

AGREGATION

SESSION 2004

CONCOURS INTERNE

Section : GÉNIE ELECTRIQUE

Option A : ELECTRONIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

ÉTUDE D'UN SYSTEME INDUSTRIEL

DURÉE : 8 HEURES, COEFFICIENT : 1

Aucun document n'est autorisé.

Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999)

Chargeur de batterie pour véhicule électrique

Ce sujet comporte les dossiers suivants :

📁 Dossier de présentation, texte du sujet avec le travail demandé	17 pages
📁 Schémas structurels	5 pages
📁 Documentation technique	33 pages
📁 Documents réponse	2 pages
📁 Extraits de référentiels	7 pages

Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.

Les parties du problème sont suffisamment indépendantes pour être traitées séparément, à condition que le candidat ait une vue complète du sujet.

Trois exploitations pédagogiques sont proposées dans le sujet. Il est impératif d'en choisir UNE et recommandé d'y consacrer environ 30% du temps de l'épreuve.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit :

Après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.

Préambule :

BATTERIE DE VEHICULE ELECTRIQUE

L'autonomie, la durée de vie, le coût, les conditions environnementales de fabrication et de recyclage de la batterie d'accumulateurs sont les problèmes les plus difficiles à résoudre pour que se développent les scooters et les voitures électriques.

L'exploitation traditionnelle des batteries consiste à charger et à décharger tous les éléments câblés en série. Cette solution très simple d'emploi s'avère particulièrement inadaptée au véhicule électrique. En effet les éléments accumulateurs ont des propriétés très différentes autant à la fabrication qu'en vieillissement :

- La charge en série avec le même courant conduit à une surcharge de certains éléments et une charge incomplète des autres éléments.
- La décharge en série avec le même courant est incomplète pour certains éléments.

Il en résulte un vieillissement accéléré des éléments en surcharge et une exploitation incomplète de la capacité effective de la batterie d'accumulateurs. Les solutions étudiées dans ce sujet utilisent les batteries les plus adaptées aujourd'hui et un système électrique qui en optimise l'exploitation.

On se propose de choisir une batterie parmi un certain nombre de types proposés. On joint les réglementations en vigueur pour confirmer ce choix : *Décret n° 99-374 du 12 mai 1999* et *Arrêté du 26 juin 2001*

Décret n° 99-374 du 12 mai 1999 relatif à la mise sur le marché des piles et accumulateurs et à leur élimination

(JO du 16 mai 1999)

Texte modifié par :

Décret n° 99-1171 du 29 décembre 1999 (JO du 30 décembre 1999)

Vus

Le Président de la République,

Sur le rapport du Premier ministre et de la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu le règlement n° 259/93 du Conseil du 1er février 1993 concernant la surveillance et le contrôle des transferts de déchets à l'entrée et à la sortie de la Communauté européenne ;

Vu la directive 83/189/CEE du 28 mars 1983 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et règlements techniques ;

Vu la directive 91/157/CEE du 18 mars 1991 relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses ;

Vu la directive 93/86/CEE du 4 octobre 1993 portant adaptation au progrès technique de la directive 91/157/CEE relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses ;

Vu le code pénal, et notamment son article R. 610-1 ;

Vu le code de la consommation ;

Vu la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 modifiée relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux, et notamment son article 6 ;

Vu la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement ;

Vu le décret n° 97-1194 du 19 décembre 1997 pris pour l'application au ministre de l'économie, des finances et de l'industrie du 1er de l'article 2 du décret n° 97-34 du 15 janvier 1997 relatif à la déconcentration des décisions administratives individuelles ;

Vu le décret n° 97-1204 du 19 décembre 1997 pris pour l'application à la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement du 10 de l'article 2 du décret n° 97-34 du 15 janvier 1997 relatif à la déconcentration des décisions administratives individuelles ;

Le Conseil d'Etat (section des travaux publics) entendu,

Le conseil des ministres entendu.

Décrète

Titre I : Conditions de mise sur le marché des piles et accumulateurs

Article 1er du décret du 12 mai 1999

(Décret n° 99-1171 du 29 décembre 1999, article 1er)

"Est interdite la mise sur le marché des piles et accumulateurs contenant plus de 5 ppm en masse de mercure, à l'exception des piles de type bouton ou des piles composées d'éléments de type bouton ne contenant pas plus de 2 % en masse de mercure, ainsi que la mise sur le marché des appareils dans lesquels ces piles et accumulateurs sont incorporés."

Article 2 du décret du 12 mai 1999

(Décret n° 99-1171 du 29 décembre 1999, article 2)

"Ne peuvent être incorporés à des appareils qu'à la condition de pouvoir être enlevés aisément par l'utilisateur après usage les piles ou accumulateurs contenant :

- soit plus de 5 ppm en masse de mercure, s'ils ont été mis en circulation à partir du 1er janvier 1999 ;
- soit plus de 25 milligrammes de mercure par élément ;
- soit plus de 0,025 % en masse de mercure, s'il s'agit de piles alcalines au manganèse ;
- soit plus de 0,025 % en masse de cadmium ;
- soit plus de 0,4 % en masse de plomb.

Ne sont toutefois pas soumises à cette prescription les catégories ci-après d'appareils :

- a) Les appareils auxquels des piles ou des accumulateurs répondant aux caractéristiques définies au présent article sont soudés ou fixés à demeure par un autre moyen à des points de contact en vue d'assurer une alimentation électrique continue à des fins industrielles intensives ou pour préserver la mémoire et les données d'équipements informatiques et bureautiques, lorsque l'utilisation de ces piles ou de ces accumulateurs est techniquement nécessaire ;
- b) Les appareils scientifiques et professionnels équipés de piles de référence, les appareils médicaux équipés de piles ou d'accumulateurs destinés à maintenir les fonctions vitales ainsi que les stimulateurs cardiaques, lorsque leur fonctionnement en continu est indispensable et que ces piles et ces accumulateurs ne peuvent être enlevés que par un personnel qualifié ;
- c) Les appareils portatifs, dans le cas où le remplacement des piles ou des accumulateurs par du personnel non qualifié pourrait constituer un danger pour l'utilisateur ou pourrait affecter le fonctionnement de l'appareil, et les appareils professionnels destinés à être utilisés dans des environnements hautement sensibles, par exemple en présence de substances volatiles.

Les appareils relevant des trois catégories ci-dessus mentionnées doivent être accompagnés d'un mode d'emploi informant l'utilisateur que des piles ou des accumulateurs y sont incorporés et, le cas échéant, précisant la manière de les enlever en toute sécurité."

Article 3 du décret du 12 mai 1999

Les piles et accumulateurs, quel qu'en soit le type, qu'ils soient ou non incorporés à des appareils, doivent porter de manière apparente le nom ou la marque de la personne physique ou morale responsable de leur élimination au sens du présent décret, fabricant, importateur, introducteur ou incorporateur, ou du distributeur si celui-ci les commercialise sous sa propre marque.

Les piles et accumulateurs mentionnés à l'article 2 devront également être munis d'un marquage conforme aux modèles figurant à l'annexe du présent décret.

Titre II : Elimination des piles et accumulateurs usagés

Chapitre I : Dispositions générales

Article 4 du décret du 12 mai 1999

Il est interdit d'abandonner des piles ou des accumulateurs usagés ainsi que, le cas échéant, les appareils auxquels ils sont incorporés ou de rejeter dans le milieu naturel les composants liquides ou solides de ces piles ou de ces accumulateurs.

Article 5 du décret du 12 mai 1999

L'élimination des piles et accumulateurs ou de leurs composants, y compris ceux qui auront été retirés des appareils auxquels ils sont incorporés, doit être effectuée dans des installations autorisées à cet effet en application des dispositions de la loi du 19 juillet 1976 susvisée, ou dans toute autre installation bénéficiant d'une autorisation équivalente dans un autre Etat de la Communauté européenne, dès lors que le transfert transfrontalier des piles et accumulateurs usagés est conforme aux dispositions du règlement du 1er février 1993 susvisé.

La valorisation des piles et accumulateurs usagés est préférée aux autres modes d'élimination chaque fois que les conditions techniques et économiques du moment le permettent.

