

**EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE**

CERN - PS DIVISION

PS/ CA/Note 99-25

CHARGE CONTROL UNIT (CCU)

B. Bleus

Geneva, Switzerland
16 November 1999

CHARGE CONTROL UNIT (CCU)

B. BLEUS

Cette note est destinée aux techniciens chargés de l'entretien et de l'amélioration du châssis CCU de la section KICKERS du PS. Elle contient une longue introduction qui traite du contexte dans lequel ce châssis sera exploité et elle en souligne les limites d'utilisation. Cette introduction est un complément indispensable à la bonne compréhension des logiciels écrits pour le KSU et pour le G64 associés à ces équipements kickers. Cette note comprend une explication du principe de fonctionnement du CCU ainsi qu'une aide à l'analyse du schéma. Elle constitue essentiellement un aide-mémoire destiné à clarifier les idées pour une amélioration ultérieure.

1. Introduction

Certains accélérateurs de la division PS reçoivent toujours le même type de faisceau et ne fournissent de plus qu'un seul client. Les injections ou éjections rapides correspondantes seront donc toujours réglées à la même valeur pour de longues périodes et ne seront ajustées que très rarement par l'opérateur machine. Le PS, par contre, "sert" un "user" différent à chaque cycle. Le type de particules, les lignes d'injection ou d'éjection et l'énergie des faisceaux peuvent varier à chaque cycle. Les équipements kickers de la machine PS doivent donc travailler en mode "PPM" ("Pulse to Pulse Modulation").

En 1997, lors de l'arrêt machine annuel du PS, la modification de l' "equipment module" du KFA45, dans le cadre de la rénovation du système de contrôle du PS, a fait du KFA45 un équipement PPM et nous a contraint à remplacer les anciennes alimentations type Sorensen DCR 300-9B par un nouveau châssis spécialement conçu pour la recharge des bancs de condensateurs: le "Charge Control Unit".

Les alimentations des modules kickers du PS sont basées sur le principe de la décharge par un ou deux thyratrons d'un câble coaxial (P.F.N. pour 'Pulse Forming Network') chargé sous haute tension (voir figures 1 et 2). La charge préalable de ce PFN s'effectue par une alimentation résonnante dont le banc de condensateurs primaire est chargé à une tension avoisinant les 220 V (pour 80 kV PFN). La charge du PFN est initiée par une impulsion de timing appelée 'warning'. Suivant la capacité du PFN, ce banc de condensateurs est constitué d'un ou de deux châssis "Capacitor Unit". (La capacité par châssis est de l'ordre de 11 mF).

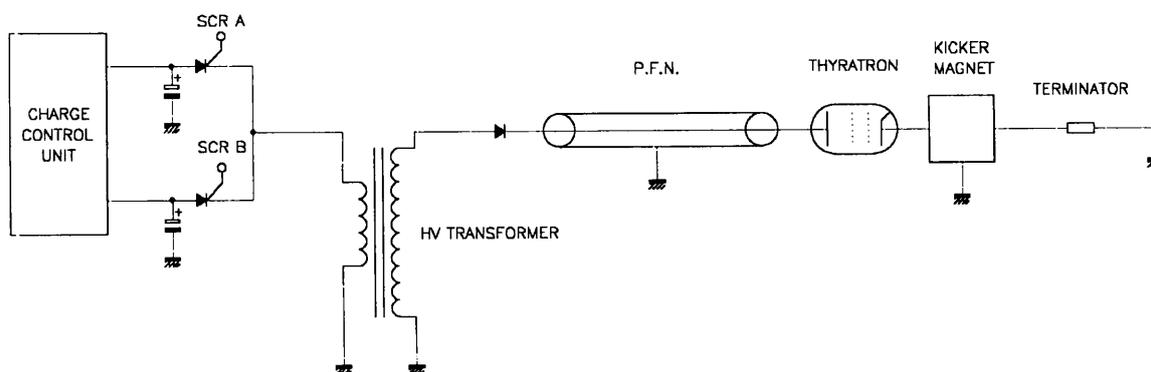


Fig. 1 – Schéma de principe d'un module kicker

Le temps de recouvrement (reset du flux d'induction) du transformateur haute tension est de l'ordre de 30 ms. Un même module ne peut pas délivrer deux impulsions dans un intervalle de temps inférieur à cette période.

Certains schémas d'éjection au PS nécessitent 2 shots par cycle. Si chacun de ces deux shots requiert plus de la moitié des modules disponibles, plusieurs modules devront être pulsés deux fois par

cycle ce qui exigera deux recharges de PFN par cycle. Ces deux "batches" devront donc être distants de 30 ms.

La tension atteinte par le banc après sa décharge est de l'ordre de 50% de sa tension initiale. Le banc doit donc être rechargé d'une centaine de Volts (pour ~ 80 kV PFN). La CCU ne peut pas recharger ce banc en 30 ms. Cette recharge dure plus d'une centaine de ms pour un banc d'une vingtaine de mF et un courant de charge CCU de 15 A. C'est pourquoi, il est impératif d'utiliser deux bancs pour certains équipements de kickers. La CCU a donc été conçue pour recharger successivement deux bancs.

Pour les interventions de dépannage, des batches de test supplémentaires ont été associés à chacun des deux batches user. Ces batches permettent le test de l'équipement pendant le temps mort de la machine (NO BEAM). Les warnings user et test étant suffisamment espacés dans le temps, ces deux batches de test pourront utiliser les mêmes bancs que les users associés.

