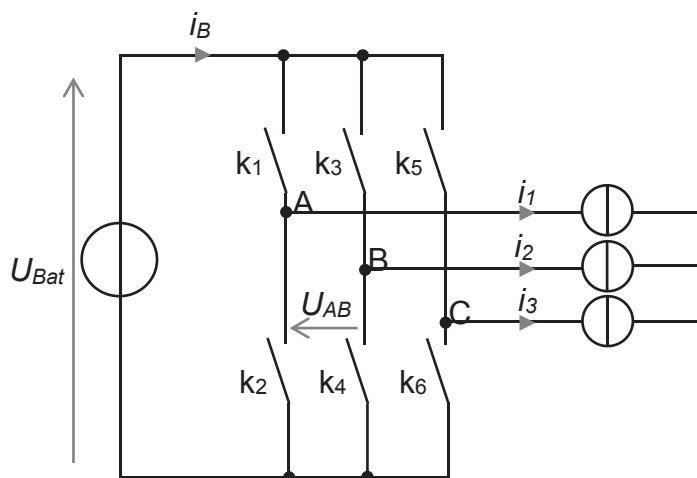


Figure 4 : Structure de l'onduleur triphasé

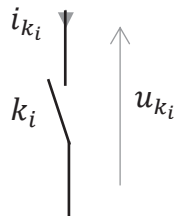
Les variables binaires  $k_i$  avec  $i \in \{1, \dots, 6\}$  représentent l'état des interrupteurs. L'état logique « 1 » correspond à un interrupteur fermé. L'état logique « 0 » correspond à un interrupteur ouvert.

**Question 14 :** Indiquer, en le justifiant, pourquoi les signaux de commande des interrupteurs doivent respecter les relations  $k_1 = \bar{k}_2$ ,  $k_3 = \bar{k}_4$  et  $k_5 = \bar{k}_6$ .

Pour la suite, La tension  $U_{Bat}$  est supposée constante.

**Question 15 :** Sur le DR2, pour un pilotage en pleine onde, (la frise temporelle indique la référence des interrupteurs fermés en fonction du temps), représenter les tensions composées  $u_{AB}$ ,  $u_{BC}$  et  $u_{CA}$ .

La représentation idéale d'un interrupteur en convention récepteur est indiquée figure 5.



**Figure 5 :** Représentation de l'interrupteur idéal

Pour la suite, les courants  $i_1$ ,  $i_2$  et  $i_3$  sont supposés sinusoïdaux de fréquence  $f$ , de période  $T$  et de valeur efficace  $I$ .

**Question 16 :** Représenter dans le plan  $i_{k_i} = f(u_{k_i})$  les segments utilisés pour chacun des interrupteurs constituant la structure de la figure 4. Indiquer les limites des grandeurs  $u_{k_i}$  et  $i_{k_i}$ .

**Question 17 :** En déduire une solution à base de composants d'électronique de puissance pouvant réaliser ces interrupteurs. Proposer le schéma de cet interrupteur.

**Question 18 :** Déterminer l'expression de la valeur efficace  $U$  de la tension  $u_{AB}$  obtenue à la question 15 en fonction de  $U_{Bat}$ .

**Question 19 :** Montrer qu'en choisissant judicieusement l'origine des temps, la tension  $u_{AB}(t)$  peut s'écrire :

$$u_{AB}(t) = \sum_{k=0}^{+\infty} U_k \sqrt{2} \sin((2k + 1)\omega t)$$

avec :

$$U_k = \frac{2U_{Bat}\sqrt{2}}{\pi(2k + 1)} \cos\left((2k + 1)\frac{\pi}{6}\right)$$

et  $\omega = 2\pi f$

L'expression du taux de distorsion harmonique du signal est ici définie par

$$THD_F = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{+\infty} U_k^2}}{U_0}$$

**Question 20 :** Déterminer alors l'expression de  $THD_F$  en fonction de  $U$  (définie à la question 18) et  $U_0$  (valeur efficace de la composante fondamentale de  $u_{AB}(t)$ ). Effectuer l'application numérique.

**Question 21 :** Indiquer la conséquence sur la chaine de puissance d'un  $THD_F$  trop élevé. Indiquer une solution permettant de réduire ce  $THD_F$ .

## PARTIE C : Conception de la commande rapprochée

L'objectif de cette partie est de concevoir la commande rapprochée des IGBT de l'onduleur de la Zoé E-tech dans le but d'optimiser le rendement du convertisseur statique tout en minimisant la masse embarquée. La gestion de l'énergie de la partie commande et la protection des composants d'électronique de puissance fait partie de la démarche de conception. D'autre part, pour limiter les perturbations électromagnétiques, il faut aussi que les temps de commutation des IGBT soient maîtrisés.

La structure retenue est présentée à la figure 6.

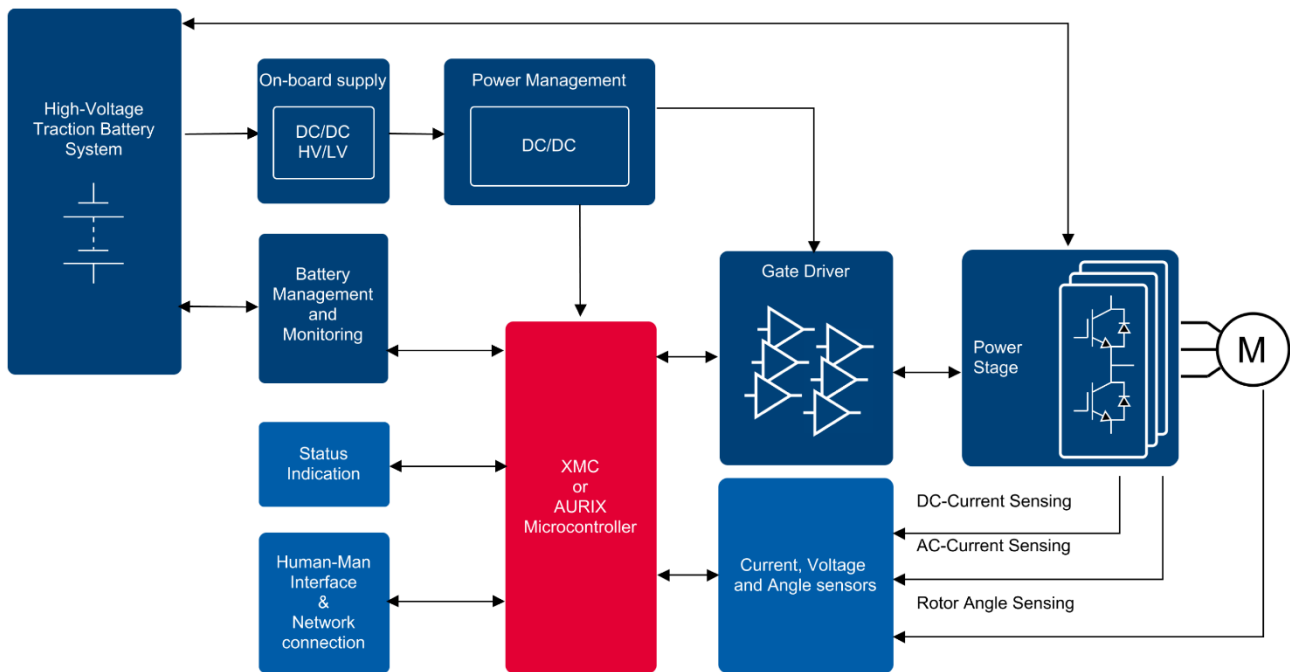


Figure 6 : Structure de l'alimentation du moteur

Chaque transistor IGBT est piloté par un étage nommé Boost (commande rapprochée) lui-même contrôlé par un driver (pilote), voir DT5.

Les six drivers réalisent une isolation galvanique entre chaque IGBT et les entrées / sorties du microcontrôleur. Les drivers intelligents gèrent la sécurité de l'IGBT, le pilotage On/Off du transistor, le report des défauts. Ces pilotes sont configurables au travers d'une liaison SPI (Serial Peripheral Interface).

Chaque driver dispose de sa propre alimentation asymétrique +15 V / -8 V.

A ces six alimentations isolées entre-elles s'ajoute une source +5 V qui alimente le microcontrôleur.

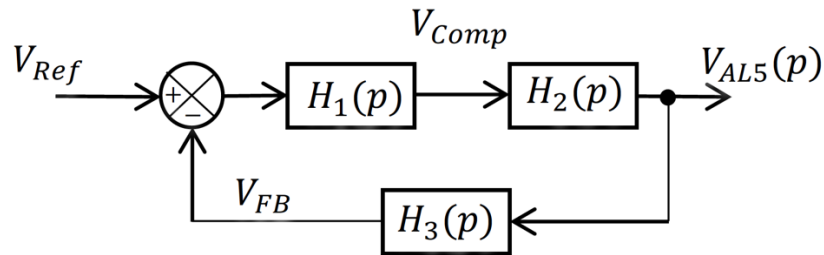
**Question 22 :** À partir de l'analyse de la structure et les informations proposées sur le DT5, indiquer les différents principes, utilisés ici, permettant de réaliser la protection de l'IGBT contre les surintensités (indiquer les composants alors mis en œuvre). Décrire de la même façon le principe de protection contre les surtensions.

## C.1 Conception de l'alimentation à découpage (SMPS)

Il s'agit ici de concevoir la régulation de tension de l'alimentation des drivers.

Le schéma structurel de cette alimentation est donné sur le DT6. Il est construit autour du circuit LM3478 décrit sur le DT7.

La régulation de tension est réalisée par la mesure de la tension de l'alimentation 5 V destinée au microcontrôleur. La consigne de cet asservissement est une tension de référence notée  $V_{Ref}$  élaborée par le circuit LM3478. Le schéma bloc permettant de modéliser cet asservissement est fourni à la figure 7.



$$H_1(p) = \frac{A_1 \left(1 + \frac{p}{\omega_1}\right)}{1 + \frac{p}{\omega_{11}}}; \quad H_2(p) = \frac{A_2}{1 + \frac{2zp}{\omega_2} + \frac{p^2}{\omega_2^2}}; \quad H_3(p) = \frac{A_3}{1 + \frac{p}{\omega_3}}$$

Figure 7 : Régulation de tension 5 V

La transmittance  $H_1(p)$  et le comparateur sont réalisés par un amplificateur soustracteur de gain  $A_1$  selon le schéma de la figure 8. Le potentiel  $V_{Comp}$  est raccordé aux composants  $R_7$  et  $C_9$ .  $H_2(p)$  représente la transmittance de l'ensemble transistor MOS – Transformateur piloté par une commande à rapport cyclique variable.  $H_3(p)$  est réalisée par les composants  $R_5$ ,  $R_6$  et  $C_8$ .

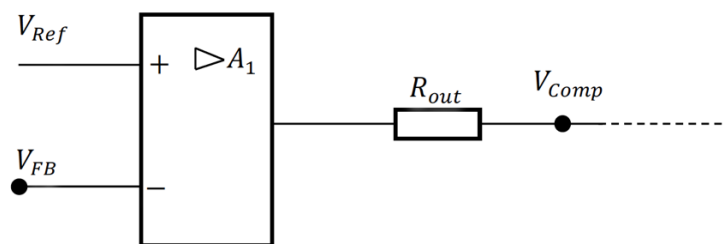


Figure 8 : Structure interne partielle du LM3478

Données :  $A_1 = 38$  ;  $A_2 = 7,5$  ;  $z = 0,7$  ;  $\omega_2 = 950 \times 10^3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  ;

$$\omega_3 = 6,8 \times 10^3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} ; R_{out} = 50 \text{ k}\Omega ; V_{Ref} = 1,26 \text{ V}$$

**Question 23 :** Déterminer les expressions de  $H_1(p)$  et  $H_3(p)$  en fonction des composants  $R_7$ ,  $C_9$  et  $R_{out}$  ainsi que  $R_5$ ,  $R_6$  et  $C_8$ . Déterminer l'expression de l'erreur statique de cet asservissement et les valeurs de  $\omega_1$  et  $\omega_{11}$  ainsi que l'expression de  $\omega_3$ .