Chapitre II : De l'élimination des piles et accumulateurs usagés détenus par les ménages

Article 6 du décret du 12 mai 1999

Tout distributeur, détaillant ou grossiste, de piles et d'accumulateurs est tenu, que ces piles ou accumulateurs soient ou non incorporés à des appareils, de reprendre gratuitement les piles ou accumulateurs usagés du type de ceux qu'il commercialise qui lui sont rapportés. Il les rassemble en lots de caractéristiques identiques, de manière à en faciliter la reprise dans les conditions prévues à l'article 7 ci-dessous par les personnes mentionnées à ce même article.

Arrêté du 26 juin 2001 relatif à la communication des informations concernant la mise sur le marché, la collecte, la valorisation et l'élimination des piles et accumulateurs

(Journal officiel du 12 juillet 2001)

NOR : ATEP0100142A

Le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, le secrétaire d'Etat aux petites et moyennes entreprises, au commerce, à l'artisanat et à la consommation et le secrétaire d'Etat à l'industrie,

Vu la directive 98/34/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques et des règles relatives aux services de la société de l'information, et notamment la notification n° 2000/307/F ;

Vu la directive 91/157/CEE du 18 mars 1991 modifiée, relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses ;

Vu le code de l'environnement, et notamment le titre Ier et le chapitre Ier du titre IV de son livre V ;

Vu le décret n° 91-732 du 26 juillet 1991 modifié, relatif à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ;

Vu le décret n° 99-374 du 12 mai 1999 modifié, relatif à la mise sur le marché des piles et accumulateurs et à leur élimination, et notamment son article 11,

Arrêtent :

ARTICLE 1

Toute personne physique ou morale qui fabrique, importe, introduit ou distribue sous sa marque des piles ou accumulateurs est tenue de transmettre une déclaration par catégorie des quantités annuelles qu'elle a elle-même mises sur le marché en France.

Ces prescriptions s'appliquent également à toute personne physique ou morale qui incorpore dans des appareils des piles ou accumulateurs, ou qui importe ou introduit des appareils contenant des piles ou accumulateurs.

Les déclarations sont établies selon l'annexe I (a) du présent arrêté agréée par le CERFA sous le numéro 11801*01 : elles sont transmises, au plus tard le 31 mars de l'année en cours pour l'année civile précédente, à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

ARTICLE 2

Les utilisateurs de piles ou accumulateurs autres que les ménages qui importent ou introduisent pour leur propre usage des piles ou accumulateurs sont tenus de transmettre respectivement une déclaration par catégorie des quantités annuelles qu'ils ont importées ou introduites.

Ces prescriptions s'appliquent également aux utilisateurs de piles ou accumulateurs autres que les ménages qui importent ou introduisent pour leur propre usage des appareils contenant des piles ou accumulateurs.

Les déclarations sont établies selon l'annexe I(a) du présent arrêté : elles sont transmises, au plus tard le 31 mars de l'année en cours pour l'année civile précédente, à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

ARTICLE 3

Toute personne physique ou morale, à l'exception des ménages et autres utilisateurs, qui fait valoriser ou fait éliminer, en France ou à l'étranger, des lots de piles ou accumulateurs usagés est tenue de transmettre respectivement une déclaration par catégorie des quantités annuelles qu'elle a fait valoriser ou fait éliminer, en France ou à l'étranger.

Les déclarations sont établies selon l'annexe I(b) du présent arrêté agréée par le CERFA sous le numéro 11802*01 : elles sont transmises, au plus tard le 31 mars de l'année en cours pour l'année civile précédente, à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

ARTICLE 4

Toute personne physique ou morale, à l'exception des ménages et autres utilisateurs, qui valorise, élimine, exporte en vue de leur valorisation ou de leur élimination des lots de piles ou accumulateurs usagés est tenue de transmettre respectivement une déclaration par catégorie des quantités annuelles qu'elle a valorisées, éliminées, exportées.

Les déclarations sont établies selon l'annexe I (c) du présent arrêté agréée par le CERFA sous le numéro 11803*01 : elles sont transmises, au plus tard le 31 mars de l'année en cours pour l'année civile précédente, à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

Caractéristiques des batteries.

	NiCd	NiMH	Lead cid	Li-ion	Li-ion po-lymer	Reusable Alkaline
Energie massique (Wh/kg)	45 - 80	60 - 120	30 - 50	110 - 160	100 - 130	80
Durée de vie à 80%C (en nombre de cycles)	1 500	300 - 500	200 - 300	500 - 1 000	300 - 500	50
Charge rapide (en heures)	1	2-4	8-16	2-4	2-4	2-3
Tolérance en sur-charge	modérée	faible	forte	très faible	faible	modérée
Tension par élément (V)	1,25	1,25	2	3,6	3,6	1,5
Température de fonctionnement	-40/60°C	-20/60°C	-20/60°C	-20/60°C	0/60°C	0/65°C
Courant de charge : - rapide - plus efficace	20C 1C	5C <0,5C	5C 0,2C	>2C <1C	>2C <1C	0,5C <0,2C
Maintenance	1 à 2mois	2 à 3 mois	3 à 6 mois	sans	sans	sans

Q0.1. CHOIX TECHNOLOGIQUE :

Quels sont, d'après vous, les critères techniques qui ont amené le constructeur à choisir d'utiliser des batteries Li-ion ?

Q0.2. CHOIX ENVIRONNEMENTAL :

D'après l'extrait du décret n°99-374 transposant en droit français la directive européenne n°91/157/CE relative aux piles et accumulateurs, déterminer de quels types d'accumulateurs il était impératif d'éviter l'utilisation.

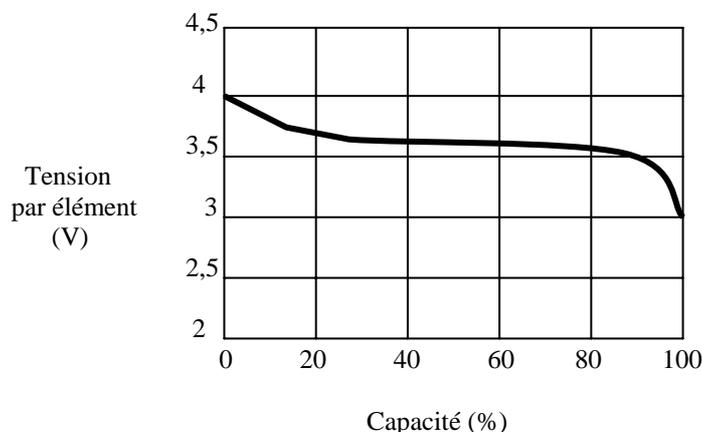
En tenant compte de l'arrêté du 26 Juin 2001, quelles sont les obligations pour le vendeur du véhicule puis celles de l'utilisateur ?

Batterie pour un véhicule électrique

La technologie Li-ion se prête bien aux véhicules électriques en particulier pour sa forte énergie massique et son aptitude à opérer dans une large gamme de température. D'autant plus que les éléments de la lithium-ion posent moins de problèmes de recyclage que ceux des batteries au plomb ou au cadmium.

Cependant, la charge de la batterie doit respecter des normes rigoureuses et un circuit de protection doit assurer un fonctionnement sécuritaire pour la charge comme pour la décharge.

Caractéristiques de décharge de la Li-ion



La tension sur chaque élément doit impérativement rester dans le domaine de 4,2 V à 3 V pour un fonctionnement sécuritaire.

Charge des batteries Li-ion

Le chargeur de batteries Li-ion est un limiteur de tension. La tension sur chaque élément ne doit pas dépasser 4,2 V avec une tolérance de $\pm 0,05$ V.

Le temps de charge est voisin de 3 heures si le courant de charge est de valeur 1 C. La pleine charge est obtenue quand la tension atteint le seuil haut et que l'intensité du courant diminue et se stabilise à 0,03 C.

En augmentant l'intensité du courant de charge on ne raccourcit pas beaucoup le temps de charge. En effet, la tension maximale croît plus vite mais il faut plus de temps pour que la charge soit complète.

Aucun courant en surcharge n'est tolérable. Il produirait une instabilité de l'élément avec un risque d'explosion.

Selon le chargeur et l'autodécharge de la batterie, une charge maximale est appliquée toutes les 500 heures ou tous les 20 jours. Typiquement, la charge est amorcée lorsque la tension en circuit ouvert mesurée aux bornes diminue à 4,05 Volts par élément et elle cesse lorsque la tension atteint 4,20 V/élément.

Circuit de protection.

Les batteries du marché contiennent des dispositifs de protection redondants pour assurer la sécurité en toutes circonstances.