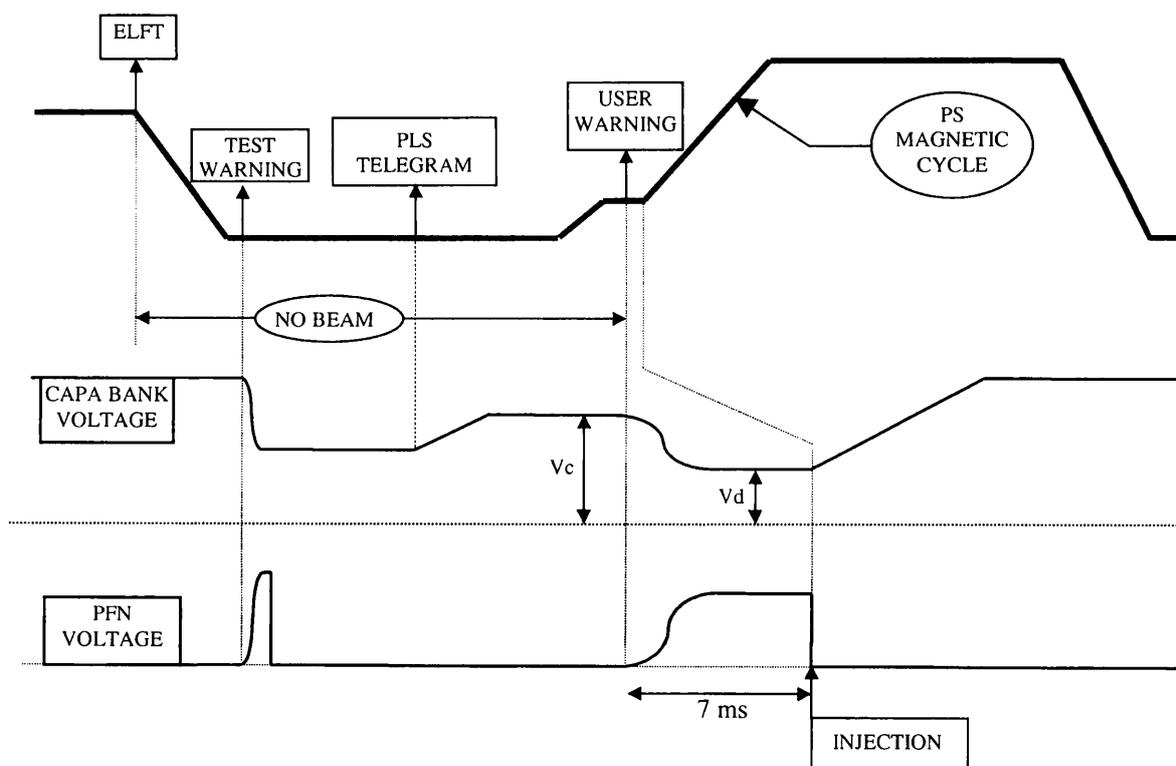


Fig. 2 – Quelques événements concernant un kicker d'injection

Pour la suite, il est utile de consulter la figure 3. C'est une copie de la table de sélection des modules du KFA 71-79 faite au mois d'octobre 1999. Le caractère '#' est mis pour « module sélectionné ». La colonne 'CAP' donne le numéro de banc (le KFA 71-79 dispose de cinq bancs de condensateurs), la colonne 'nbre' indique le nombre de shots par "batches". La colonne «CCV» pour « current control value » est l'amplitude du kick demandé, exprimée en kV équivalents du PFN.

Lors des cycles SPP et SPN, (éjections leptons) les quatre « bunches » de chacun des deux batches ne sont pas éjectés pendant un même tour machine. Ils sont espacés d'environ 100 μ s. Pour chacun des deux « batches », le kicker d'éjection doit donc délivrer 4 shots courts au lieu d'un long. C'est ce que nous appelons une opération « multishots ». Les PFN des modules impliqués sont chargés simultanément.

Cette table assigne une sélection «modules – bancs» pour le cycle AD qui ne se trouve pas dans le supercycle. Cette dernière sélection a pu être maintenue dans l'« equipment module data table » car le supercycle de cette période n'est pas exigeant en ressources «modules – bancs». Il est, en effet, composé de cycles pendant lesquels le KFA 71-79 n'est pas exploité (SFTPRO, EASTA, EASTB).

<u>SUPERCYCLE :</u>													SFTPRO	SFTPRO	EASTA	SFTION	MDLHC	EASTB	SPP	SPN	MESPS			
<u>MODULES SELECTION TABLE</u>																								
USER	BATCH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	CAP	nbr	CCV								
1.AD	A	#	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	4	1	719.9								
5.SFTION	A	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	-	-	5	1	650.0								
7.SPN	A	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	78.5								
	B	-	-	-	-	#	#	#	#	-	-	-	-	1	4	75.6								
8.SPP	A	#	#	#	#	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	75.0								
	B	-	-	-	-	#	#	#	#	-	-	-	-	2	4	73.4								
12.MDLHC	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	#	#	#	4	1	180.0								
18.MESPS	A	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	-	-	3	1	780.0								

Fig. 3 – Table de sélection des modules du KFA 71-79

Avant la rénovation du KFA 45, seul l'équipement kicker KFA 71-79 fonctionnait en mode "pseudo PPM". Cet équipement comporte 12 modules. Chaque module dispose, pour la recharge des bancs, d'une alimentation continue (DCR 300-9B) associée à une charge control unit. Ce système permet de recharger successivement cinq bancs de condensateurs à des tensions contrôlables par l'opérateur. Les bancs sont rechargés immédiatement après leur utilisation et sont donc prêts pour le prochain supercycle. Ce principe évite donc l'utilisation d'un système de recharge rapide. Par contre, il limite le supercycle à cinq éjections à « haute énergie », si on considère que pour cet équipement une « opération haute énergie » est une opération nécessitant plus de la moitié des modules disponibles. De plus, l'opérateur est tenu, à chaque changement de supercycle, de rétablir le « kick off » sur les « users » qui n'interviennent plus dans le nouveau supercycle afin de libérer des ressources pour les nouveaux cycles programmés.