**Question 24 :** À partir des questions précédentes, du DT6, du DT7, et l'expression de  $\omega_3$ , choisir les valeurs des résistances  $R_5$ ,  $R_6$ . Sachant que la fréquence de hachage est de 475 kHz, déterminer  $R_8$ . Déterminer alors, la valeur de  $A_3$  et la valeur numérique de l'erreur statique.

## C.2 Conception du transformateur

Il s'agit de concevoir le transformateur à 1 primaire et 7 secondaires de l'alimentation à découpage.

### Fonctionnement du SMPS

Le circuit magnétique du transformateur planaire étant totalement démagnétisé. Le transistor  $Q_1$  est alors commandé pendant la phase de magnétisation pour  $t$  tel que  $0 < t < \alpha T$ .

La totalité de l'énergie accumulée lors de cette première phase est ensuite transférée aux divers enroulements secondaires pendant une phase d'une durée  $\beta T$  avec  $\beta < 1 - \alpha$

### Hypothèses

Les résistances des enroulements n'interviennent pas pour les considérations électrocinétiques.

### Notations

$\alpha$  rapport cyclique de commande du transistor  $Q_1$

$T$  période de hachage

$f_H$  fréquence de hachage

$L_1$  inductance de l'enroulement primaire

$E$  source de tension primaire

$i_1(t)$  courant de l'enroulement primaire

$I_{1MAX}$  valeur crête de  $i_1(t)$

$\Phi_{MAX}$  flux maximum atteint au cœur du circuit magnétique

$B_{MAX}$  induction maximale atteinte en fin de magnétisation

$A_e$  aire de la section du circuit magnétique

$P_{A1}$  puissance absorbée par l'enroulement primaire

$W_1$  quantité d'énergie transférée à chaque période de hachage

$\eta$  rendement global du transformateur

$P_S$  puissance fournie à l'ensemble des secondaires



$n_1$  nombre de spire de l'enroulement primaire

$n_2$  nombre de spire de l'enroulement secondaire alimentation 5 V

$n_3$  nombre de spire de chacun des enroulements secondaires des alimentations +15 V/-8 V

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ U.S.I.}$  perméabilité magnétique du vide

$m_{21} = \frac{n_2}{n_1}$  rapport de transformation du circuit de l'alimentation 5V

$m_{31} = \frac{n_3}{n_1}$  rapport de transformation des circuits des alimentations +15 V/-8 V

$V_{S2}$  tension aux bornes de la bobine de  $n_2$  spires

$V_{S3}$  tension aux bornes des bobines de  $n_3$  spires

$V_{AL5}$  tension en sortie d'alimentation 5 V

*Valeurs numériques des grandeurs prédéterminées permettant le dimensionnement*

$\eta = 90 \%$  ;  $E = 12 \text{ V}$  ;  $f_H = 475 \text{ kHz}$  ;  $B_{MAX} = 104 \text{ mT}$  ;  $\alpha = 0,75$

**Question 25 :** Expliquer la raison de la nécessité d'une isolation galvanique des alimentations des drivers entre elles et la partie numérique. Comment cette isolation est-elle obtenue ?

L'alimentation SMPS (Switch Mode Power Supply) alimente la partie commande numérique sous une tension de 5 V ; l'enroulement secondaire correspondant fournit une puissance de 3 W, voir DT6.

Chaque driver de commande rapprochée des IGBT est alimenté indépendamment des autres par un système de tension asymétrique +15 V / -8 V, chacun des enroulements secondaires correspondants fournit une puissance moyenne de 2,5 W.

**Question 26 :** Déterminer la valeur numérique de  $P_S$  puissance fournie par l'ensemble des secondaires.

Pour la suite, le transistor  $Q_1$  est considéré comme un interrupteur commandé parfait.

**Question 27 :** Lors de la saturation du transistor  $Q_1$ , déterminer l'expression du courant  $i_1(t)$  traversant l'inductance primaire. En déduire l'expression du courant  $I_{1MAX}$  en fonction de  $\alpha$ ,  $E$ ,  $L_1$  et  $f_H$ , puis en déduire l'expression de  $W_1$ , la quantité d'énergie accumulée dans le circuit magnétique juste avant le blocage de  $Q_1$ .

**Question 28 :** En déduire l'expression de  $P_{A1}$ , la puissance absorbée au primaire en fonction de  $W_1$  et  $f_H$ .

**Question 29 :** Déterminer alors l'expression de  $L_1$  en fonction de  $\alpha$ ,  $E$ ,  $f_H$ ,  $\eta$  et  $P_S$ .

Pour la suite on prendra  $P_S = 20 \text{ W}$

**Question 30 :** Calculer les valeurs numériques de  $I_{1MAX}$ ,  $W_1$  et  $L_1$ .

Pour la suite, la relation  $L_1 I_{1MAX} = n_1 \Phi_{MAX}$  est admise.

**Question 31 :** Dédurre, en utilisant les résultats précédents, l'expression de  $n_1$  en fonction de  $\alpha$ ,  $E$ ,  $B_{MAX}$ ,  $A_e$  et  $f_H$ .

Le circuit électrique de ce transformateur est réalisé par un circuit imprimé multicouche qui vient se placer entre deux demi-coques en ferrite décrites sur le DT8. La section du circuit magnétique est supposée constante.

**Question 32 :** Représenter sur le DR3 le parcours de quelques lignes de champ.

**Question 33 :** À partir du DT8, choisir le matériau magnétique utilisé et déterminer le nombre de spires primaire  $n_1$ .

Pour déterminer le nombre de spires des enroulements secondaires, la détermination est faite en considérant que la démagnétisation est complète juste à la fin de la période de hachage. C'est à dire avec l'hypothèse que  $\beta = 1 - \alpha$ , que les diodes *ES1A* ont une tension de seuil  $V_F = 1$  V et que la tension moyenne en sortie de transformateur est nécessairement nulle.

Les tensions aux bornes de  $C_1$  et  $C_4$  sont supposées constantes. Noter que les points homologues sont indiqués sur le DT6.

**Question 34 :** Déterminer la relation liant  $V_{S2MAX}$ ,  $V_F$  et  $V_{AL5}$  ainsi que celle liant  $V_{S2MIN}$ ,  $m_{21}$  et  $E$ .

**Question 35 :** Représenter les chronogrammes, en concordance de temps sur une période de hachage de  $i_1(t)$  et  $V_{S2}(t)$  en faisant clairement apparaître les grandeurs de la question précédente.

**Question 36 :** En déduire l'expression de  $m_{21}$  en fonction de  $\alpha$ ,  $V_{AL5}$ ,  $V_F$  et  $E$ .

**Question 37 :** Calculer la valeur de  $n_2$ .

**Question 38 :** Reprendre rapidement la démarche précédente pour déterminer  $n_3$

La détermination de l'entrefer  $e$  s'effectue en partant du principe que la quantité d'énergie  $W_1$  est principalement stockée dans l'entrefer.

**Question 39 :** Déterminer la relation liant  $B_{MAX}$ ,  $W_1$ ,  $A_e$ ,  $\mu_0$  et  $e$ . Déterminer l'expression de  $e$ . Effectuer l'application numérique.

**Question 40 :** Conclure sur l'intérêt de ces nouveaux matériaux magnétiques vis-à-vis de cette application.

### C3 Limitation des pertes Joule de l'onduleur

La connaissance de ces pertes participe au dimensionnement du système de refroidissement par eau du moteur. L'influence de la valeur des résistances de grille est mise en évidence.

#### Hypothèses

- le pilotage de l'onduleur s'effectue ici en MLI (modulation de largeur d'impulsion) ;
- la tension composée nominale  $U_0$ , définie à la question 19, qui alimente l'induit du moteur est supposée égale à 312 V efficace et le facteur de puissance  $F_P = 0,85$ .
- le moteur synchrone à rotor bobiné de la Zoé E-Tech délivre une puissance  $P_m$  de 100 kW et son rendement  $\eta_{MR}$  est de 91 % ;
- la tension de commande de grille  $V_{gg}$  (en sortie du booster – cf. DT5-1/5) est de 15V. Elle commande l'IGBT à travers une résistance  $R_G$ , les températures de jonction des semi-conducteurs dans les conditions nominales sont de 150 °C ;
- la fréquence de modulation MLI,  $f_{MLI}$  est de 8 kHz. Le degré de modulation  $m$  est de 0,9 ;
- les modèles équivalents de chaque IGBT et de chaque diode sont considérés à l'état passant comme l'association en série d'une source de tension et d'une résistance ;
- les résistances  $R_G$  sont choisies pour contrôler le  $di/dt$  à la saturation et le  $dv/dt$  au blocage.

#### Notations

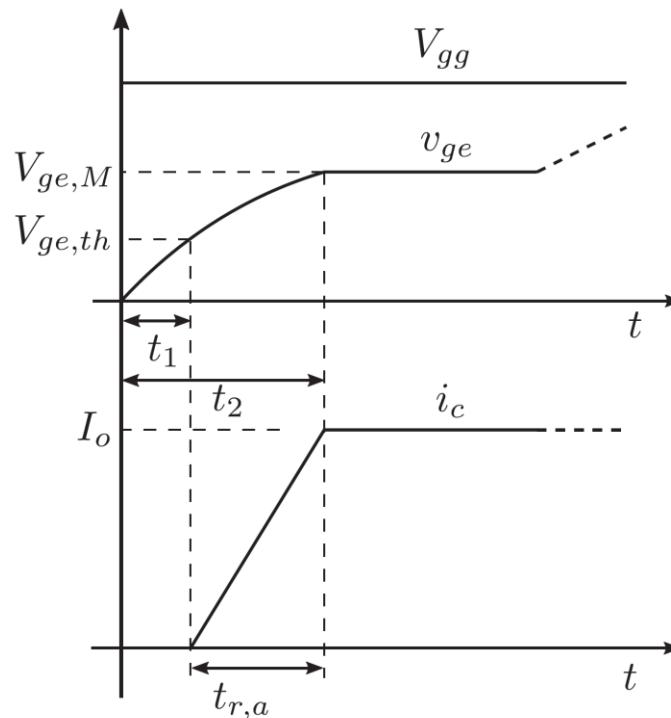
- pour le modèle « passant » de l'IGBT :  $V_{CE0}$  et  $r_{CE}$
- pour le modèle « passant » de la diode :  $V_{F0}$  et  $r_D$

**Question 41 :** Déterminer l'expression du courant efficace nominal  $I_1$  du moteur en fonction de  $\eta_{MR}$ ,  $U_0$ ,  $F_P$  et  $P_m$  puis effectuer l'application numérique.

**Question 42 :** Déterminer la valeur de  $I_0$  (valeur de dimensionnement) qui correspond à la valeur crête de  $i_1(t)$  majorée de 10% (par mesure de sécurité).

**Question 43 :** Déterminer graphiquement sur le DT9 la valeur notée  $V_{ge,M}$  de  $V_{GE}$  quand le courant  $I_0$  est atteint.  $M$  est le point de fonctionnement de l'IGBT dans le plan  $(V_{GE}, I_C)$ .

C'est la charge du condensateur  $C_{ies}$ , appartenant au modèle du transistor, à travers la résistance  $R_{G-ON}$  qui limite la montée du courant comme le montre la figure 9 :



**Figure 9 :** Transitoire lors de l'amorçage de l'IGBT pour un courant  $I_0$  .

Afin de limiter les surtensions liées aux inductances parasites d'alimentation du pont depuis le bus continu, le temps  $t_{r,a}$  doit être d'au moins de 150 ns.

**Question 44 :** Déterminer les relations liant  $t_1$  et  $t_2$  aux grandeurs  $t_{r,a}$ ,  $C_{ies}$ ,  $V_{gg}$ ,  $V_{ge,th}$ ,  $V_{ge,M}$  et  $R_{G-ON}$ . Déterminer l'expression de  $R_{G-ON}$  et calculer sa valeur numérique en utilisant les valeurs de la documentation technique et de l'énoncé.