Typiquement un transistor Mosfet ouvre le circuit si la tension d'un élément atteint 4,3 V ou chute sous 1,5 V. Une trop faible tension peut engendrer un court-circuit interne de l'élément. Un fusible se détruit si la température interne approche 90°C.

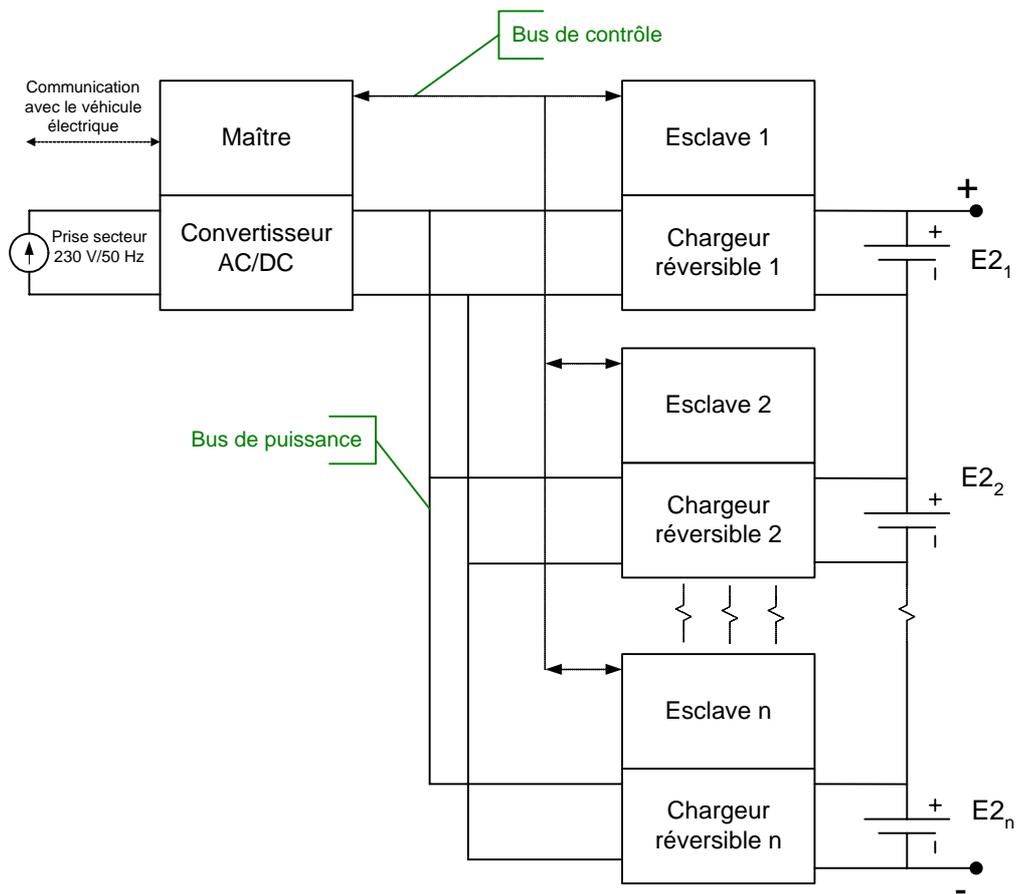
En outre un interrupteur à pression dans chaque élément interrompt définitivement le courant de charge si on excède un niveau sécuritaire de pression.

Fonctionnalités du manager de batterie Li-ion

Pendant la phase de charge le convertisseur AC/DC puise l'énergie sur le réseau électrique et crée une tension de 48 V sur le bus de puissance. Les chargeurs réversibles chargent séparément chaque élément depuis la source 48 V. Cette charge séparée est rendue indispensable si on veut éviter la surcharge d'un élément.

Au cours de la décharge le secteur est absent mais le chargeur reste sur le véhicule électrique. A cause des dispersions sur la capacité des éléments, certains éléments seront vides alors que d'autres sont encore partiellement chargés. Grâce à la réversibilité des mini-chargeurs les éléments vides reçoivent un complément d'énergie prélevé sur les éléments les plus chargés.

Manager de batterie Li-ion



LE SUJET PORTE SUR L'ETUDE D'UN MODULE ESCLAVE

Eléments de cahier des charges pour un module esclave : (à prendre en compte pour les calculs)

- Le nombre d'éléments est compris entre 10 et 100.
- La tension d'entrée disponible sur le bus de puissance est de 48 V = E1.
- Le courant moyen consommé en entrée est de l'ordre de 0,25 A.
- La tension de chaque élément de batterie sera de 3,6 V = E2 pour les calculs.
- Le courant moyen fourni à chaque élément est de 3 A.
- La fréquence de découpage du convertisseur continu-continu est de 120 kHz.

Eléments d'architecture matérielle du contrôle d'un module esclave :

Les schémas étudiés et fournis sont ceux d'un module esclave (intégré à un élément de batterie), l'architecture du module maître (situé dans le véhicule) est similaire.

En phase d'exploitation, la communication se fait par l'intermédiaire du bus de contrôle qui est une liaison de type RS485 arrivant sur le module esclave par le connecteur CN6. La programmation (effectuée en phase de développement du produit) du module esclave se fait par le connecteur CN5.

Fonctions principales d'un module esclave :

- Conversion d'énergie isolée réversible (continu-continu) 48 V \Rightarrow 3,6 V.
- Contrôle de l'état de la batterie (courant, tension, capacité, température).
- Communication de l'état de l'élément (courant, tension, capacité, température).
- Réception des ordres (charge ou décharge).
- Commande des interrupteurs.
- Contrôle du fonctionnement sécuritaire.

Lors des différentes questions, le candidat devra montrer qu'il est capable d'exploiter les schémas structurels et les documents techniques afin de faire le lien avec les fonctionnalités attendues.

Bus de communication maître esclaves

Chaque chargeur de batterie reçoit des ordres de charge, de décharge ou d'arrêt qui viennent d'un micro-contrôleur maître. Pour établir ces ordres il interroge successivement chacun des 6 chargeurs qui lui envoient des informations sur l'état de charge de chaque élément.

Le format de codage de la tension de batterie (2 mots de 16 bits) est donné ci-dessous :

LSB

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

MSB

0	0	0	0	0	0	2^9	2^8
---	---	---	---	---	---	-------	-------

Unité = 10 mV

Le principe de communication est une communication Maître - esclaves. Il s'agit d'une communication orientée caractère.

La gestion des échanges se fait grâce à l'ensemble de caractères de commandes du tableau suivant :

En-tête	<SOH>	Start Of Heading	Début d'en-tête
Corps	<STX>	Start Of Text	Début de texte
	<ETX>	End Of Text	Fin de texte
Contrôle	<LCR>	Longitudinal Redundancy Check	Contrôle du message

Le message transmis entre le maître et l'esclave est constitué de la façon suivante :

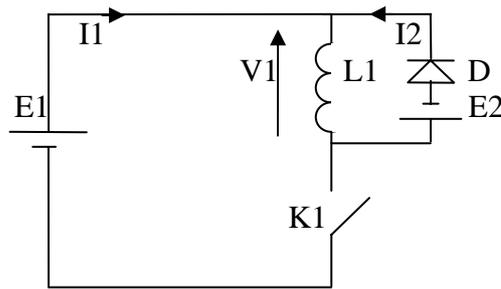
Entête du message : <SOH> <adresse de l'esclave>

Corps du message : <STX> <données> <ETX>

Contrôle du message : <LCR>

6 adresses sont utilisées de 21H à 26H.

1 – Etude d’un convertisseur continu-continu à accumulation inductive

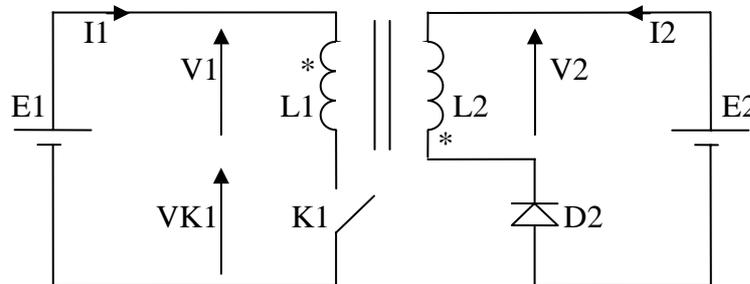


L'interrupteur K1 est un Mosfet commandé périodiquement à la période T avec un rapport cyclique α (temps de fermeture αT). On considère les composants parfaits et sans perte. Le temps est appelé t.