La nouvelle CCU combine les fonctions de la DCR300-9B et de l'ancienne CCU. Cette nouvelle unité est à peu près cinq fois plus rapide que l'ancienne. Elle est capable de recharger un banc après réception du télégramme PLS de début de cycle, soit juste avant l'utilisation de ce banc. Elle permet donc de s'affranchir du supercycle, et autorise a fortiori un fonctionnement en PPM si on respecte certaines conditions qui font l'objet de la section ci-dessous.

Remarquons d'abord que ce que nous appelons le « kick strength » d'un module kicker est proportionnel à l'induction créée par l'aimant dans son entrefer qui est elle-même proportionnelle au courant parcourant l'aimant. Celui-ci est proportionnel à la tension PFN, qui est elle-même proportionnelle à la tension présente sur le banc lors de la charge du PFN, le circuit d'alimentation résonnante étant linéaire.

Notons aussi que les fuites d'un banc chargé sont extrêmement faibles. A tel point que la durée séparant deux cycles machine est négligeable devant la constante de temps associée à ses fuites.

La tension (résiduelle) du banc (atteinte) après décharge est de l'ordre de 50% de sa tension avant la décharge. On ne peut donc pas préparer un banc avec une charge primaire inférieure à ~ 50% de la charge qu'il avait accumulée lors du cycle précédent, à moins d'avoir recours à une des solutions envisagées plus bas.

L'algorithme de sélection des modules est écrit de manière à sélectionner un minimum de modules. Ces derniers travaillent à une tension PFN maximale proche de 80 kV.

Recherche de la tension minimum par module pour un CCV (kick total) donné

Soient

- K = kick total
- V_{max} = tension maximale par module
- N = nombre de modules nécessaires
- V_{mod} = tension par module
- $\beta = V_d/V_c$ (voir fig. 2.)

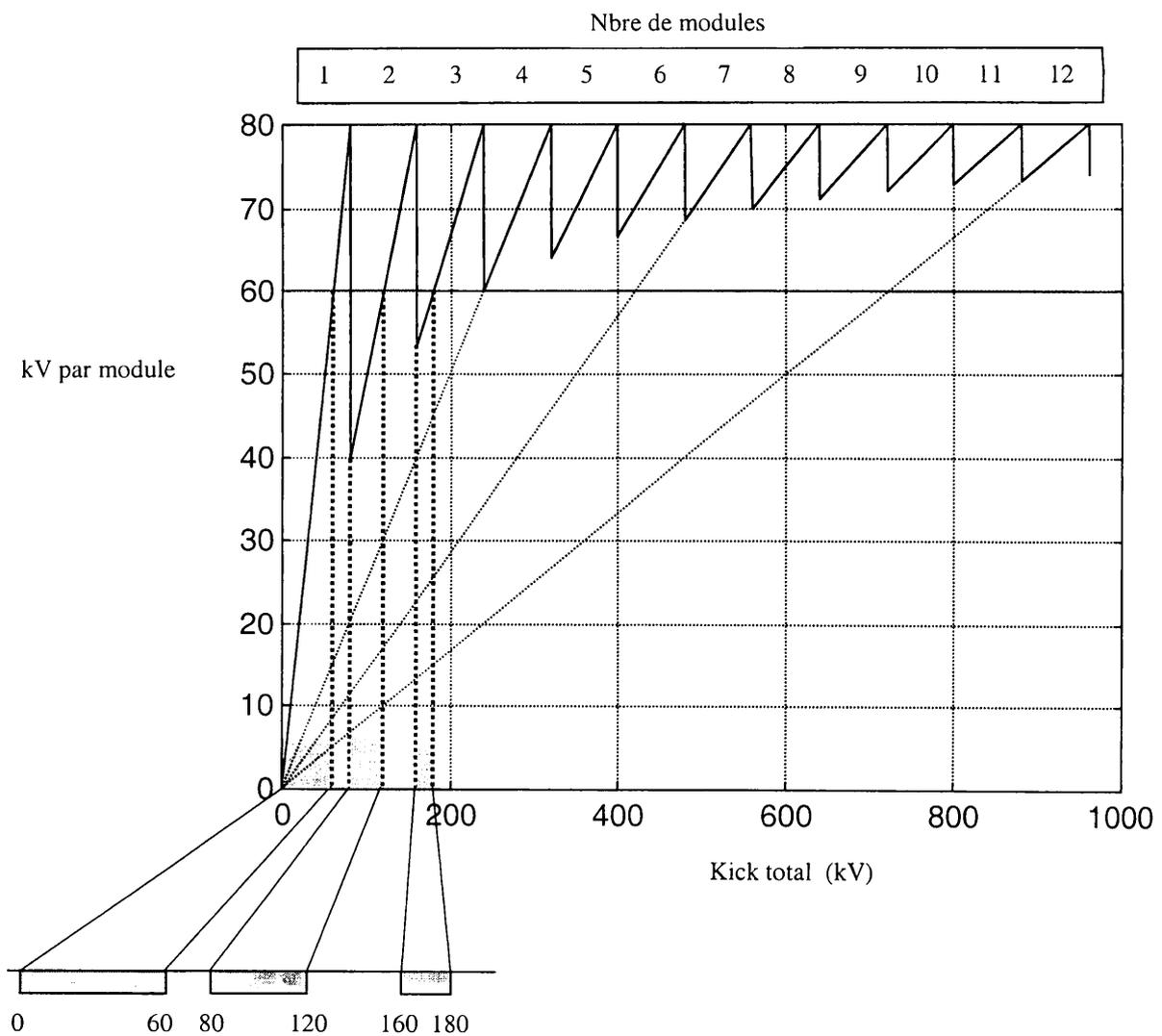


Fig. 4 – V_{mod} en fonction du kick total

L'algorithme de sélection des modules est basé sur la relation suivante,

$$N = 1 + \text{int} (K / V_{\text{max}}) \quad (\text{int} = \text{division entière})$$

donc

$$V_{\text{mod}} = K / N$$

Le graphique de la figure 4 représente $V_{\text{mod}} = f(K)$ pour V_{mod} et K exprimés en kV et pour $V_{\text{max}} = 80$ kV. Cette courbe est une suite de segments de droites passant toutes par l'origine et dont les pentes sont successivement 1, 1/2, 1/3, 1/4 ... à chaque K multiple entier de V_{max} .