Une démarche similaire pour le choix de la résistance  $R_{G-OFF}$  vis-à-vis de la limitation du  $dv/dt$  donne  $R_{G-OFF} = 5,1\Omega$  . Pour la suite la valeur de  $R_{G-ON}$  retenue sera de  $4\Omega$ .

Pour déterminer les pertes en conduction, un modèle statique des composants d'électronique de puissance en régime établi est obtenu en supposant que  $V_{GE}$  a atteint  $V_{gg}$ .

**Question 45 :** À partir du DT9, déterminer graphiquement les valeurs numériques de  $V_{CE0}$ ,  $r_{CE}$ ,  $V_{F0}$  et  $r_D$  .

Le constructeur du module donne les relations suivantes pour les pertes par conduction dans les semi-conducteurs dans le cas d'un onduleur MLI :

Pour les IGBT :

$$P_{cond}(IGBT) = \frac{1}{2} \left( V_{CE0} \cdot \frac{I_1}{\pi} + r_{CE} \cdot \frac{I_1^2}{4} \right) + m \cdot F_P \left( V_{CE0} \cdot \frac{I_1}{8} + r_{CE} \cdot \frac{I_1^2}{3\pi} \right)$$

Pour les diodes :

$$P_{cond}(Diode) = \frac{1}{2} \left( V_{F0} \cdot \frac{I_1}{\pi} + r_D \cdot \frac{I_1^2}{4} \right) - m \cdot F_P \left( V_{F0} \cdot \frac{I_1}{8} + r_{CE} \cdot \frac{I_1^2}{3\pi} \right)$$

Les pertes par commutation dans les semi-conducteurs sont proportionnelles à la fois au courant moyen commuté  $I_{K0}$  et à la tension du bus continu  $U_{Bat}$  et dépendent de la température de jonction et de la résistance de grille de l'IGBT.

La relation  $I_{K0} = \frac{\sqrt{2}I_1}{\pi}$  est admise.

**Question 46 :** Déterminer, à l'aide du DT9, les valeurs de  $E_{on}$  et  $E_{off}$  perdue par l'IGBT à chaque période ainsi que la valeur  $E_{rec}$  de l'énergie perdue par phénomène de recouvrement dans chaque diode au moment de son blocage.

**Question 47 :** Effectuer le bilan des pertes du module dans les conditions nominales.

**Question 48 :** En déduire le rendement nominal de l'onduleur.

**Question 49 :** Conclure, de manière qualitative, sur l'influence de la valeur de  $R_G$  sur le rendement de l'onduleur et le compromis à prendre en compte concernant le choix de la valeur de cette résistance. Indiquer l'origine du lien intrinsèque qui existe avec la masse à vide de la Zoé E-Tech.

## Synthèse

**Question 50 :** Conclure pour l'ensemble du sujet sur les améliorations technologiques qui pourraient être apportée à ce véhicule.

# DOCUMENTS TECHNIQUES

- DT1** Caractéristiques techniques du véhicule
- DT2** Procédure d'essai harmonisée mondiale pour les véhicules légers
- DT3** Etude mécanique du véhicule
- DT4** Chaîne de puissance de la motorisation
- DT5** Commande rapprochée
- DT6** Schéma du circuit SMPS
- DT7** Régulateur de découpage
- DT8** Transformateur Planaire
- DT9** Module IGBT

## DT1 Caractéristiques techniques du véhicule

Caractéristiques ZOE - R135	
<b>Carrosserie</b>	
Places	4/5
Nombre de portes	5
<b>Dimensions (mm) et masses (kg)</b>	
Empattement	2588
Voies AV	1506
Voies AR	1489
Longueur	4087
Largeur	1787
Hauteur	1562
Garde au sol	120
Masse totale en charge	1988
Masse à vide	1577
<b>Caractéristiques aérodynamique</b>	
SCx	0,75 m <sup>2</sup>
<b>Moteur</b>	
Energie	électrique
Constructeur du moteur	Renault
Type moteur	R135
Puissance maximale	100 kW
Couple maximum	245 Nm
<b>Performances</b>	
0-100km/h	9.5 s
Vitesse	140 km/h (87 mph)
<b>Liaison au sol</b>	
Pneumatiques AV	195/55 R 16 91T
Pneumatiques AR	195/55 R 16 91T
Freins AV/AR	VeDi/VeDi-S-ABS
Diamètre des freins AV	280 mm
Diamètre des freins AR	260 mm
Rapport de transmission (un seul rapport)	1/9
Capacité batterie de traction	52 kWh
Autonomie	395km



195 / 55 R 16 91 T	
Hauteur du flanc	107 mm
Diamètre	0,621 m
Périmètre	1,951 m
Soit une vitesse de	117,0 km·h <sup>-1</sup> pour 1000 tr·min <sup>-1</sup>
Vitesse maxi	190 km·h <sup>-1</sup>
Charge maximale	6 kN
RRC	7,7 N/kN
La carcasse du pneu est du type 'radial', comme la quasi-totalité des pneus vendus aujourd'hui.	
La largeur de la jante doit être comprise entre : 5,5 et 7,0 pouces. Soit entre : 140 mm et 178 mm.	

## DT2 Procédure d'essai harmonisée mondiale pour les véhicules légers

Règlement UE 2018/1832 et UE 2019/1242 concernant les véhicules légers, les véhicules lourds

Les exigences pour les dispositifs de surveillance de la consommation de carburant et/ou d'énergie électrique enregistrent pour les véhicules électriques pur des informations comme :

- la consommation totale (durée de vie) de carburant en mode épuisement de la charge (en litres);
- la consommation totale (durée de vie) de carburant en mode augmentation de la charge sélectionnée par le conducteur (en litres);
- la distance totale (durée de vie) parcourue en mode épuisement de la charge, moteur éteint (en kilomètres);
- la distance totale (durée de vie) parcourue en mode épuisement de la charge, moteur allumé (en kilomètres);
- la distance totale (durée de vie) parcourue en mode augmentation de la charge sélectionnée par le conducteur (en kilomètres);
- l'accumulation totale (durée de vie) d'énergie du réseau dans la batterie (en kWh).

Cette information est enregistrée dans le dispositif OBFCEM (On-Board Fuel Consumption Meter), obligatoire sur les véhicules neufs depuis 2020.

La procédure d'essai mondiale harmonisée en ce qui concerne les émissions des voitures particulières et véhicules utilitaires légers définit notamment des notions d'autonomie. Par «autonomie en mode électrique pur», on entend dans le cas d'un véhicule électrique pur (VEP) la distance totale parcourue depuis le début de l'essai d'épuisement de la charge au cours d'un certain nombre de cycles WLTC complets jusqu'à l'instant où le critère de déconnexion automatique est atteint.

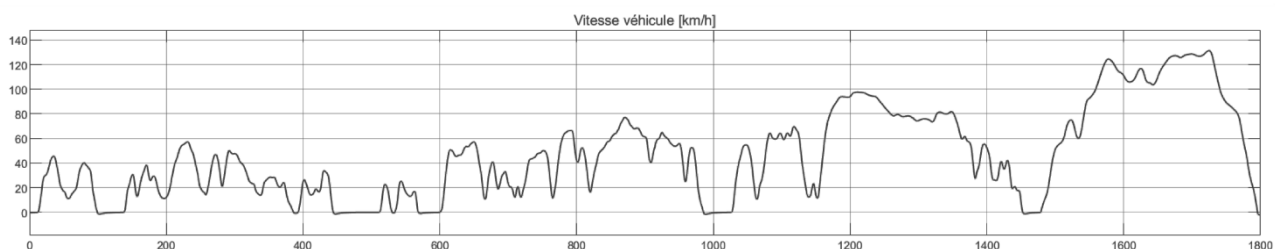
La procédure d'essai comprend des indications strictes concernant les essais dynamométriques et de résistance au roulement, les changements de vitesse, le poids total du véhicule (en y incluant les équipements en option, le chargement et les passagers), la qualité du carburant, la température ambiante, ainsi que le choix des modèles de pneus et leur pression de gonflage.

Trois différents cycles d'essais sont appliqués, en fonction de la classe de véhicule définie par la puissance massique  $P_m$  (puissance du moteur / masse à vide en ordre de marche, exprimée en W/kg)

classe 1 - véhicules à faible puissance avec  $P_m \leq 22$  ;

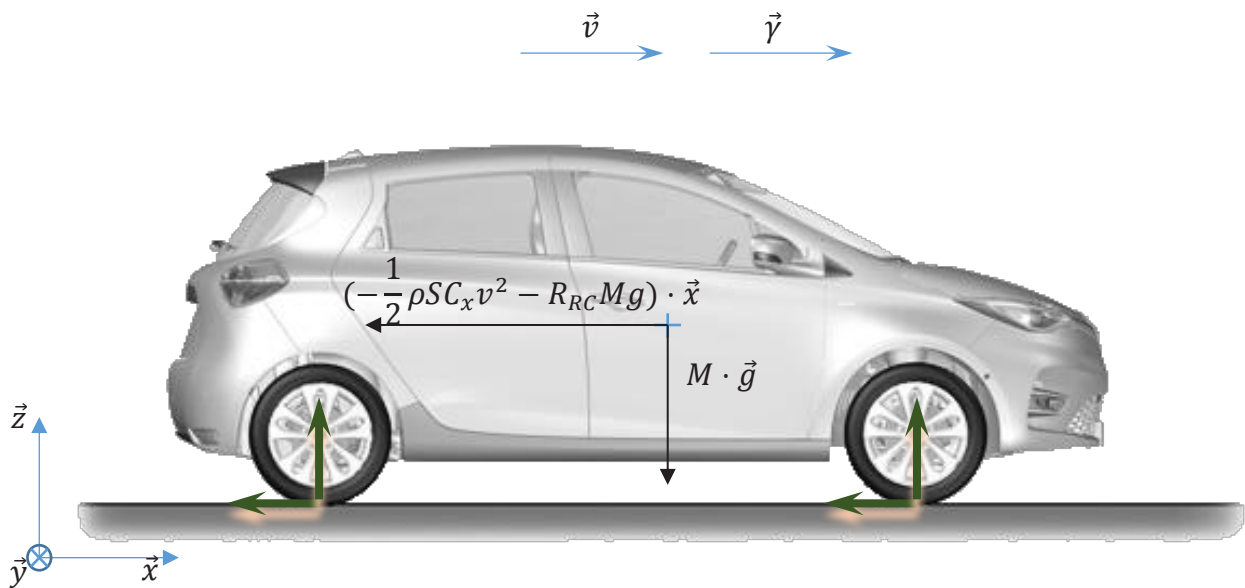
classe 2 - véhicules avec  $22 < P_m \leq 34$  ;

classe 3 - véhicules à puissance élevée avec  $P_m > 34$ .





### DT3 Etude mécanique du véhicule



En mécanique des fluides, la traînée aérodynamique est la force qui s'oppose au mouvement d'un corps dans un fluide, soit, en automobile, la force qui s'oppose à l'avancement du véhicule dans l'air. Il est donc dans l'intérêt des constructeurs de diminuer la traînée aérodynamique, force à l'origine d'une augmentation de la consommation en énergie et d'une dégradation de la vitesse de pointe, ceci dit une autre traînée, la traînée de roulement, s'oppose également à l'avancement du véhicule sur la chaussée.