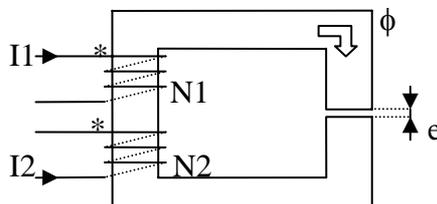
Etude sur une période en régime établi dans le cas où le courant $i_1 = 0$ à $t = 0$:

- Q1.1. Pendant la fermeture de K1 de $t = 0$ à $t = \alpha T$, quel est l'état de la diode D ? Exprimer $v_1(t)$ et $i_1(t)$.
- Q1.2. Calculer la valeur I_{1m} du courant $i_1(t)$ à l'instant αT .
- Q1.3. Au delà de $t = \alpha T$, exprimer le courant $i_2(t)$.
- Q1.4. À partir de l'instant βT inférieur à T, le courant i_2 s'annule. Exprimer β .
- Q1.5. Que se passe-t-il de βT à T ?
- Q1.6. Tracer les formes d'ondes de $v_1(t)$, $i_1(t)$ et $i_2(t)$ sur deux périodes du fonctionnement.
- Q1.7. Pourquoi cette structure n'est-elle pas retenue pour le module esclave ?

2-Chargeur flyback isolé



Les inductances L1 et L2 correspondent respectivement aux enroulements de N1 et N2 spires portés sur un noyau magnétique de section S et doté d'un entrefer de longueur e :



On suppose le noyau magnétique parfait et de perméabilité relative infinie. Le sens d'enroulement est le même depuis le repère « * » pour chaque bobinage.

- Q2.1. En appliquant le théorème d'Ampère, exprimer le flux magnétique ϕ en fonction de N1, N2, I1, I2, S, e et de μ_0 la perméabilité absolue du vide ($\mu_0 = 4 \times \pi \times 10^{-7}$).
- Q2.2. Pendant la conduction de K1 de 0 à αT quelle est la tension V2 ? Conclure à propos de l'état de la diode D2.
- Q2.3. Quel est le courant $i_1(t)$ pour l'intervalle $[0, \alpha T]$? Exprimer $i_1(\alpha T)$ noté I_{1m} .
- Q2.4. Pour des raisons de conservation de l'énergie, le flux magnétique ne peut varier spontanément. En déduire l'état de la diode D2 après αT et la valeur de $i_2(\alpha T)$ notée I_{2m} .

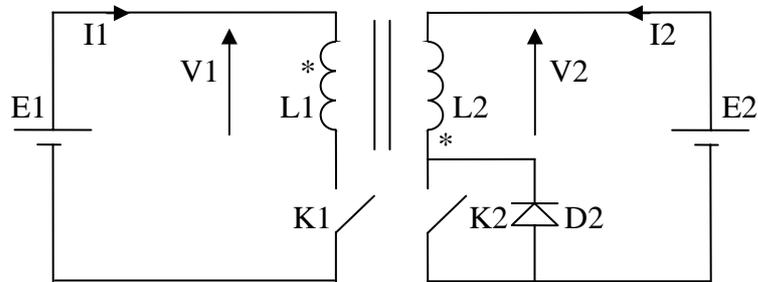
Q2.5. Exprimer pendant la conduction de D1 de αT à βT le courant $i_2(t)$.

Q2.6. Tracer les formes d'onde des signaux V_1 , V_2 , V_{K1} , I_1 et I_2 .

Q2.7. Calculer les valeurs efficaces $I_{1\text{eff}}$ et $I_{2\text{eff}}$ des courants $i_1(t)$ et $i_2(t)$.

Application numérique pour $T = 8,5 \mu\text{s}$, $E_1 = 48 \text{ V}$, $E_2 = 3,6 \text{ V}$, rapport de spires $N_1/N_2 = 4$, $\beta = 0,932$, $\alpha = 0,215$, valeur moyenne de $i_2(t)$ notée $\langle i_2 \rangle = -3 \text{ A}$.

3 - Amélioration du rendement



Q3.1. Calculer l'énergie stockée à αT dans le circuit magnétique si $L_1 = 41,2 \mu\text{H}$.

Q3.2. En déduire l'expression de la puissance moyenne qui transite de la source E_1 vers la source E_2 .

Q3.3. Exprimer la puissance perdue en conduction dans la diode D_2 . La diode D_2 a une tension de seuil constante de $0,7 \text{ V}$ en conduction.

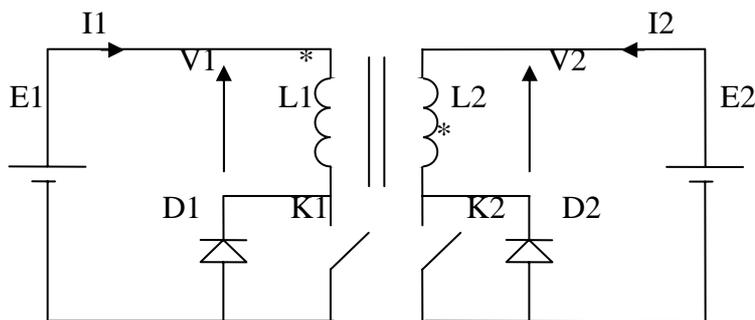
Pour réduire ces pertes un Mosfet K_2 est monté en parallèle sur D_2 . La commande de K_2 donne l'ordre de fermeture dès le début de la conduction de D_2 . K_2 s'ouvre quand le courant I_2 s'annule.

Q3.4. Calculer les pertes en conduction dans K_2 si sa commutation est parfaitement conforme à la procédure décrite ci-dessus. Le Mosfet K_2 commandé à la fermeture est équivalent à une résistance R_{dson} .

Q3.5. Vérification de l'opportunité du redresseur synchrone. $T = 8,5 \mu\text{s}$, $E_1 = 48 \text{ V}$, $E_2 = 3,6 \text{ V}$, rapport de spires $N_1/N_2 = 4$, $\beta = 0,932$, $\alpha = 0,215$, $R_{\text{dson}} = 10 \text{ m}\Omega$, courant moyen de charge $\langle i_2 \rangle = -3 \text{ A}$. Conclusion.

4 - Principe du chargeur réversible

En réalité un Mosfet intègre une diode antiparallèle. Les ensembles (D_1, K_1) et (D_2, K_2) sont deux Mosfets.



Etude d'une séquence où K_2 est le seul interrupteur commandé.

Conditions initiales à $t = 0$: $I_1 = I_2 = 0$.

Q4.1. On ferme K_2 de 0 à βT . Ecrire l'expression du courant $i_2(t)$.

Q4.2. À partir de βT K_2 est ouvert. Quel est l'état de D_1 ? À $(\alpha + \beta)T$ le courant I_1 s'annule. Exprimer $i_1(t)$ sur l'intervalle $[\beta T, \alpha T]$.

Q4.3. Commenter le sens du transfert d'énergie entre les sources E_1 et E_2 en comparant aux résultats des questions 2.

Q4.4. Pour chaque étape d'une période du fonctionnement du convertisseur continu-continu, définir l'état des composants (conducteur ou bloqué) en situation de charge de l'élément puis en situation de décharge.

Q4.5. Trouver sur les schémas structurels les références des composants qui correspondent à K_1 , D_1 et K_2 , D_2 .


```

// Génération d'un reset
// renvoi d'un « 1 » si non détection et d'un « 0 » si détection interface
//
int Owreset(void)
{
    int presence ;

    outp(PORTADR,...

    return presence ;
}

```

Q5.7. Donner l'algorithme de la fonction de lecture de donnée sur l'interface.

Caractériser les données utilisées.

Ecrire cette fonction.

On dispose de la fonction qui permet de lire un bit sur DQ en respectant les temps, l'information renvoyée est le LSB d'un octet *Int OwLirebit(void)*

```

// Lire un octet de donnée
//
int OwLireoctet(void)
{
    int loop, result=0 ;

    return result ;
}

```

Q5.8. Donner l'algorithme de la fonction qui permet commander la mesure et de lire la valeur de la tension mesurée ; on considérera que la conversion a été lancée au préalable et que celle-ci s'est achevée.

Caractériser les données utilisées.