Soit un module avec $\beta = 50\%$ utilisé à 80 kV lors du cycle précédent. Les seules valeurs de K susceptibles d'entraîner V_{mod} inférieur à $\beta \times V_{\text{max}}$ sont elles-mêmes inférieures à $\beta \times V_{\text{max}}$ (40 kV). Ces valeurs de K se présenteront uniquement pour des opérations à très basse énergie (< 40kV pour $V_{\text{max}} = 80$ kV) ne requérant qu'un seul module par shot.

$\beta = 62.5\%$, ($\beta \times V_{\text{max}} = 50$ kV) fait apparaître une zone de K située entre 80 et 100 kV interdite à l'opération.

Jusqu'à présent, au PS, Les éjections à basse énergie sont utilisées uniquement pour les leptons et demandent un kick avoisinant soit 75 kV, soit 150 kV, valeurs situées en dehors des zones interdites mentionnées plus haut.

Un problème du même genre peut se présenter si on maintient sur le banc une tension minimum. Ce qui se fait actuellement pour les kickers d'injection KFA 45 pour diminuer le temps de charge, car la durée entre le PLS et l'injection a été raccourcie récemment sans préavis.

Exemple :

- CCV = 100 kV
- V_{min} par module = 60 kV.

Cette opération n'est pas réalisable !

Les zones de K grisées sur la fig. 4 sont, dans ce dernier cas, interdites à l'opération.

Le KFA45 est utilisé pour l'injection des protons ou des ions d'environ 1 GeV/c provenant du Booster. Cette injection nécessite uniquement des CCV compris entre 250 kV et 300 kV.

Diverses solutions pour décharger les bancs sont envisageables.

1. Un kick supplémentaire pendant le temps mort de la machine, à la place du user de test et sans recharge préalable, laisse un banc chargé à $\beta^2 \times$ (tension du banc avant le dernier shot utile).
2. Diminution de la capacité des bancs.
3. Nouvelle CCU à 3 bancs dont un banc réservé aux tensions $V_{\text{mod}} \ll V_{\text{max}}$
4. Décharge résistive des bancs (résistances + IGBT).
5. Réalisation d'un châssis basé sur le même principe que la CCU (alimentation à découpage avec récupération d'énergie par le réseau.)

2. Principe de fonctionnement de la nouvelle CCU

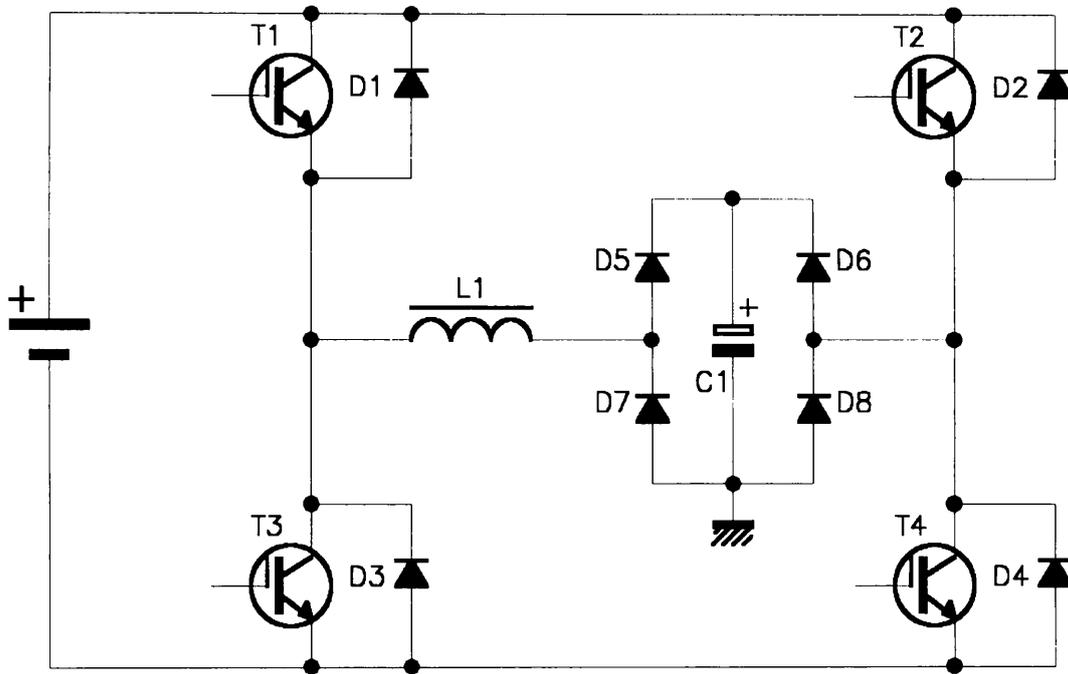


Fig. 5 – Schéma de principe de la nouvelle CCU

Le coeur de la nouvelle CCU est représenté à la figure 5. Il se compose d'un pont de 4 switches shuntés chacun par une diode, d'une self inductance L et d'un pont de diodes (D5 à D8). Le banc de condensateurs est figuré par C . Les switches T1 et T4 sont toujours actionnés simultanément (ainsi que T2 et T3).

Dans le souci de simplifier le circuit équivalent remarquons que pour $C = 20 \text{ mF}$, $L = 200 \mu\text{H}$, la période du circuit oscillant LC est de 12 ms. Pour des temps de fermeture des switches de l'ordre de $10 \mu\text{s}$, la portion de sinusoïde de courant I_L est assimilable à une droite. A ces fréquences, l'impédance du condensateur C est négligeable devant celle de la self. Si $V_C = 0$, le condensateur C peut donc être assimilé à un court-circuit. L'allure du courant $I_L = f(t)$ est donc assimilable à une droite.