La norme de la traînée aérodynamique a pour expression :  $F_x = \frac{1}{2}\rho S C_x V^2$

où :

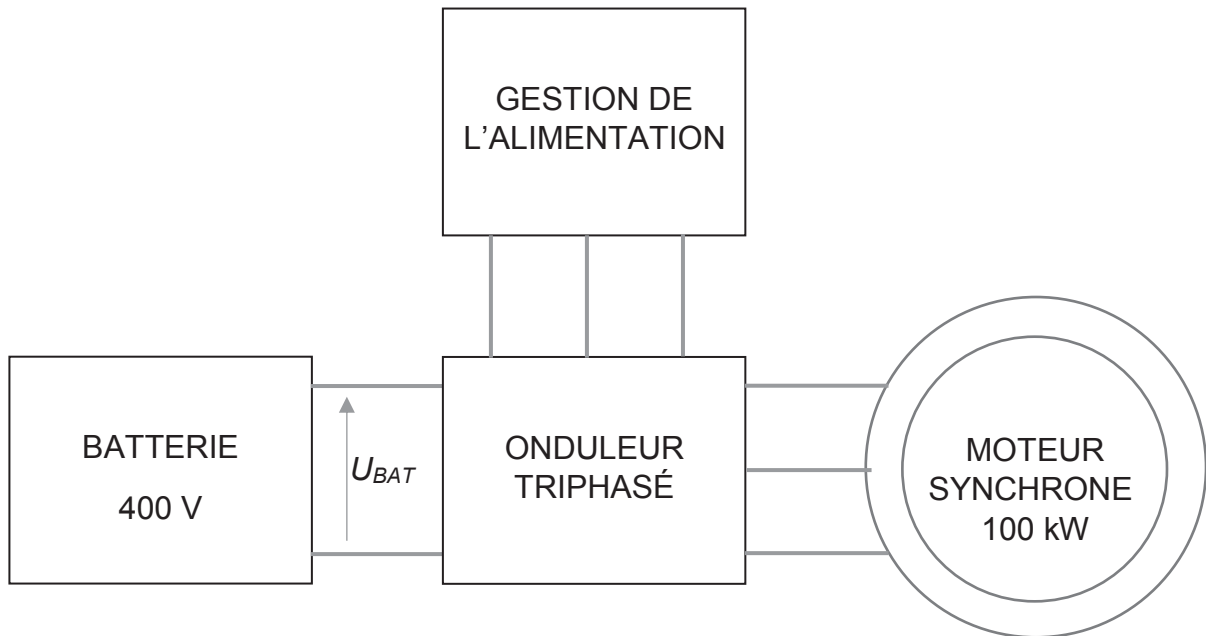
- $\rho$ , la masse volumique de l'air (en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) ;
- $V$ , la vitesse du véhicule par rapport à l'air (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ;
- $S$ , le maître-couple (en  $\text{m}^2$ ), appelé aussi surface frontale ;
- $C_x$ , le coefficient de traînée aérodynamique (sans unité).

La norme de la traînée de roulement a pour expression :  $F_R = R_{RC} M g$

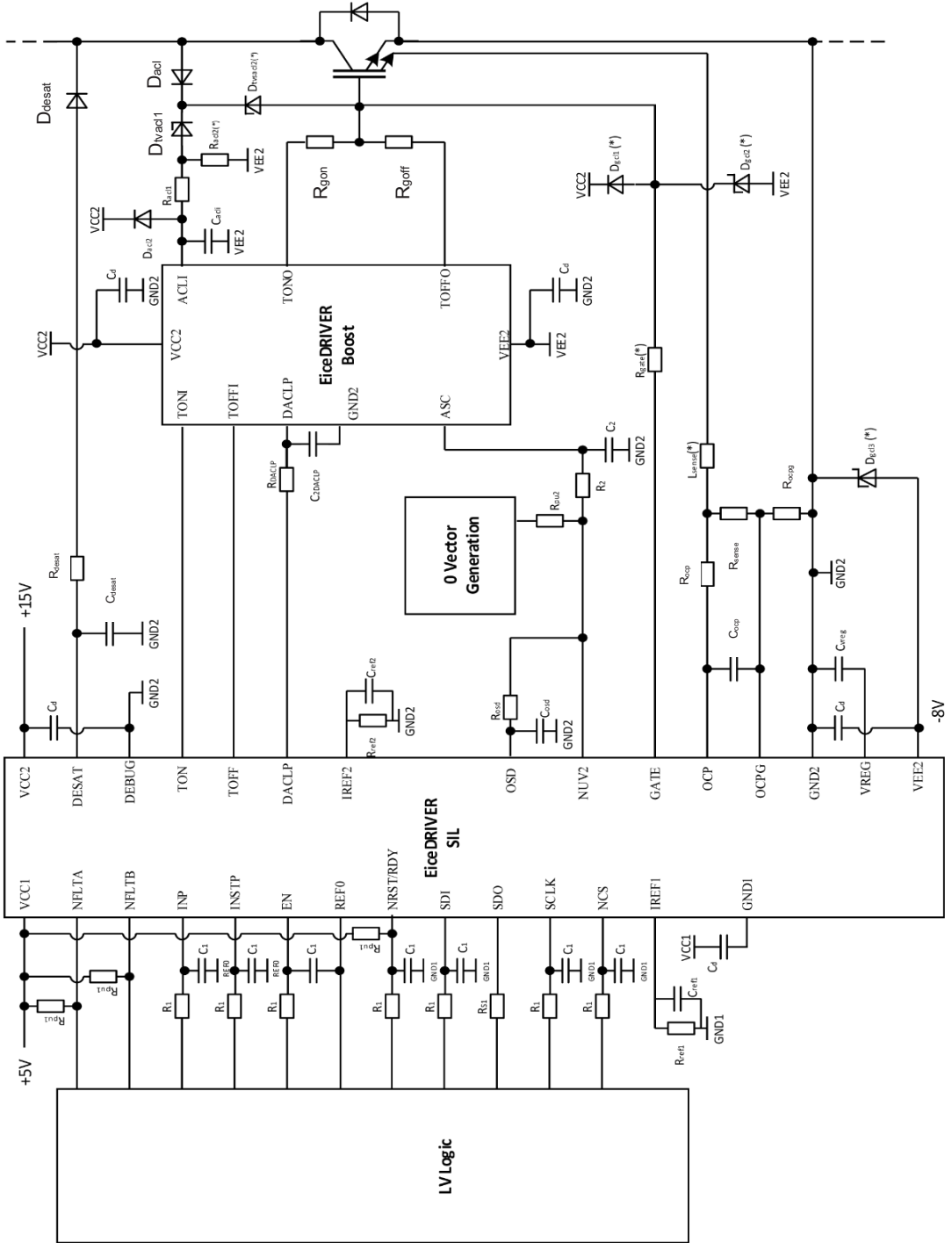
où :

- $R_{RC}$ , est un coefficient caractéristique du pneu ( $\text{N}\cdot\text{kN}^{-1}$ ) ;
- $M$ , la masse du véhicule (en kg)
- $g$ , l'accélération de la pesanteur (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ )

## DT4 Chaîne de puissance de la motorisation



# DT5 Commande rapprochée (1/5)



## DT5 Commande rapprochée (2/5)

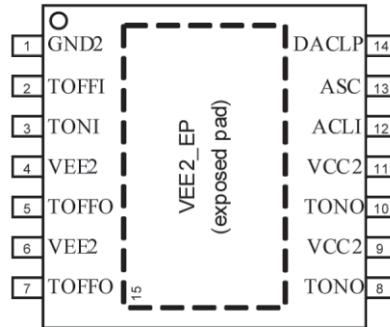


### EiceDRIVER™ Boost 1EBN1001AE

#### Functional Description

#### Pin Configuration

Pin Number	Symbol	I/O	Voltage Class	Function
1	GND2	Ground	Ground	Ground
2	TOFFI	Input	15V	Turn-Off Input
3	TONI	Input	15V	Turn-On Input
4, 6	VEE2	Supply	Supply	Negative Power Supply
5, 7	TOFFO	Output	15V	Turn-Off Output
8, 10	TONO	Output	15V	Turn-On Output
9, 11	VCC2	Supply	Supply	Positive Power Supply
12	ACLI	Input	15V	Active Clamping Request Input
13	ASC	Input	5V	Active Short Circuit Input
14	DACL	Input	5V	Active Clamping Disable Input
15	VEE2_EP	n/a	n/a	Thermal Pad, can be left open or connected to VEE2 <sup>1</sup> .



The 1EBN1001AE is an advanced bipolar single channel IGBT gate driver booster that can also be used for driving power MOS devices. The device has been developed in order to optimize the design of high performance safety relevant automotive systems.

The turn-on and turn-off behavior of the IGBT is controlled via 2 pairs of pin: TONI and TOFFI which are connected to the gate driver, and TONO and TOFFO connected to the gate resistances of the IGBT. The structure of the output stage is basically that of an emitter-follower circuit, where the voltage at pin TONO (resp. TOFFO) follows the voltage at pin TONI (resp. TOFFI). The 1EBN1001AE is capable of driving up to 400mm<sup>2</sup> of IGBT area, with a typical peak sink and source current capability of 15A.

The active clamping input ACLI allows an external active clamping circuit to turn on the IGBT in case of overvoltage conditions detected on the IGBT. The active clamping function can be disabled in run time via pin DACLP.

The input ASC aims at turning on the IGBT in case the system decides to set the motor in Active Short Circuit. An active ASC signal overrules the inputs signals TONI and TOFFI.

During normal operation, the input of the device TONI and TOFFI are driven with input signals having same polarity. Driving actively TONI and TOFFI with opposite voltages (e.g. TONI at 15V and TOFFI at -8V) may lead, depending on the signal configuration, to irreversible damage to the device. It should be ensured at system level that such case do not happen (e.g. by setting the gate driver in tristate mode).

The internal Short Circuit Protection (SCP) prevents in the device the generation of short circuits in case TONI and/or TOFFI is floating.

## DT5 Commande rapprochée (3/5)



### 1EDI2010AS



The 1EDI2010AS is a high-voltage IGBT gate driver designed for motor drives above 5 kW. The 1EDI2010AS is based on Infineon's Coreless Transformer (CLT) technology, providing galvanic insulation between low voltage and high voltage domains. The device has been designed to support IGBT technologies up to 1200 V.

The 1EDI2010AS can be connected on the low voltage side ("primary" side) to 5 V logic. A standard SPI interface allows the logic to configure and to control the advanced functions implemented in the driver.

On the high voltage side ("secondary" side), the 1EDI2010AS is dimensioned to drive an external booster stage. Short propagation delays and controlled internal tolerances lead to minimal distortion of the PWM signal.

The 1EDI2010AS supports advanced functions (such as two level turn-on, two level turn-off, etc.), that can be controlled and configured via a standard SPI interface.

The internal 8-bit ADC (SAR) with programmable gain and offset enables the sensing of either the DC-link voltage, the phase voltage or of the temperature sensor located on the power module (such as NTC, Temperature Diode, etc.). The digitalized value can be read via the SPI interface on the primary side. The ADC allows thus to save significant costs on system level, since it removes the need for discrete isolation ICs.

The 1EDI2010AS can be used optimally with Infineon's 1EBN100XAE "EiceDRIVER™ Boost" booster stage family.

### Feature Overview

- Single Channel IGBT Driver.
- On-chip galvanic insulation (basic insulation as per DIN EN 60747-5-2).
- Support of existing IGBT technologies up to 1200V.
- Low propagation delay and minimal PWM distortion.
- Support of 5 V logic levels (primary side).
- Supports both negative and zero Volt  $V_{EE2}$  supply voltage.
- 16-bit Standard SPI interface (up to 2 Mbaud) with daisy chain support (primary side).
- Enable input pin (primary side).
- Pseudo-differential inputs for critical signals (primary side).
- Power-On Reset pin (primary side).
- Debug mode.
- Internal Pulse Suppressor.
- Fully Programmable Active Clamping Inhibit signal (secondary side).
- Fully programmable Two-Level Turn On (TTON).
- Fully programmable Two-Level Turn Off (TTOFF).
- 8-bit ADC with programmable offset and gain and flexible trigger mechanism.
- Emulated digital channel.
- Programmable Desaturation monitoring.
- Overcurrent protection with programmable threshold.
- Automatic Emergency Turn-Off in failure case.
- Undervoltage supervision of 5V and 15V supplies.
- Programmable UVLO2 and DESAT thresholds for MOSFET usage.
- Safe internal state machine.
- Internal livenessign watchdog.
- Weak turn-on.
- NFLTA and NFLTB notification pins for fast system response time (primary side).
- Individual error and status flags readable via SPI.
- Compatible to EiceBoost family.
- 36-pin PG-DSO-36 green package.
- Automotive qualified (as per AEC Q100).