Ecrire cette fonction.

```

// Commander la mesure et retourner la valeur mesurée
//
int lireV(void)
{
    if (Owreset())
        return 0 ;

    OwEcrireoctet(0x..) ;

    return OwLireoctet() ;
}

```

6 – Etude du transformateur

Pour réaliser un chargeur qui puisse s'intégrer dans la batterie d'accumulateurs directement sur l'élément, une hauteur de un centimètre est disponible. Une technologie « planar » sur une ferrite en E / I extra plat permet de réaliser un transformateur de très faible hauteur. Les bobinages sont composés des spires gravées sur un circuit imprimé huit couches d'une épaisseur de cuivre 70 μm . $N_2 = 4$ spires et $N_1 = 16$ spires. La jambe centrale du noyau magnétique a une section droite de $0,8 \times 10^{-4} \text{m}^2$.

Q6.1. Calculer la longueur e de l'entrefer à tailler sur la jambe centrale pour que $L_1 = 41,2 \mu\text{H}$.

Q6.2. Evaluer la puissance perdue par effet Joule dans le cuivre. La longueur moyenne d'une spire $l = 0,06 \text{ m}$. La largeur moyenne de la gravure des N_1 spires est $lg_1 = 0,5 \text{ mm}$, pour des N_2 spires, $lg_2 = 3 \text{ mm}$. La résistivité du cuivre est $\rho = 1,6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$.

Q6.3. Les pertes dans le noyau magnétique atteignent $0,25 \text{ W}$. Quelles sont les pertes totales dans le transformateur ? Comparer ces pertes à la puissance utile du transformateur.

7 – Alimentation des structures

Q7.1. Justifier la nécessité d'un isolement entre les sources E1 et E2 du convertisseur continu-continu.

Q7.2. Faire l'inventaire des composants qui transmettent des signaux isolés.

Q7.3. Sur les schémas structurels plusieurs points de référence de masse sont définis. Dans le schéma de principe du convertisseur continu-continu seulement deux circuits sont différenciés. Parmi les indications « 0PUI, DGND, AGND, DGND1, DGND2, 0V12, GND4 » quelles sont celles qui sont rattachées au pôle négatif des sources E1 ou E2 ?

Q7.4. Les composants sont alimentés sous les repères « VCC, VCC1, VCC2, VCC4, V12, Valim, PUI, VP12 ». Quelles sont les valeurs des contraintes de tension d'alimentation correspondant ?

Q7.5. Pourquoi ces distinctions entre les différentes masses et entre les différentes sources d'alimentation ?

Q7.6. Compatibilité électromagnétique.

Une représentation des couches internes 2 et 3 est donnée sur les pages suivantes, les plans de masses et d'alimentations sont repérés sur ce document.

Justifier l'organisation des couches (plans de masses et d'alimentations internes).

Q7.7. Le chargeur est dimensionné pour une puissance de 10 W par élément. La puissance nécessaire à l'alimentation de l'électronique de commande est à considérer dans le rendement.

La puissance consommée sur les alimentations des structures de commande est de $0,3 \text{ W}$. Le convertisseur qui élabore les alimentations possède un rendement de 50% .

Cette consommation est-elle acceptable dans une version définitive ?

8-Technologie des cartes imprimées

Q8.1 Technologie :

D'après la fiche technique donnée en annexe :

Quel est le type de cartes imprimées :

- Double face
- Multicouches 4 couches
- Multicouches 6 couches

Quelle est la technologie utilisée :

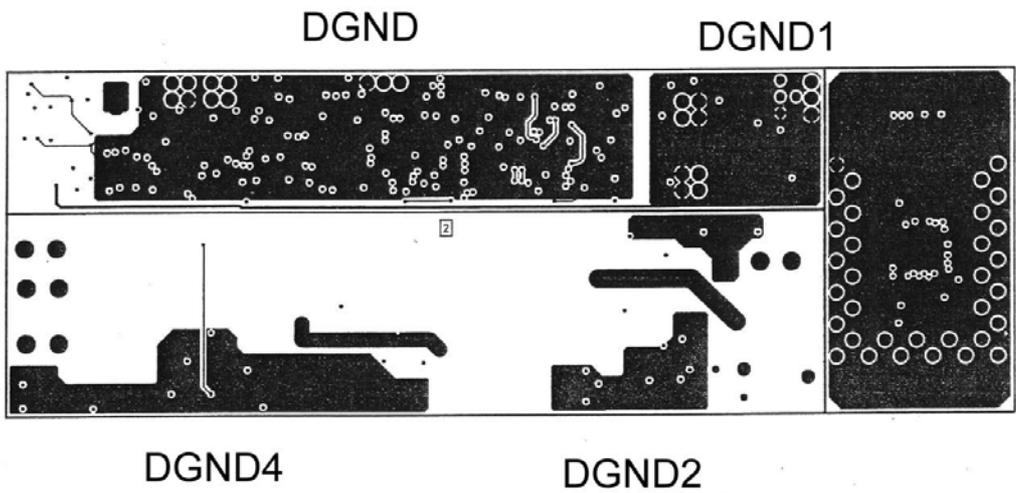
- Traditionnel
- CMS 1 face
- CMS 2 faces

Quel est le matériau du support utilisé :

- FR2 papier phénolique
- FR3 papier époxy
- FR4 verre époxy

Quel est le type de boîtier de circuit intégré utilisé :

- DIP
- LCC
- BGA



ORIGINAL EN ROUGE

B	SUITE DM PROTO		EP	CR	26/02/01
A	CREATION		CR	EP	14/06/00
INDICE	MODIFICATIONS		DESSINE	VERIFIE	DATE
ECH : 1	DESS : EP	DATE : 26/02/01	VERIF : CR	ENS: K260350	PLAN : I670474 FOLIO : 4/10
COUCHE INTERNE 2 CARTE SLAVE CHARGER II					
				30 rue du ruisseau 38070 ST QUENTIN FALLAVIER	
<small>Ce document est la propriété de la société ENERTRONIC il ne peut être copié ou divulgué sans son autorisation écrite</small>					B INDICE

D | C | B | A

FICHE TECHNIQUE

SELON NORME NF C 93-713 DE JANVIER 1989 ET SPECIFICATIONS GENERALES DE CENTRALP ENERTRONIC

TYPE	DFTM		MC4C		MC6C		MC8C	
CLASSE	3		4		5			
TECHNOLOGIE	TRAD		CMS1F		CMS2F		TROUS BORGNES	
SUPPORT	MATERIAU		FR4		HAUT TG (180 min)		RESINE BT	
	EPAISSEUR TOTALE (mn)		1.0		1.2		1.6	
EPAISSEUR DU CUIVRE (microns) FINI DE BASE	MESURE Cu + VE							
	FACE 1		18		35		70	
	FACE 2							
	FACE 3-4							
	FACE 5-6							
	FACE 7							
	FACE 8							
	REVETEMENT	SnPb 10u		SnPb SELECTIF 10u		Ni Or Ni 5u Or 0.1u		Ni Or selectif
CONNECTEUR DORE	Ni Or		NOMBRE DE CONTACTS :					
VERNIS EPARGNE	REVETEMENT		PROBIMER		PHOTOIMAGEABLE			
PREVOIR DEUX SUR CHAQUE FACE	LES VALEURS SPECIFIEES CORRESPONDENT A UNE DIFFRACTION DE :						+100u	
SERIGRAPHIE	FC		FS		BLANC			
TEST ELECTRIQUE	OUI		NON		CONTINUITE CC 100%			
TOLERANCES	DECOUPES		+/-0.1mm					
	EPAISSEUR TOTALE		+/-6%					
	PLANEITE		+/-1%		+/-0/8%		+/-0/5%	
	GRAVURE (LARGEUR DES PISTES)				+/-10%		SELON NORME	
MARQUAGES A EFFECTUER DANS LE CADRE RESERVE A CET EFFET	LOGO DU FABRICANT		DATE DE FABRICATION		TEST ELECTRIQUE (T OU TE)			
MULTIIMAGES	NOMBRE DE CI PAR PLANCHE :		PLANCHE INCOMPLETE ACCEPTEE		NON		OUI	
EMBALLAGES	INDIVIDUEL ET INHIBITEUR DE LA CORROSION							
FICHIERS GERBER	PERCAGE	2/10	670474PER.GBR	FACE 13 INT.S1GD	X/X			
	FACE 1 COMPOSANT	3/10	670474FC.GBR	FACE 14 INT.S1GD	X/X			
	FACE 2 INT.S1GA	4/10	670474S1GA.GBR	FACE SOUDURE	6/10	670474FS.GBR		
	FACE 3 INT.S1GB	5/10	670474S1GB.GBR	VERNIS EPARGNE FC	7/10	670474VEFC.GBR		
	FACE 4 INT.S1GC	X/X	670XXXS1GC.GBR	VERNIS EPARGNE FS	8/10	670474VEFS.GBR		
	FACE 5 INT.S1GD	X/X	670XXXS1GD.GBR	SERIGRAPHIE FC	9/10	670474SEFC.GBR		
	FACE 6 INT.S1GE	X/X	670XXXS1GE.GBR	SERIGRAPHIE FS	10/10	670474SEFS.GBR		
	FACE 7 INT.S1GF	X/X	670XXXS1GF.GBR	OUTILS PERCAGE		670474.NCT		
	FACE 8 INT.S1GG	X/X	670XXXS1GG.GBR					
	FACE 9 INT.S1GH	X/X	670XXXS1GH.GBR					
	FACE 10 INT.S1GI	X/X	670XXXS1GI.GBR					
	FACE 11 INT.S1GJ	X/X	670XXXS1GJ.GBR					
	FACE 12 INT.S1GK	X/X	670XXXS1GK.GBR					
NUMERO DE PLAN								
ORIGINAL EN ROUGE								
B	SUITE DM PROTO			EP	CR	26/02/01		
A	CREATION			CR	EP	14/06/00		
INDICE	MODIFICATIONS			DESSINE	VERIFIE	DATE		
ECH : 1	DESS : EP	DATE : 26/02/01	VERIF : CR	ENS : K260350	PLAN : I670474	FOLIO : 1/10		
SPECIF DE FAB CARTE SLAVE CHARGER II								
ENERTRONIC						30 rue du ruisseau 38070 ST QUENTIN FALLAVIER		
						B INDICE		
Ce document est la propriété de la société ENERTRONIC il ne peut être copié ou divulgué sans son autorisation écrite								