Supposons $I_L = 0$ en $t = 0$.

A la fermeture de T1 et de T4, le circuit équivalent devient (voir fig. 6):

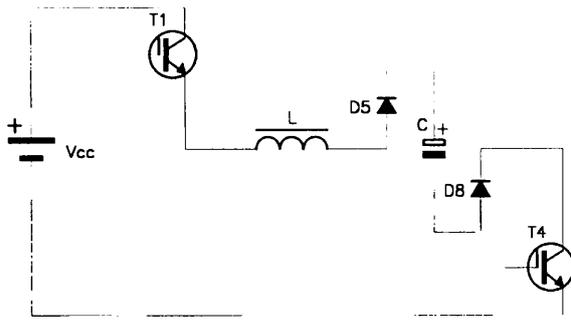


Fig. 6 – $0 < t < t_1$

Entre $t = 0$ et $t = t_1$ (voir aussi diagrammes des courants fig 10 a,b,c), la self voit à ses bornes la tension V_{CC} et on a :

$$dI_L/dt = V_{CC}/L.$$

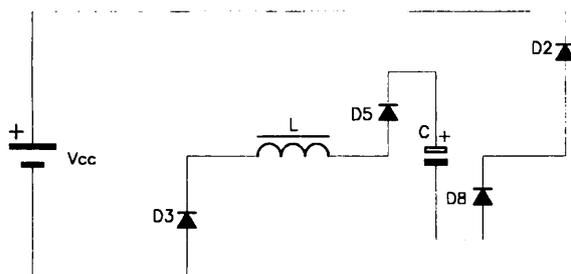


Fig. 7 – $t_1 < t < t_2$

A l'ouverture de T1 et T4, en $t = t_1$, l'énergie accumulée dans la self est renvoyée vers V_{CC} par les diodes D2 et D3. La self voit alors à ses bornes la tension $-V_{CC}$ et on a :

$$dI_L/dt = -V_{CC}/L.$$

Le courant qui avait crû avec une pente V_{CC}/L jusqu'à I_{MAX} décroît maintenant avec une pente $-V_{CC}/L$.

Si nous fermons maintenant T2 et T3 rien ne change puisque D2 et D3 conduisent déjà ($V_L = -V_{CC}$)

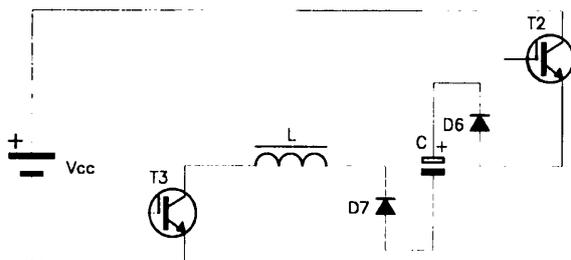


Fig. 8 – $t_2 < t < t_3$

Donc lorsque I_L s'annule, en $t = t_2$, il n'y a plus d'énergie dans la self, mais T2 et T3 étant fermés, la self voit toujours $V_L = -V_{CC}$. I_L continue donc à décroître avec la même pente.

Remarquons que l'alimentation V_{CC} fournit bien un $I > 0$.

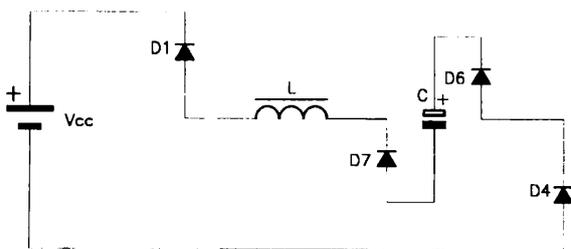


Fig. 9 – $t_3 < t < t_4$

A l'ouverture de T2 et T3, en $t = t_3$, lorsqu'on atteint $I_L = -I_{MAX}$, l'alimentation récupère l'énergie de la self. Les diodes D1 et D4 se mettent donc à conduire. La self voit alors $+V_{CC}$. I_L recommence à croître pour s'annuler.

La fermeture de T1 et T4 ne change pas l'évolution de I_L et prépare le pont pour un nouveau cycle.