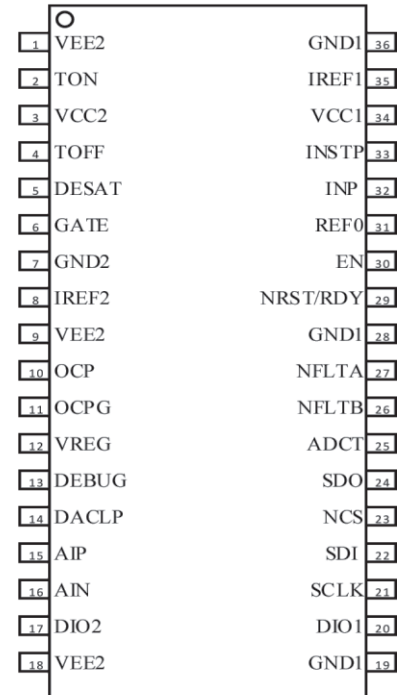
## DT5 Commande rapprochée (4/5)



### EiceDRIVER™ SENSE 1EDI2010AS

#### Functional Description

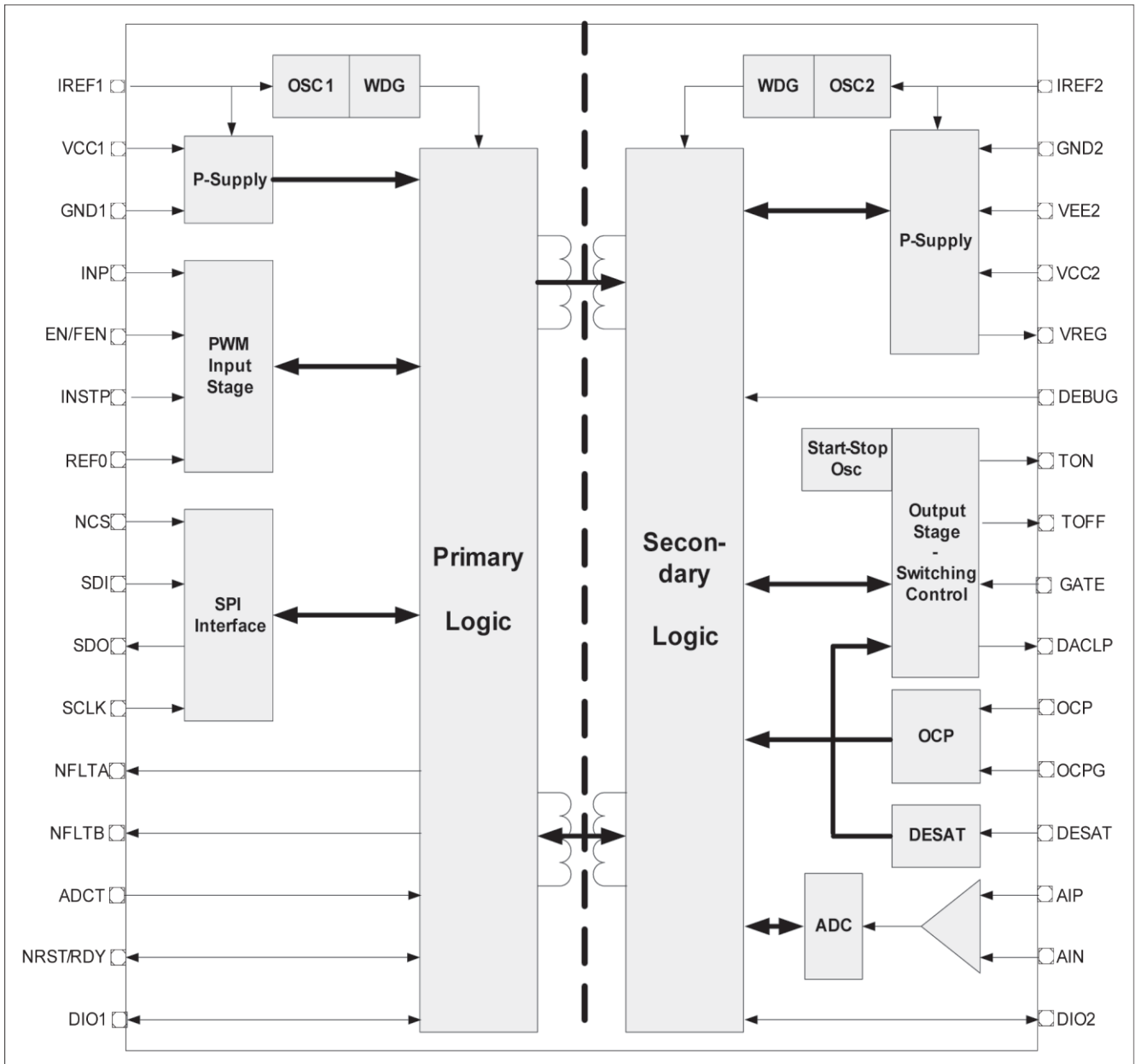
Pin Number	Symbol	I/O	Voltage Class	Function
1,9,18	VEE2	Supply	Supply	Negative Power Supply <sup>1)</sup> .
2	TON	Output	15V Secondary	Turn-On Output.
3	VCC2	Supply	Supply	Positive Power Supply.
4	TOFF	Output	15V Secondary	Turn-Off Output.
5	DESAT	Input	15V Secondary	Desaturation Protection Input.
6	GATE	Input	15V Secondary	Gate Monitoring Input.
7	GND2	Ground	Ground	Ground.
8	IREF2	Input	5V Secondary	External Reference Input.
10	OCP	Input	5V Secondary	Over Current Protection.
11	OCPG	Ground	Ground	Ground for the OCP function,
12	VREG	Output	5V Secondary	Reference Output Voltage.
13	DEBUG	Input	5V Secondary	Debug Input.
14	DACLP	Output	5V Secondary	Active Clamping Disable Output.
15	AIP	Input	5V Analog Secondary	ADC Positive Analog Input
16	AIN	Input	5V Analog Secondary	ADC Negative Analog Input
17	DIO2	Input / Output	5V Secondary	Digital I/O.
19, 28, 36	GND1	Ground	Ground	Ground <sup>2)</sup> .
20	DIO1	Input / Output	5V Primary	Digital I/O.
21	SCLK	Input	5V Primary	SPI Serial Clock Input.
22	SDI	Input	5V Primary	SPI Serial Data Input.
23	NCS	Input	5V Primary	SPI Chip Select Input (low active).
24	SDO	Output	5V Primary	SPI Serial Data Output.
25	ADCT	Input	5V Primary	ADC Trigger Input.
26	NFLT B	Output	5V Primary	Fault B Output (low active, open drain).
27	NFLT A	Output	5V Primary	Fault A Output (low active, open drain).
29	NRST/RDY	Input/Output	5V Primary	Reset Input (low active, open drain). This signal notifies that the device is "ready".
30	EN	Input	5V Primary	Enable Input.
31	REF0	Ref. Ground	Ground	Reference Ground for signals <b>INP</b> , <b>INSTP</b> , <b>EN</b> .
32	INP	Input	5V Primary	Positive PWM Input.
33	INSTP	Input	5V Primary	Monitoring PWM Input.
34	VCC1	Supply Input	Supply	Positive Power Supply.
35	IREF1	Input	5V Primary	External Reference Input.



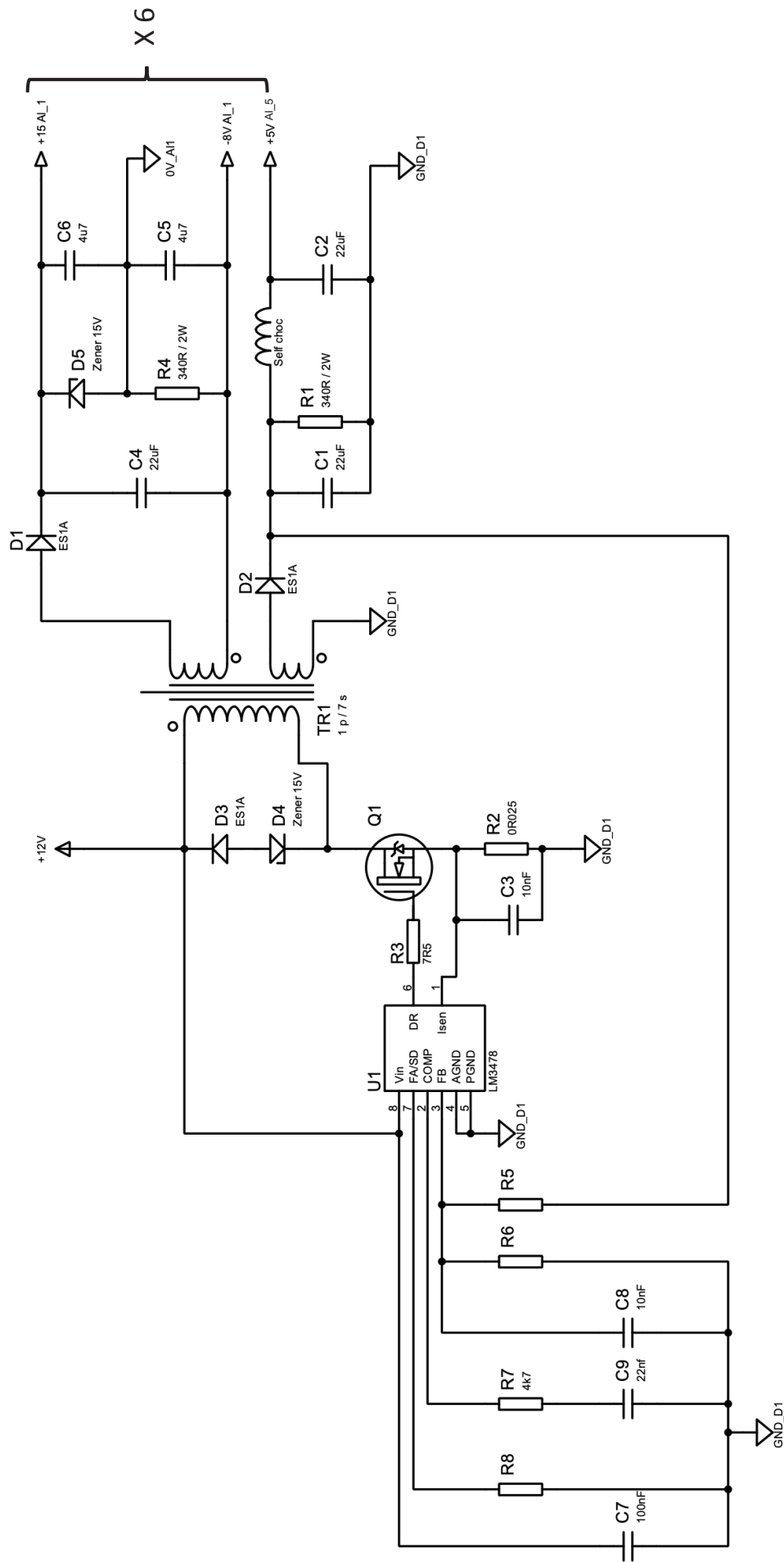


Block Diagram

Functional Description



# DT6 Schéma du circuit SMPS



X 6



## LM3478 High-Efficiency Low-Side N-Channel Controller for Switching Regulator

### 1 Features

- 8-lead VSSOP-8 and SOIC-8 packages
- Internal Push-Pull Driver With 1-A Peak Current Capability
- Current Limit and Thermal Shutdown
- Frequency Compensation Optimized With a Capacitor and a Resistor
- Internal Soft Start
- Current Mode Operation
- Undervoltage Lockout With Hysteresis
- Create a Custom Design Using the LM3478 with the WEBENCH Power Designer

### 2 Applications

- Distributed Power Systems
- Battery Chargers
- Offline Power Supplies
- Telecom Power Supplies
- Automotive Power Systems
- Wide Supply Voltage Range of 2.97 V to 40 V
- 100-kHz to 1-MHz Adjustable Clock Frequency
- $\pm 2.5\%$  (Over Temperature) Internal Reference
- 10- $\mu$ A Shutdown Current (Over Temperature)

### 3 Description

The LM3478 is a versatile Low-Side N-Channel MOSFET controller for switching regulators. It is suitable for use in topologies requiring a low side MOSFET, such as boost, flyback, SEPIC, etc. Moreover, the LM3478 can be operated at extremely high switching frequency in order to reduce the overall solution size. The switching frequency of the LM3478 can be adjusted to any value between 100 kHz and 1 MHz by using a single external resistor. Current mode control provides superior bandwidth and transient response, besides cycle-by-cycle current limiting. Output current can be programmed with a single external resistor.