D

C

B

A

Le candidat traitera au choix l'un des trois domaines :

9-CHOIX N° 1 ALIMENTATION DES STRUCTURES DU MODULE ESCLAVE

Définition de la séquence :

Il s'agit de concevoir une séquence autour de l'alimentation à découpage des structures de l'esclave pour montrer la pertinence des choix du concepteur dans le contexte du chargeur modulaire (schémas page 4/5).

Niveau : classe de TS électronique.

Travail demandé :

Q9.1. Situer la séquence et sa durée dans la progression des années de TS. Définir la compétence visée par la séquence.

Q9.2. Faire le point des moyens à mettre en œuvre pour réaliser cette séquence avec les élèves en documents et matériels. Faire une approche pragmatique, dans les conditions du laboratoire du lycée où vous enseignez actuellement.

Q9.3. Préciser les informations complémentaires qui vous seraient nécessaires pour développer cette séquence, en sus de celles données dans les documents du sujet.

Q9.3. Comment sera présentée la fonction alimentation des structures par rapport à l'objet technique ?

Q9.4. Etablir soigneusement le document qui guide l'élève dans son travail.

Q9.5. Exprimer comment l'évaluation se concrétise. Produire les documents éventuellement prévus à cet effet.

Q9.6. Définir les différentes étapes de l'intervention du professeur et ses intentions ainsi que les phases d'autonomie des élèves, de la présentation à l'évaluation de la séquence.

TECHNOLOGIE DES CIRCUITS IMPRIMES

Q9.7. Préparation d'une séquence de technologie :

Proposer une démarche pédagogique qui permette d'aborder la technologie industrielle de fabrication des cartes de circuits imprimés.

Proposer les moyens qui seront mis en œuvre (vidéo, visite de site, etc.) ; préciser quelles seront les activités élèves durant cette séquence pédagogique. Vous pourrez citer des noms d'entreprise avec lesquelles vous avez collaboré.

10-CHOIX N° 2 COMMUNICATION, RESEAUX ET MODES DE TRANSMISSION

Proposer une séquence pédagogique sur le thème des réseaux et des modes de transmission en STS IRIS ou sur le thème de la communication série en STS Electronique.

Travail demandé :

Q10.1. Situer la séquence et sa durée dans la progression de la première année. Définir l'objectif terminal de la séquence et les objectifs intermédiaires.

Q10.2 Faire le point des moyens à mettre en œuvre pour réaliser cette séquence avec les élèves en documents et matériels.

Q10.3. Préciser les informations complémentaires qui vous seraient nécessaires pour développer cette séquence, en sus de celles données dans les documents du sujet.

Q10.4. Proposer une ébauche des documents ressources.

Q10.5. Exprimer comment l'évaluation se concrétise. Produire les documents éventuellement prévus à cet effet.

Q10.6. Définir les différentes étapes de l'intervention du professeur et ses intentions ainsi que les phases d'autonomie des élèves de la présentation à l'évaluation de la séquence.

11-CHOIX N° 3 GESTION DE PROJET (COMMUNICATION MAITRE-ESCLAVE)

Q11.1. Rédaction d'un cahier des charges de mini-projet pour une équipe de 4 étudiants.

Proposez une rédaction de cahier des charges pour une activité de mini-projet en STS électronique ou STS IRIS permettant de mettre en place la liaison entre les modules maître et esclaves du chargeur.

Q11.2 Définir les contraintes liées au déroulement du mini-projet (durée, modalités d'organisation, économie...)

Q11.3. Préparer la phase pédagogique d'information sur la gestion de projet.

Q11.4. Rédaction des évaluations.

Etablir un suivi de ce mini-projet en proposant la forme des évaluations et leur contenu.

Q11.5. Pré-requis.

Quels sont les pré-requis que doit posséder l'étudiant pour pouvoir mener à bien ce travail ? Préciser la nature des travaux qui ont du être engagés auparavant ; préciser le type des activités liées à ces travaux.

Partie C : Etude de la commande

Les connecteurs CN2 et CN7 sont reliés.

12 – Mesure du courant

L'étude porte sur la structure autour de U4/A.

Q12.1. Quelle est la structure qui fournit l'alimentation de U4/A ?

Q12.2. La tension aux bornes de la résistance R2 représente quelle grandeur électrique du convertisseur ?

Préciser les critères de choix de cette résistance.

Q12.3. Exprimer la fonction de transfert autour de U4/A. Quel est son rôle ?

Q12.4. Justifier le choix technologique du composant TLC662 pour U4/A.

13 – Filtre

On appelle U_p la tension au point PWMI et U_{ci} la tension en sortie de U7/B.

Q13.1. Etablir la fonction de transfert de la structure (U7/B, R37, R38, R42, R43, C28, C30) $H = U_{ci} / U_p$, on posera $R = R37 = R38 = R42 = R43$ et $C = C28 = C30$.

Q13.2. Tracer l'allure du diagramme de Bode asymptotique du gain de cette fonction.

Q13.3. Le signal en PWMI est un signal logique de rapport cyclique variable de fréquence 1 kHz. Définir le signal généré par la sortie de U7/B.

14 – Commande de K1

Q14.1. Quelle est la fonction réalisée par la structure (U7/A, R40, R44, C32) ? Justifier la réponse de manière simple.

Q14.2. En produisant les calculs justificatifs utiles, valider la forme d'onde du signal U_r au point « REGI » porté sur le document réponse.

Q14.3. Quand U_r correspond à un niveau logique 1 l'interrupteur K1 est fermé ($U_r > V_{cc} / 2$).

Mettre en évidence à l'aide d'un schéma bloc l'asservissement du courant moyen appelé sur la source 48 V. Bien repérer les entrées sorties entre les fonctions et faire le lien avec les schémas structurels. On ne demande pas l'expression des fonctions de transfert de chaque bloc.

Q14.4. De quelles grandeurs physiques dépend la précision de cet asservissement ? Evaluer l'ordre de grandeur de la précision de l'asservissement.

Q14.5. Pourquoi les signaux de commande de K1 et de K2 ne sont-ils pas directement générés par le microprocesseur ?

Q14.6. Quel est le rôle de l'association (Q4, Q6, R13) ?

15 – Commande de K2

Q15.1. Identifier les différents étages qui transmettent les ordres de commande de K2 depuis le circuit U10 jusqu'à K2.

Q15.2. Quand le convertisseur opère en chargeur, la fermeture de K2 pendant la conduction de la diode D2 améliore le rendement. Quelles sont les conséquences à prévoir si les ordres de fermeture ou d'ouverture arrivent en retard ?