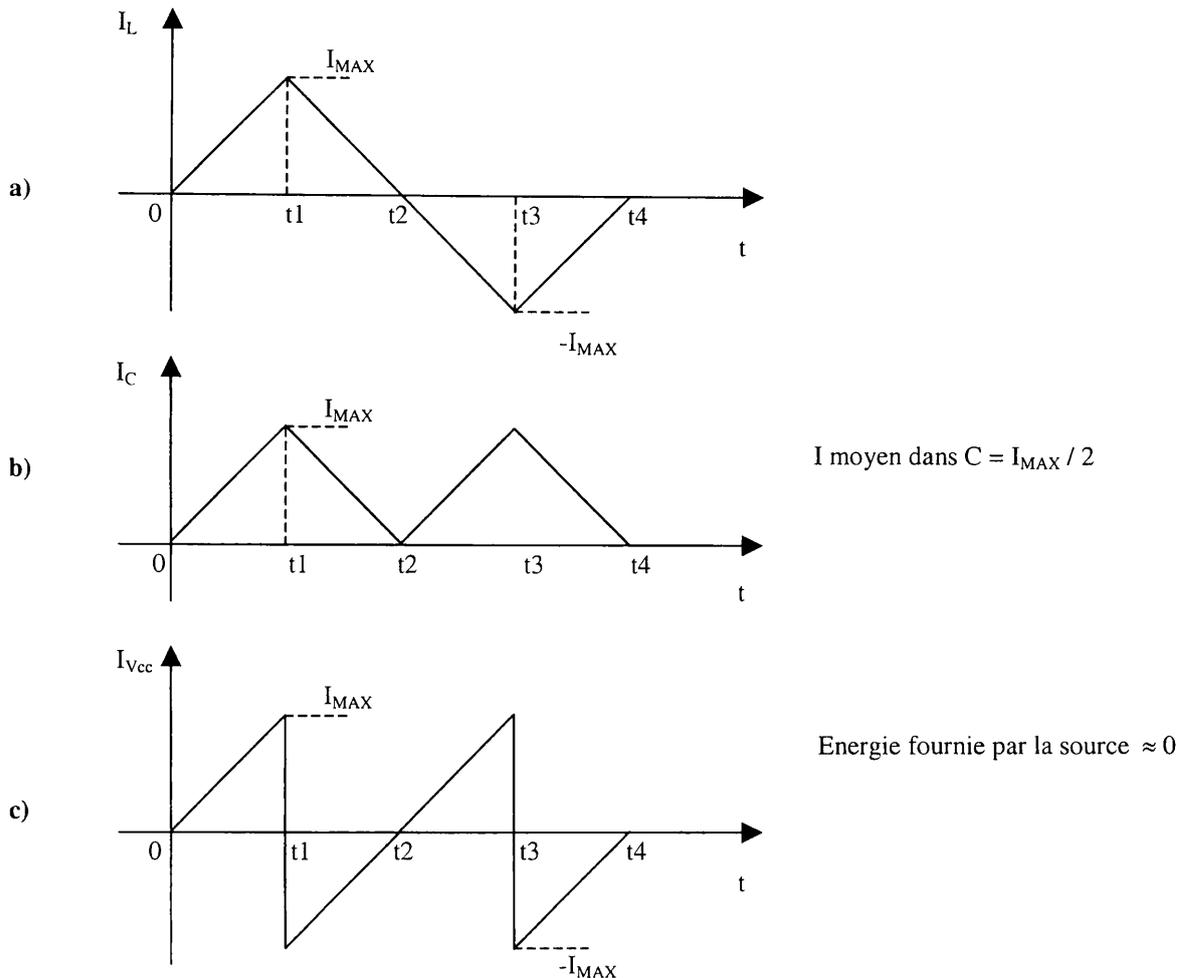


Fig. 10 – Evolution des courants relatifs aux circuits des fig. 6, 7, 8, 9

Remplaçons maintenant le court-circuit par C. Ce condensateur est parcouru par $I_C = |I_L|$ et (voir fig. 10), il accumule alors, au bout d'un cycle, une charge $= I_{\text{MAX}} \times T_{\text{CYCLE}} / 2$. La tension à ses bornes devient $I_{\text{MAX}} \times T_{\text{CYCLE}} / 2$, qui est négligeable devant V_{CC} , ce qui justifie le raisonnement plus haut et les diagrammes de courant de la figure 10. Si nous répétons ce cycle, le condensateur C se charge avec un courant moyen $= I_{\text{MAX}} / 2$.

Supposons maintenant C chargée à V_C . Le condensateur C n'est plus assimilable à un court-circuit, mais à un générateur de tension de faible impédance interne vis-à-vis de L.

Les schémas équivalents, ci-dessous, ont été simplifiés pour ne pas surcharger le dessin. Le pont de diodes n'y est plus représenté, mais son action redresseuse est simulée, sur le dessin, par retournement du condensateur C. Ce condensateur C est à chaque fois représenté de sorte que le courant I_C le traverse toujours dans le même sens (c-à-d. s'écoule vers sa borne +).

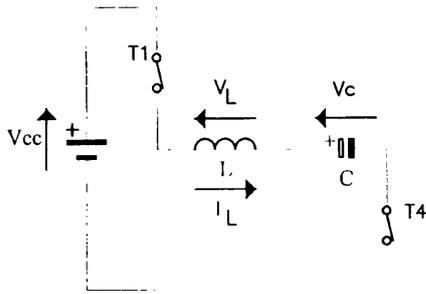


Fig. 11 - $0 < t < t_1$

(Voir aussi diagrammes des courants fig. 15 a ,b ,c)

A la fermeture de T1 et T4, en $t = t_0$, la self accumule de l'énergie.

La tension aux bornes de la self est: $V_{CC} - V_C$ donc

$$dI_L/dt = (V_{CC} - V_C) / L.$$

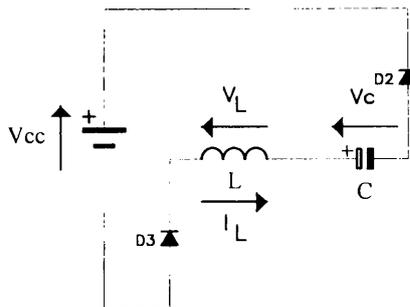


Fig. 12 - $t_1 < t < t_2$

A l'ouverture de T1 et T4, en $t = t_1$, l'énergie accumulée dans la self retourne à la source par D2 et D3. Ces diodes passent à l'état conducteur, la tension aux bornes de la self devient: $(-V_{CC} - V_C)$ donc

$$dI_L/dt = - (V_{CC} + V_C) / L.$$

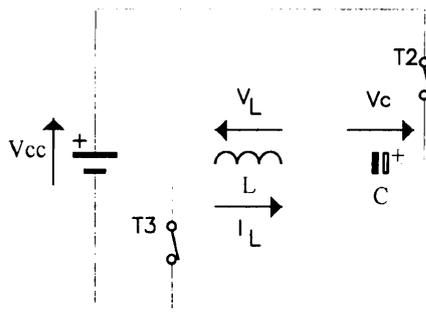


Fig. 13 - $t_2 < t < t_3$

Fermons T2 et T3 avant passage de I_L par 0. Quand I_L se sera annulé, en $t = t_2$, le courant dans L s'inverse, la tension aux bornes de la self = $-(V_{CC} - V_C)$ donc

$$dI_L/dt = - (V_{CC} - V_C) / L.$$

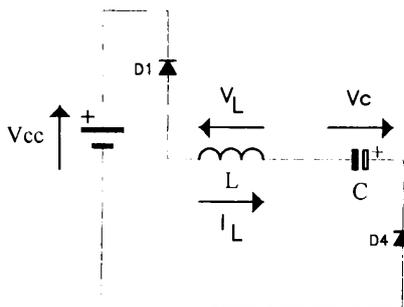


Fig. 14 - $t_3 < t < t_4$

Après ouverture de T2 et T3, en $t = t_3$, D1 et D4 conduisent.