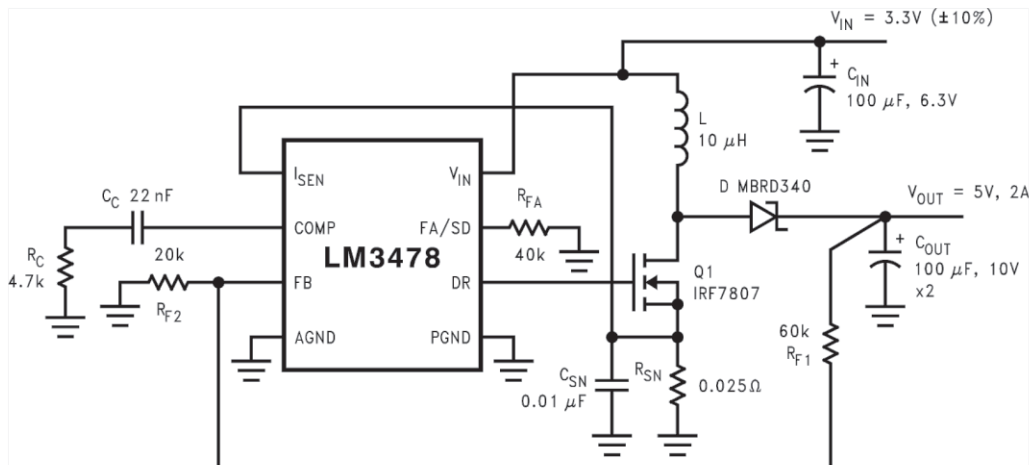
The LM3478 has built-in features such as thermal shutdown, short-circuit protection, over voltage protection, etc. Power saving shutdown mode reduces the total supply current to 5  $\mu$ A and allows power supply sequencing. Internal soft-start limits the inrush current at start-up.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM3478	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	VSSOP (8)	3.00 mm x 3.00 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

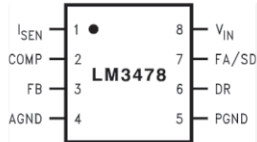
#### Typical High Efficiency Step-Up (Boost) Converter



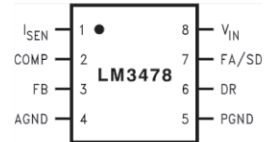
# DT7 Régulateur de découpage (2/2)

## Pin Configuration and Functions

8-Lead VSSOP-8 Package  
3 Pins  
Top View

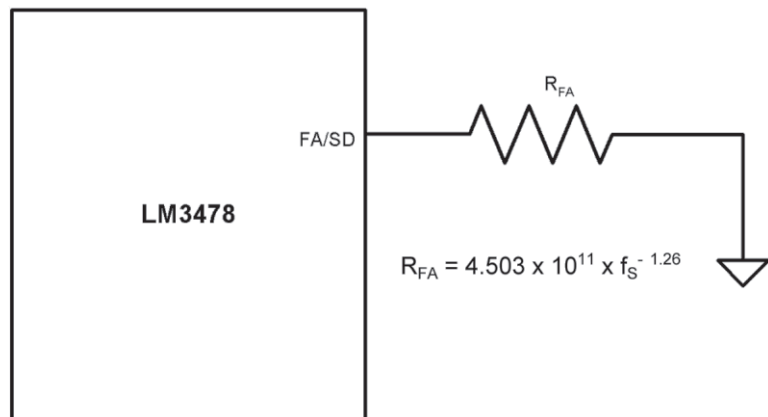


8-Lead SOIC-8  
3 Pins  
Top View



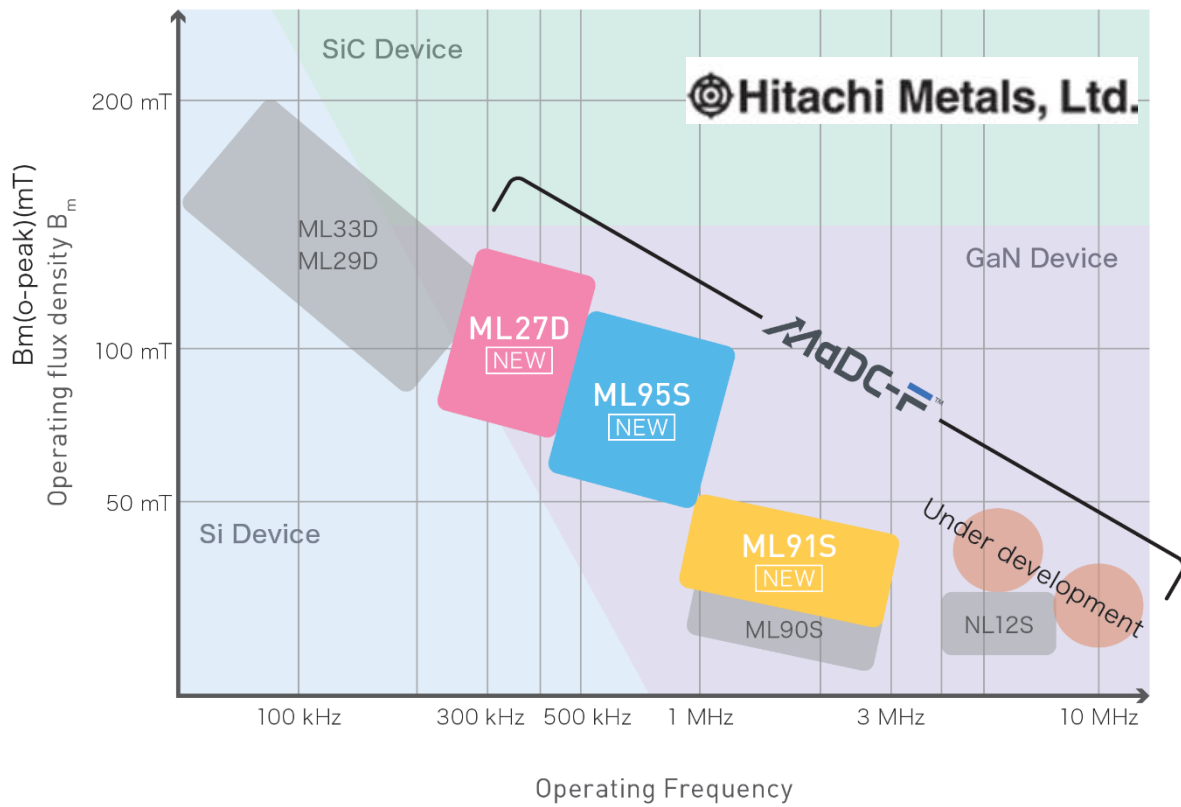
### Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
I <sub>SEN</sub>	1	I	Current sense input pin. Voltage generated across an external sense resistor is fed into this pin.
COMP	2	I	Compensation pin. A resistor, capacitor combination connected to this pin provides compensation for the control loop.
FB	3	I	Feedback pin. The output voltage should be adjusted using a resistor divider to provide 1.26 V at this pin.
AGND	4	G	Analog ground pin.
PGND	5	G	Power ground pin.
DR	6	O	Drive pin. The gate of the external MOSFET should be connected to this pin.
FA/SD	7	I	Frequency adjust and Shutdown pin. A resistor connected to this pin sets the oscillator frequency. A high level on this pin for longer than 30 μs will turn the device off. The device will then draw less than 10μA from the supply.
V <sub>IN</sub>	8	P	Power Supply Input pin.



Frequency Adjust

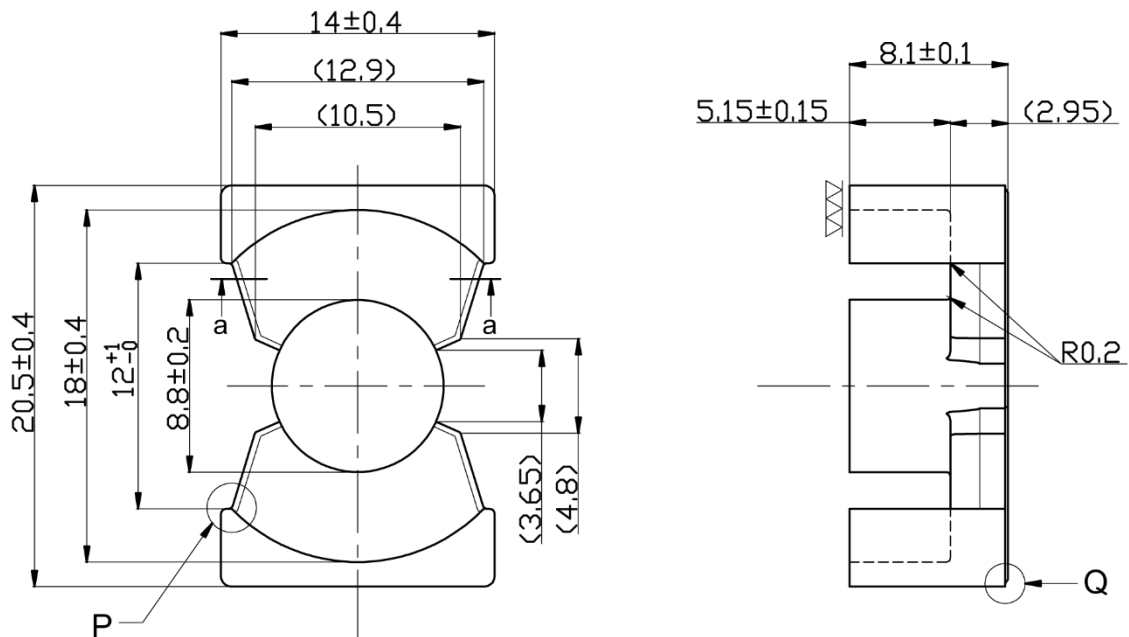
## DT8 Transformateur Planaire



Classification des matériaux magnétiques par Hitachi Metals

Relation entre la densité du flux et la fréquence pour fonctionnement à rendement optimal

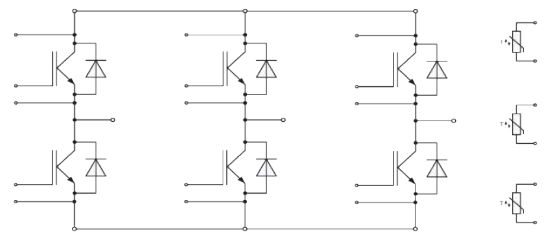
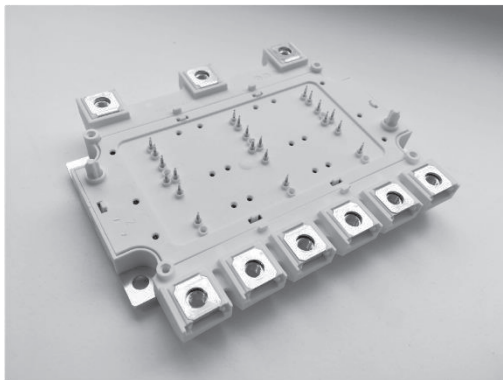
### Circuit magnétique – Demi coque – cotation en mm





## 1 Features / Description

HybridPACK™ DC6i module with EDT2 IGBT and Diode



$V_{CES} = 750 \text{ V}$   
 $I_C = 650 \text{ A}$

### Typical Applications

- Automotive Applications
- Hybrid Electrical Vehicles (H)EV
- Motor Drives
- Commercial Agriculture Vehicles
- Optimized for automotive applications with DC link voltages up to 470 V

### Electrical Features

- Blocking voltage 750V
- Low  $V_{CESat}$
- Low Switching Losses
- Low  $Q_g$  and  $Cr_{ss}$
- Low Inductive Design
- $T_{vj\ op} = 150^\circ\text{C}$
- Short-time extended Operation Temperature  
 $T_{vj\ op} = 175^\circ\text{C}$

### Mechanical Features

- 2.5kV AC 1min Insulation
- High Creepage and Clearance Distances
- Compact design
- High Power Density
- Direct Cooled Base Plate with Ribbon Bonds
- Guiding elements for PCB and cooler assembly
- Integrated NTC temperature sensor
- PressFIT Contact Technology
- RoHS compliant

### Description

The HybridPACK™ DC6i is a very compact six-pack module (750V/650A) optimized for hybrid and electric vehicles. The power module implements the new EDT2 IGBT generation, which is an automotive Micro-Pattern Trench-Field-Stop cell design optimized for electric drive train applications. The chipset has benchmark current density combined with short circuit ruggedness and increased blocking voltage for reliable inverter operation under harsh environmental conditions. The EDT2 IGBTs also show excellent light load power losses, which helps to improve system efficiency over a real driving cycle. The EDT2 IGBT was optimized for applications with switching frequencies in the range of 10 kHz.