Q15.3. Montrer que les choix technologiques des différents étages apportent une rapidité suffisante.

16 - Chronogrammes de commande de K1 et K2

Une description simplifiée en langage VHDL du contenu du circuit U10 est donnée ci-dessous :

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;

entity cdek1k2 is
port (oc,od,vp,reg,regi,clock : in std_logic;
      tdm,tm,pulse,tmc : out std_logic);
end cdek1k2;

architecture cdek1k2 of cdek1k2 is

component log
port ( oc,ee1,od,ee2: in std_logic;
      tdm,tm : out std_logic);
end component;

component demagn
port (qq1,vp,oc : in std_logic;
      pulse : out std_logic
      );
end component;

component u11a
port ( clock,regi : in std_logic;
      e2,smc,tmc : out std_logic);
end component;

component u11b
port ( clk,reg : in std_logic;
      e1,q1 : out std_logic);
end component;

signal x1,x2,x3,x4 : std_logic;
begin
stance1 : log port map(oc,x1,od,x2,tdm,tm);
stance2 : demagn port map(x3,vp,oc,pulse);
stance3 : u11a port map(clock,regi,x2,x4,tmc);
stance4 : u11b port map(x4,reg,x1,x3);

end flot;

entity log is
port ( oc,ee1,od,ee2: in std_logic;
      tdm,tm : out std_logic);
end log;

architecture log of log is
```

```

begin
tdm<=(ee1 and oc) or (ee2 and od);
tm<=oc and ee2;
end flot_log;

```

```

entity demagn is
port (qq1,vp,oc : in std_logic;
      pulse : out std_logic
      );
end demagn;

```

```

architecture demagn of demagn is
begin
pulse<= (qq1 and vp)or (not oc);
end flot_demagn;

```

```

entity u11a is
port ( clock,regi : in std_logic;
      e2,smc,tmc : out std_logic);
end u11a;

```

```

architecture u11a of u11a is
begin
  process(clock,regi)
  begin
    if regi='1' then e2<='1'; smc<='0'; tmc<='0';
    elsif clock'event and clock='1'
      then e2<='0'; smc<='1'; tmc<='1';
    end if;
  end process;
end flot_u11a;

```

```

entity u11b is
port ( clk,reg : in std_logic;
      e1,q1 : out std_logic);
end u11b;

```

```

architecture u11b of u11b is

```

```

begin
  process(clk,reg)
  begin
    if (reg='1') then e1<='0'; q1<='1';
    elsif clk'event and clk='1'
      then e1<='1'; q1<='0';
    end if;
  end process;
end flot_u11b;