L'énergie accumulée dans la self retourne à la source. La self voit $(V_{CC} + V_C)$ donc

$$dI_L/dt = + (V_{CC} + V_C) / L.$$

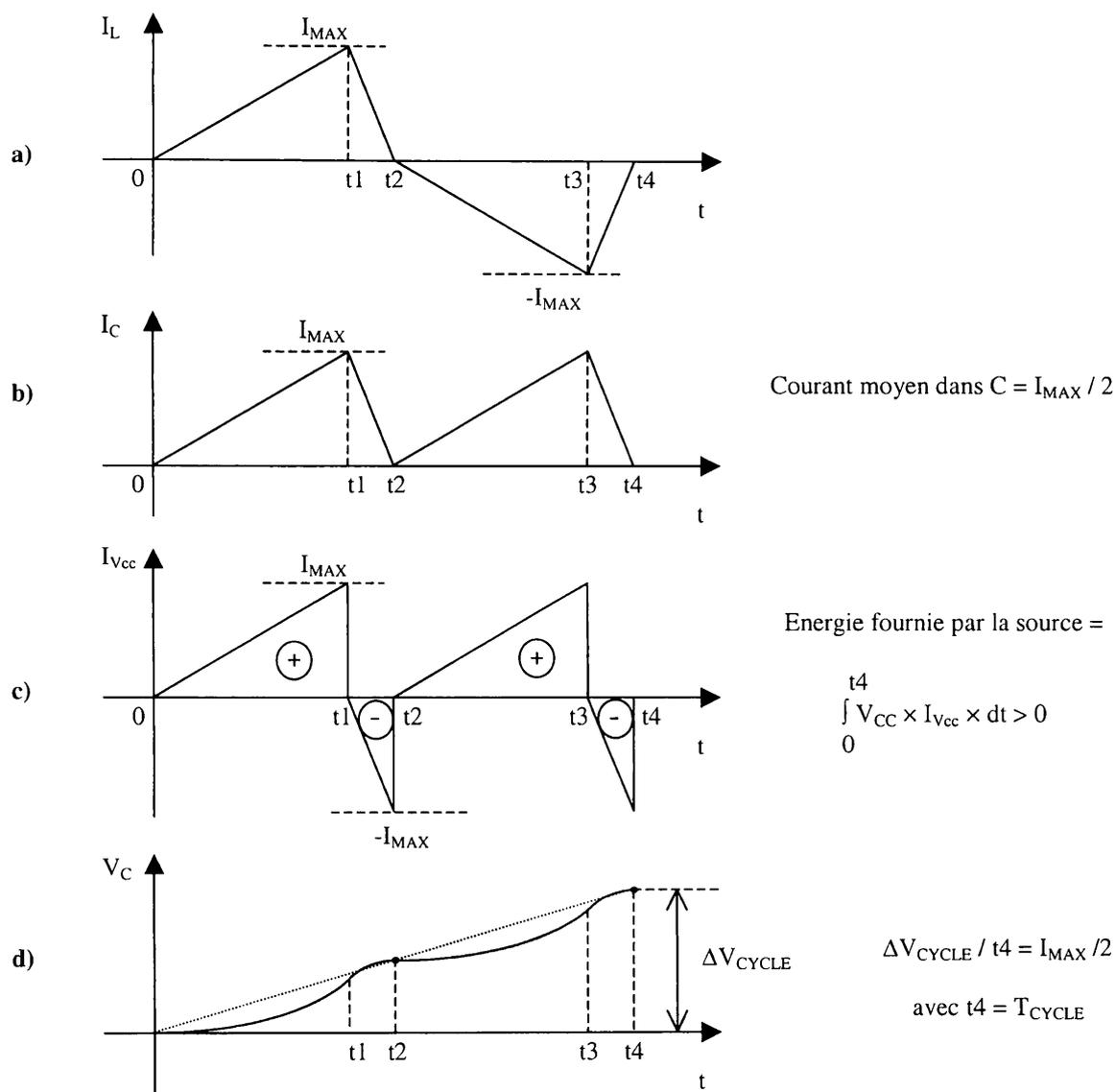


Fig. 15 – Evolution des courants relatifs aux circuits des fig. 11, 12, 13, 14

L'énergie fournie par la source a été accumulée par C. L'énergie accumulée par la self L n'intervient pas dans le bilan puisqu'elle est nulle au bout d'un cycle. Quel que soit V_C et quelle que soit la durée du cycle, le condensateur C accumule la même charge par cycle (voir fig. 15 b et d). Pour des durées de charge $\gg T_{CYCLE}$, la CCU peut être assimilée à un générateur de courant $I = I_{MAX} / 2$.

Remarque: contrairement au cas où $V_C > 0$, l'énergie fournie par la source est ≈ 0 pour $V_C \approx 0$. Ceci s'explique car l'énergie accumulée par $C = C \times (V_C)^2 / 2$ d'où $\Delta E = 2 \times C \times V_C \times \Delta V_C = 0$ pour $V_C = 0$.