The new HybridPACK™ DC6i power module family comes with mechanical guiding elements supporting easy assembly processes for customers. Furthermore, the press-fit pins for the signal terminals avoid additional time consuming selective solder processes, which provides cost savings on system level and increases system reliability. The direct cooled baseplate with ribbon bonds structure in the FS650R08A4P2 product shows superior thermal characteristics. Due to the high clearance & creepage distances, the module family is also well suited for increased system working voltages and supports modular inverter approaches.

## DT9 Module IGBT (2/4)

### 2 IGBT, Inverter

#### 2.1 Maximum Rated Values

Parameter	Conditions	Symbol	Value	Unit
Collector-emitter voltage	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$V_{CES}$	750	V
Implemented collector current		$I_{CN}$	650	A
Continuous DC collector current	$T_F = 65^{\circ}\text{C}$ , $T_{vj\text{ max}} = 175^{\circ}\text{C}$	$I_{C\text{ nom}}$	375 <sup>1)</sup>	A
Repetitive peak collector current	$t_P = 1\text{ ms}$	$I_{CRM}$	1300	A
Total power dissipation	$T_F = 75^{\circ}\text{C}$ , $T_{vj\text{ max}} = 175^{\circ}\text{C}$	$P_{tot}$	488 <sup>1)</sup>	W
Gate-emitter peak voltage		$V_{GES}$	+/-20	V

#### 2.2 Characteristic Values

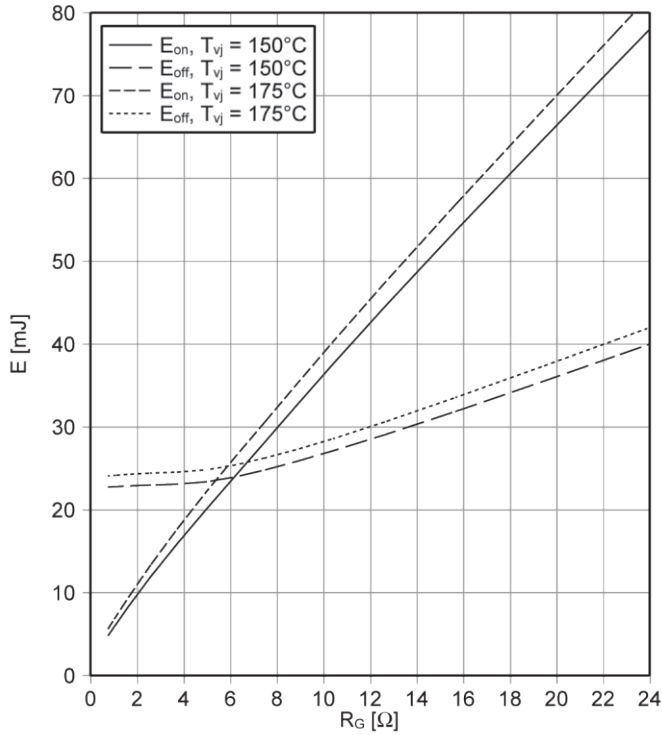
			min.	typ.	max.	
Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 375\text{ A}$ , $V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 375\text{ A}$ , $V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 375\text{ A}$ , $V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 650\text{ A}$ , $V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 650\text{ A}$ , $V_{GE} = 15\text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$	$V_{CE\text{ sat}}$	1.10 1.15 1.15 1.30 1.45	1.35	V
Gate threshold voltage	$I_C = 11.5\text{ mA}$ , $V_{CE} = V_{GE}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$V_{GE\text{ th}}$	4.90 5.80 4.10	6.50	V
Gate charge	$V_{GE} = -8\text{ V} \dots 15\text{ V}$ , $V_{CE} = 400\text{ V}$		$Q_G$	3.55		$\mu\text{C}$
Internal gate resistor		$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$R_{G\text{ int}}$	1.0		$\Omega$
Input capacitance	$f = 1\text{ MHz}$ , $V_{CE} = 50\text{ V}$ , $V_{GE} = 0\text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$C_{ies}$	65.0		nF
Output capacitance	$f = 1\text{ MHz}$ , $V_{CE} = 50\text{ V}$ , $V_{GE} = 0\text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$C_{oes}$	0.83		nF
Reverse transfer capacitance	$f = 1\text{ MHz}$ , $V_{CE} = 50\text{ V}$ , $V_{GE} = 0\text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$C_{res}$	0.25		nF
Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = 750\text{ V}$ , $V_{GE} = 0\text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$I_{CES}$		1.0	mA
Gate-emitter leakage current	$V_{CE} = 0\text{ V}$ , $V_{GE} = 20\text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$I_{GES}$		400	nA
Turn-on delay time, inductive load	$I_C = 375\text{ A}$ , $V_{CE} = 400\text{ V}$ $V_{GE} = -8\text{ V} / +15\text{ V}$ $R_{Gon} = 2.4\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$	$t_{d\text{ on}}$	0.30 0.32 0.33		$\mu\text{s}$
Rise time, inductive load	$I_C = 375\text{ A}$ , $V_{CE} = 400\text{ V}$ $V_{GE} = -8\text{ V} / +15\text{ V}$ $R_{Gon} = 2.4\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$	$t_r$	0.07 0.08 0.08		$\mu\text{s}$
Turn-off delay time, inductive load	$I_C = 375\text{ A}$ , $V_{CE} = 400\text{ V}$ $V_{GE} = -8\text{ V} / +15\text{ V}$ $R_{Goff} = 5.1\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$	$t_{d\text{ off}}$	0.80 0.88 0.92		$\mu\text{s}$
Fall time, inductive load	$I_C = 375\text{ A}$ , $V_{CE} = 400\text{ V}$ $V_{GE} = -8\text{ V} / +15\text{ V}$ $R_{Goff} = 5.1\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$	$t_f$	0.06 0.07 0.08		$\mu\text{s}$
Turn-on energy loss per pulse	$I_C = 375\text{ A}$ , $V_{CE} = 400\text{ V}$ , $L_S = 20\text{ nH}$ $V_{GE} = -8\text{ V} / +15\text{ V}$ $R_{Gon} = 2.4\ \Omega$ $di/dt (T_{vj} 25^{\circ}\text{C}) = 7000\text{ A}/\mu\text{s}$ $di/dt (T_{vj} 175^{\circ}\text{C}) = 4000\text{ A}/\mu\text{s}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$	$E_{on}$	8.00 11.5 13.0		mJ
Turn-off energy loss per pulse	$I_C = 375\text{ A}$ , $V_{CE} = 400\text{ V}$ , $L_S = 20\text{ nH}$ $V_{GE} = -8\text{ V} / +15\text{ V}$ $R_{Goff} = 5.1\ \Omega$ $dv/dt (T_{vj} 25^{\circ}\text{C}) = 3800\text{ V}/\mu\text{s}$ $dv/dt (T_{vj} 175^{\circ}\text{C}) = 3300\text{ V}/\mu\text{s}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$	$E_{off}$	18.0 23.5 24.5		mJ
SC data	$V_{GE} \leq 15\text{ V}$ , $V_{CC} = 400\text{ V}$ $V_{CE\text{ max}} = V_{CES} - L_{SCE} \cdot di/dt$	$t_P \leq 6\ \mu\text{s}$ , $T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $t_P \leq 3\ \mu\text{s}$ , $T_{vj} = 175^{\circ}\text{C}$	$I_{SC}$	3900 3200		A
Thermal resistance, junction to cooling fluid	per IGBT; $\Delta V/\Delta t = 10\text{ dm}^3/\text{min}$ , $T_F = 75^{\circ}\text{C}$		$R_{thJF}$	0.170 <sup>2)</sup> 0.205 <sup>2)</sup>		K/W
Temperature under switching conditions	$t_{op}$ continuous for 10s within a period of 30s, occurrence maximum 3000 times over lifetime		$T_{vj\text{ op}}$	-40 150	150 <sup>3)</sup> 175	$^{\circ}\text{C}$

# DT9 Module IGBT (3/4)

switching losses IGBT, Inverter (typical)

$E_{on} = f(R_G), E_{off} = f(R_G)$

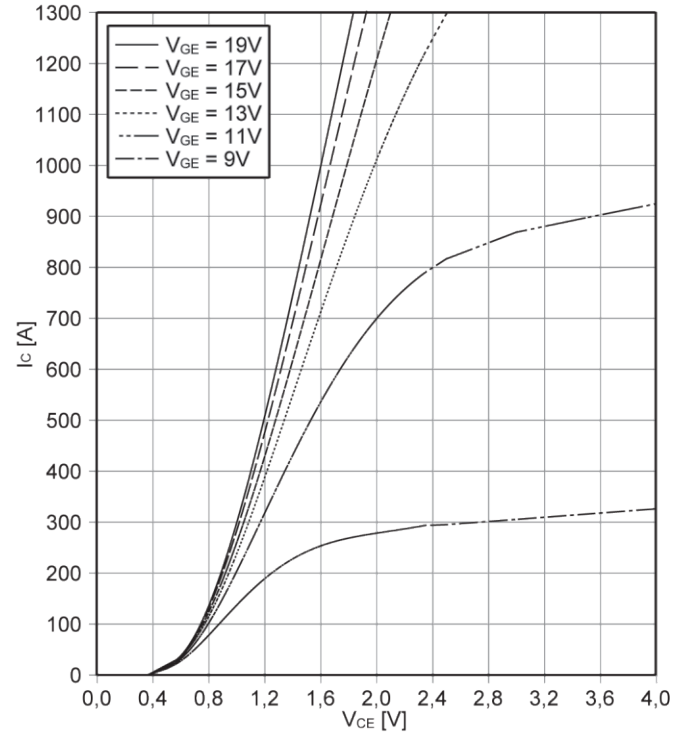
$V_{GE} = +15V / -8V, I_C = 450 A, V_{CE} = 400 V$



output characteristic IGBT, Inverter (typical)