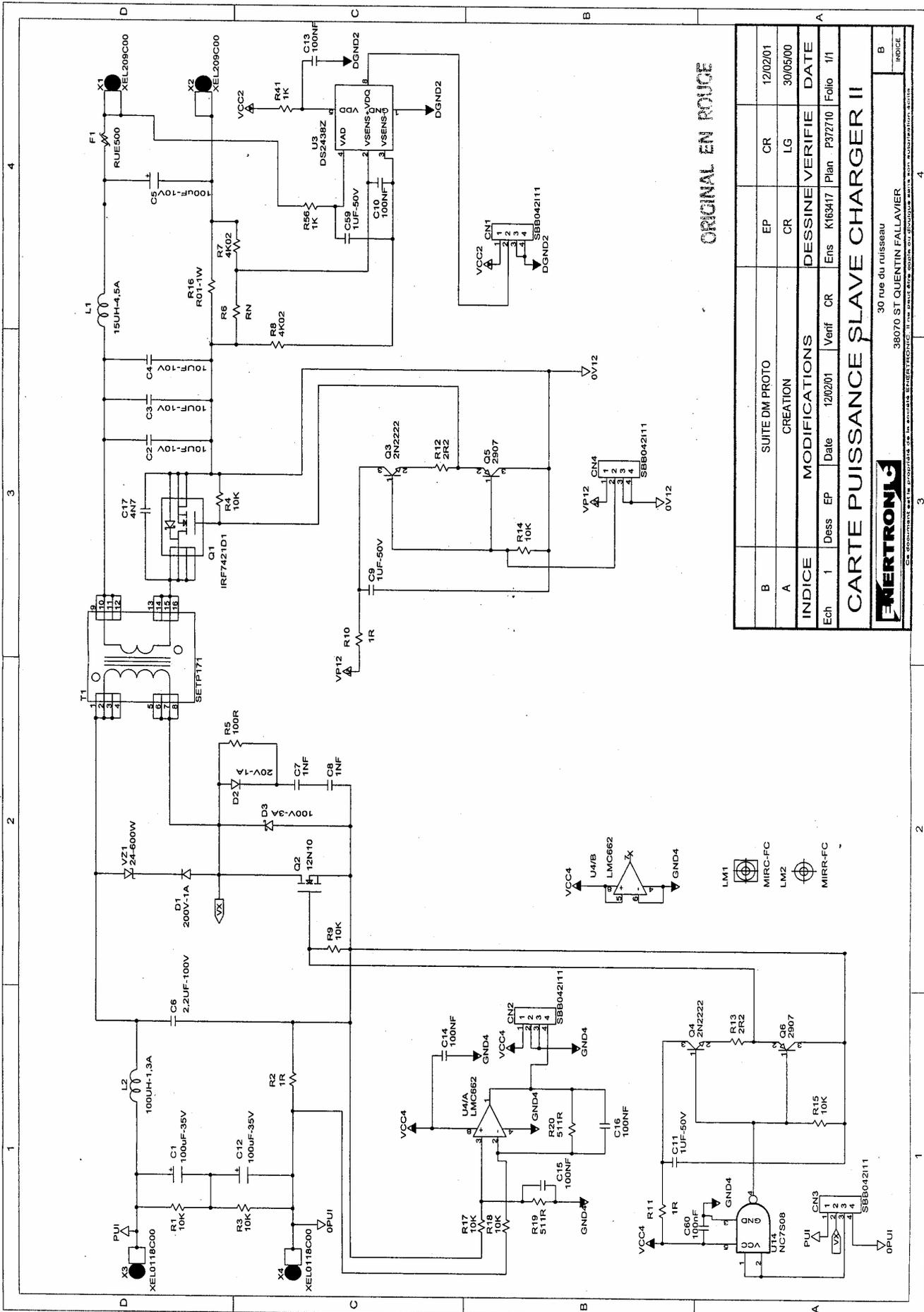
```

Q16.1. Compléter le document réponse 1 sur 2 reconstituant le fonctionnel de U10.

Q16.2. Représenter, pour la charge d'un élément, les signaux TMC, TM, TDM, PULSE sur le document réponse 2 sur 2.

Q16.3. Noter sur le chronogramme la durée de commande de K1, de K2 et la fin de la démagnétisation ; représenter les temps 0 , αT , βT .

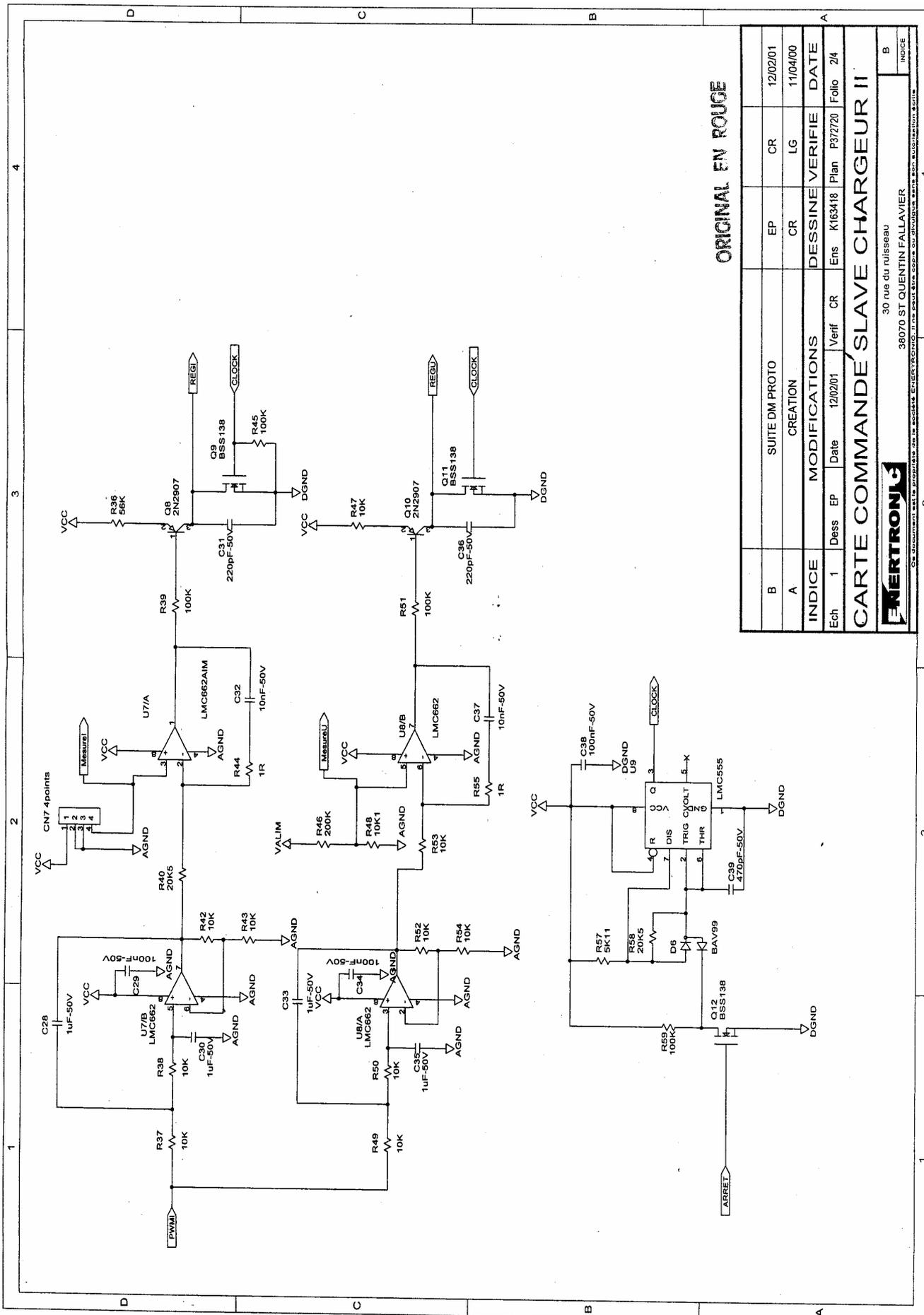
SCHEMAS STRUCTURELS 1/5



ORIGINAL EN ROUGE

B	SUITE DM PROTO	EP	CR	12/02/01
A	CREATION	CR	LG	30/05/00
INDICE		MODIFICATIONS		DESSINE
Ech 1		Dess	EP	Date
		Verif	CR	Echs
				Plan
				P372710
				Folio
				1/1
CARTE PUISSANCE SLAVE CHARGER II				
30 rue du ruisseau 38070 ST QUENTIN FALLAVIER				
CE DOCUMENT EST LA PROPRIETE DE ENERTRONIC. IL NE PEUT ETRE REPRODUIT, COPIE, MODIFIE, REVERSE,				

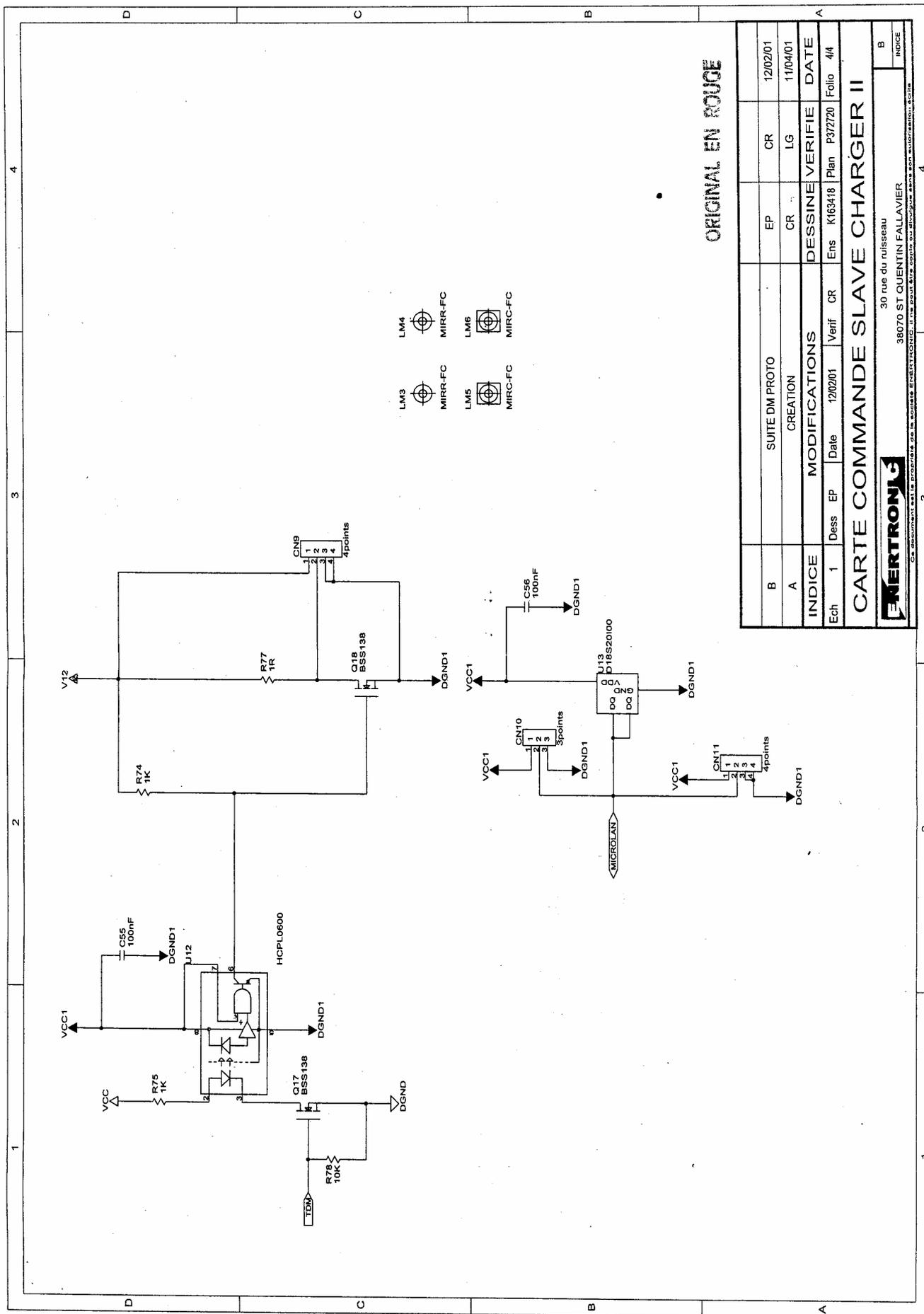
SCHEMAS STRUCTURELS 3/5



ORIGINAL EN ROUGE

B	SUITE DM PROTO	EP	CR	12/02/01
A	CREATION	CR	LG	11/04/00
INDICE		MODIFICATIONS		DESSINE
Ech 1		12/02/01	Verif	CR
Date		12/02/01	Plan	P372720
Folio		2/4		
CARTE COMMANDE SLAVE CHARGEUR II				
				
30 rue du ruisseau				
38070 ST QUENTIN FALLAVIER				
<small>CE DOCUMENT EST LE PROPRIETE D'ENERTRONIC. EN CAS DE REPRODUCTION, MERCI DE COMMUNIQUER A NOTRE SERVICE CLIENTELE LE NOM DE LA PERSONNE A QUI IL EST DESTINE.</small>				

SCHEMAS STRUCTURELS 5/5



- LM3 MIRR-FC
- LM4 MIRR-FC
- LM5 MIRC-FC
- LM6 MIRC-FC

ORIGINAL EN ROUGE

B	SUITE DM PROTO	EP	CR	12/02/01
A	CREATION	CR	LG	11/04/01
INDICE				
Ech	Dess	EP	Date	Verif
1	1	12/02/01	CR	K163418
			Plan	Folio
			P372720	4/4
CARTE COMMANDE SLAVE CHARGER II				
30 rue du ruisseau 38070 ST QUENTIN FALLAVIER				
C.S. ASSURANCE DES PROPRIETAIRES DES LOGICIELS ENERTRONIQUE. 11 rue de la Fontaine de la Chapelle, 38000 Grenoble, France.				