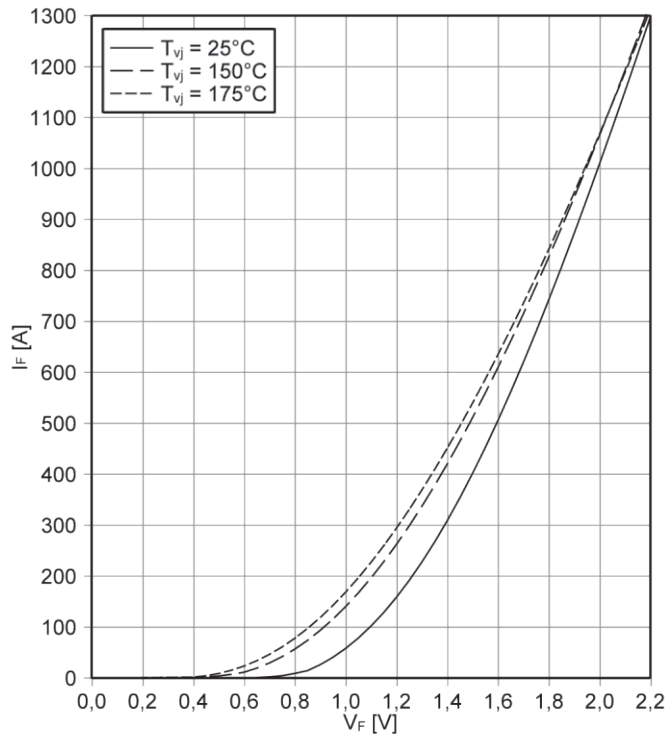
$I_C = f(V_{CE})$

$T_{vj} = 150°C$



forward characteristic of Diode, Inverter (typical)

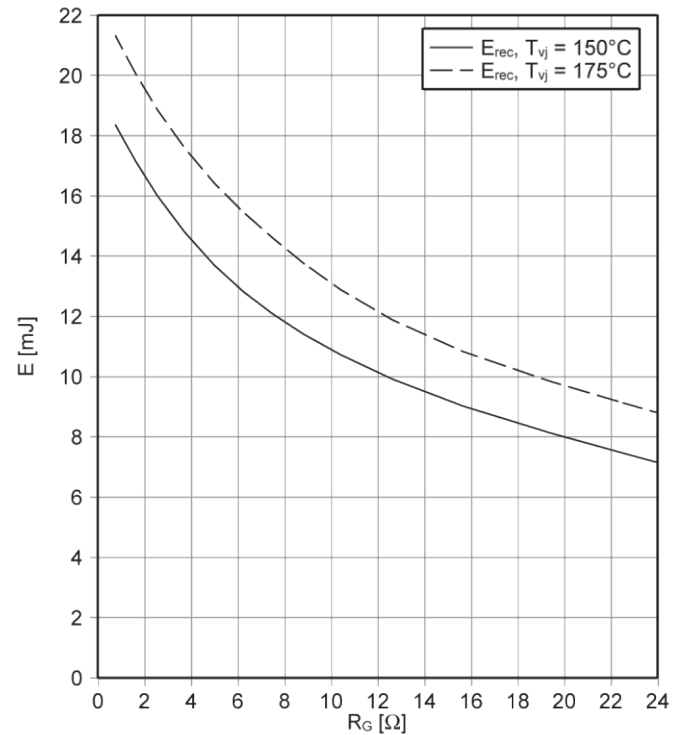
$I_F = f(V_F)$



switching losses Diode, Inverter (typical)

$E_{rec} = f(R_G)$

$I_F = 375 A, V_{CE} = 400 V$

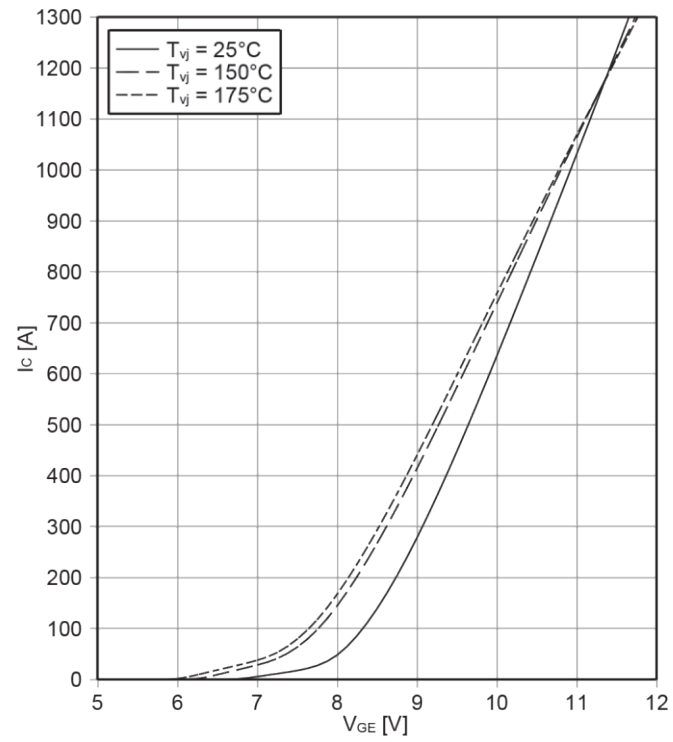


## DT9 Module IGBT (4/4)

transfer characteristic IGBT, Inverter (typical)

$I_C = f(V_{GE})$

$V_{CE} = 20\text{ V}$



Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Prénom(s) :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Numéro  
Inscription :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Né(e) le :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Sécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

**CONSIGNES**

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EAE SIE 3

**DR1 - DR2 - DR3**

**Tous les documents réponses sont à rendre,  
même non complétés.**



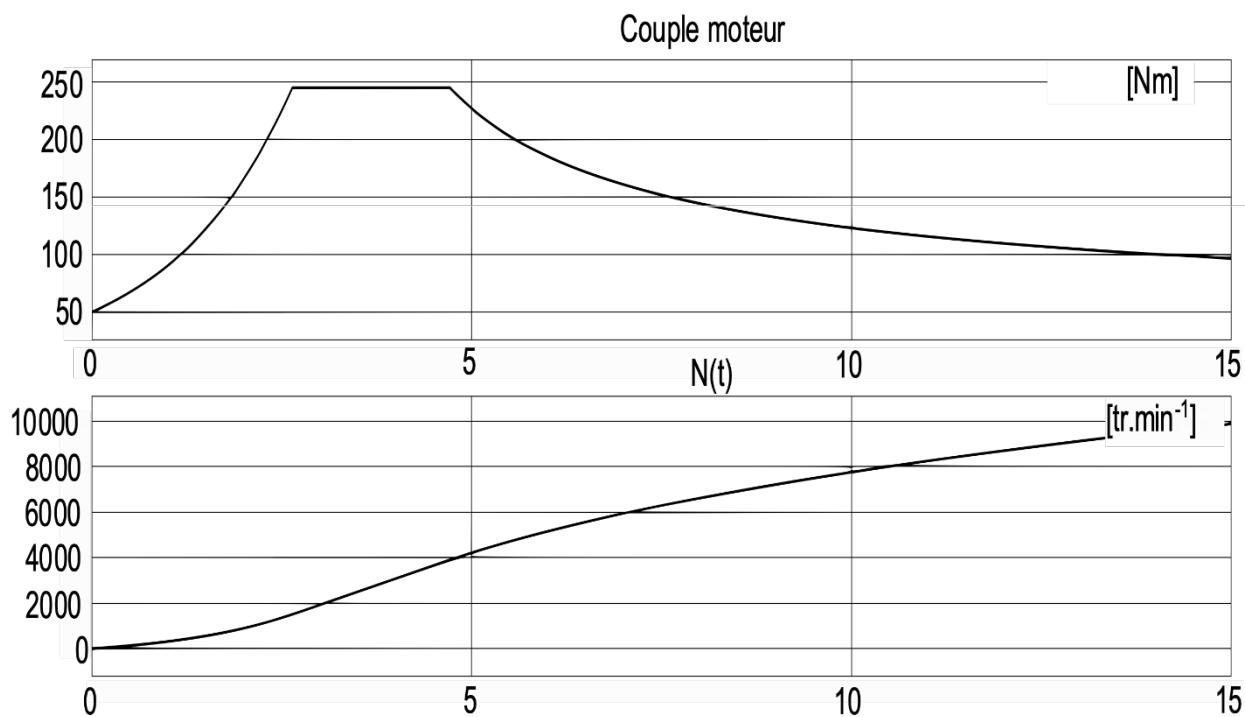
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

### Document réponse DR1

#### Question 2

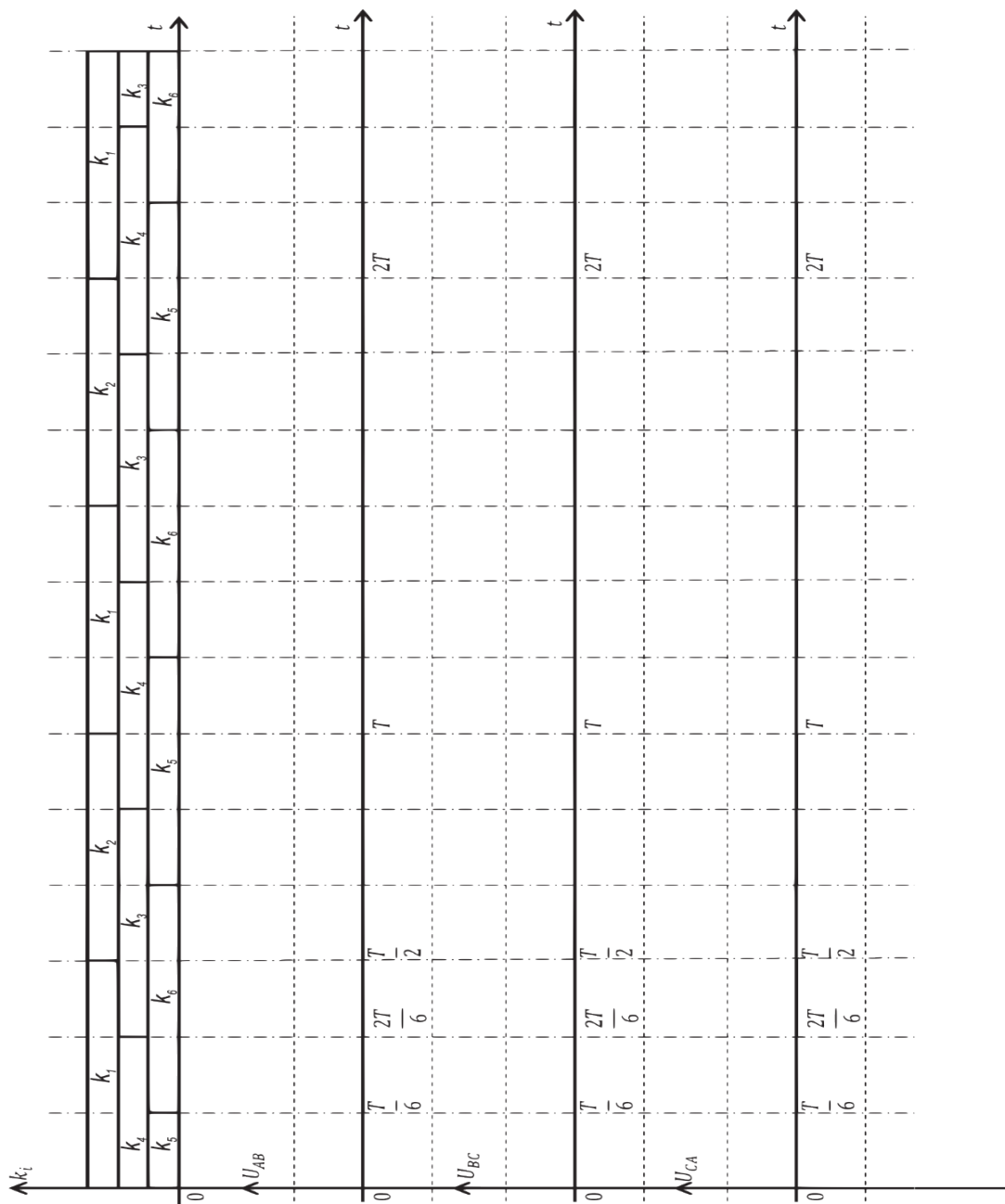
Grandeur	Expression	Valeur numérique	Unités
Rtrs			
Kx			
Rroue			
Fr			
MasseVh	masse équivalente du véhicule + masse du passager	1647	kg

#### Questions 4 et 6



Document réponse DR2

Tracé des tensions composées - Question 15



Document réponse DR3

Circuit magnétique - Question 32