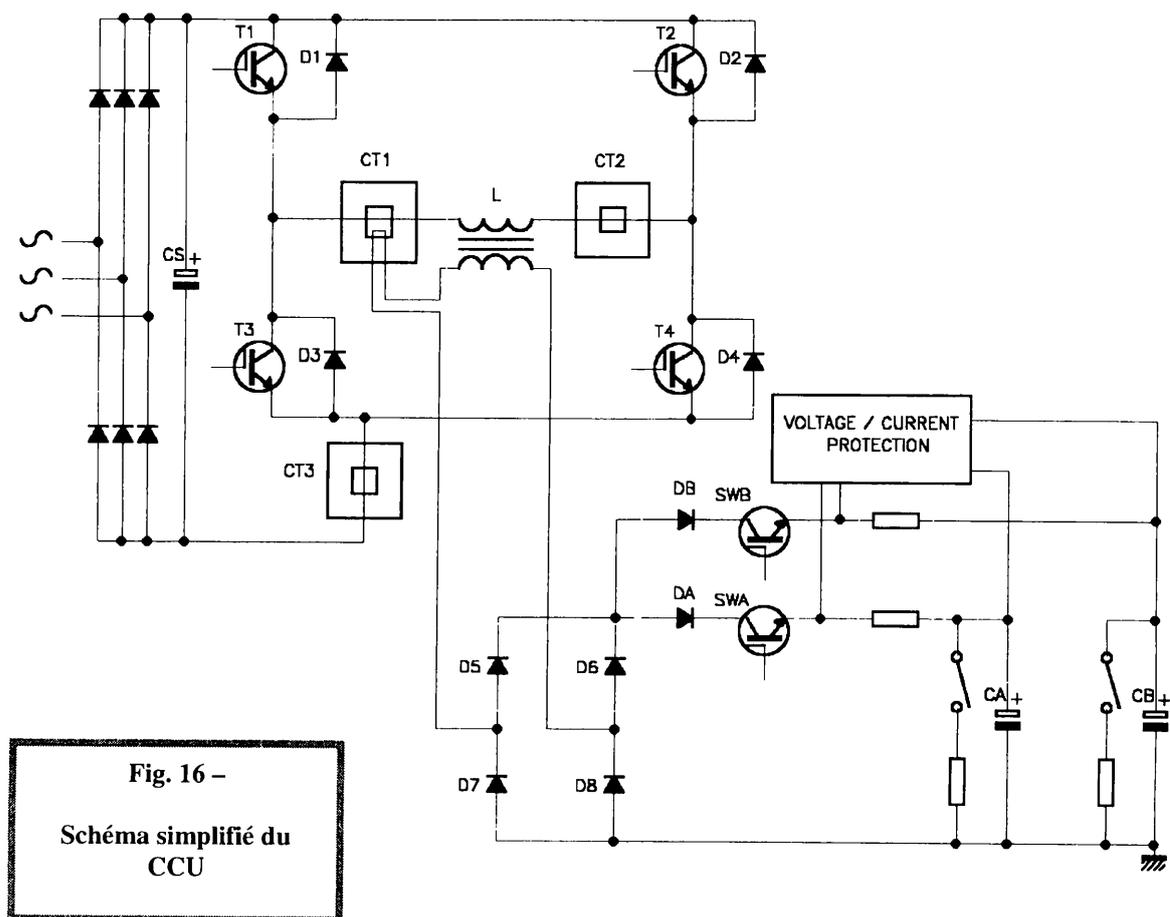
L'incrément d'énergie qu'il faut fournir à un condensateur pour lui ajouter un incrément de charge est directement proportionnel à la charge totale qu'il possède déjà ($Q_C = C \times V_C$).

Remarque importante pour la suite

Il n'y a pas de condensateur en série avec la self L. Ce n'est pas un circuit self-résonnant. Le seul composant qui peut jouer sur la fréquence du pont est la self L. La fréquence de fonctionnement du pont va dépendre de V_{CC} , de V_C et du courant I_{MAX} imposé.

3. Analyse des schémas

La plage de fréquences de fonctionnement du pont a été fixée entre 20 et 25 KHz. Cette fréquence dépend de $V_{CC}-V_C$ (remarque du paragraphe précédent). Elle diminue pour des V_C croissants. Pour la maintenir suffisamment élevée, en fin de charge, il faut $V_{CC} \gg V_C$. C'est pourquoi, (voir fig. 16) V_{CC} est prise entre phases et, pour économiser sur CS, elle est, au surplus, prise entre les 3 phases du réseau. Les bancs de condensateurs sont isolés du réseau 50 Hz par un transformateur monté au milieu du pont. On profite ainsi de la réduction de son volume, puisque la tension qu'il voit à ses bornes varie à la fréquence de fonctionnement du pont. Le couplage de ce transformateur est réduit de sorte que sa self de fuite soit de $200\mu\text{H}$ et joue ainsi le rôle de la self L . Le transformateur n'est pas découplé du continu par un condensateur (remarque du paragraphe précédent). Ce transformateur voit des tensions inverses et symétriques d'égales durées lors d'un cycle puisque les courants max. atteints dans les deux branches du pont sont égaux. Mais la recharge d'un banc nécessite plusieurs milliers de cycles et les causes de dérive du courant magnétisant moyen du transformateur sont nombreuses. Pour maintenir ce transformateur en dehors de la saturation, on a fait appel à une sonde de courant CT1 (basée sur le principe de la compensation du champ magnétique ou méthode du flux magnétique nul) dont la bande passante descend jusqu'au continu. Cette sonde de courant délivre une tension proportionnelle à la différence entre les courants primaire et secondaire du transformateur (pondérés par le rapport des spires de L). Elle fournit donc une tension proportionnelle au courant de magnétisation du transformateur. Cette tension est alors utilisée comme signal d'entrée d'une boucle d'asservissement qui va jouer sur les temps d'ouverture des paires de switches du pont pour maintenir I_{MAGN} autour de zéro. Un autre transformateur de courant, CT2, surveille les courants dans les deux branches du pont pour commander l'ouverture des switches à $I_{\text{MAX}} = 30 \text{ A}$. Un troisième transformateur de courant CT3 est prévu pour la protection en courant des switches. Au secondaire du transformateur d'isolement L , après redressement du courant, on trouve les deux switches SWA et SWB, qui permettent la charge de deux bancs à partir d'un seul pont primaire (voir plus bas).



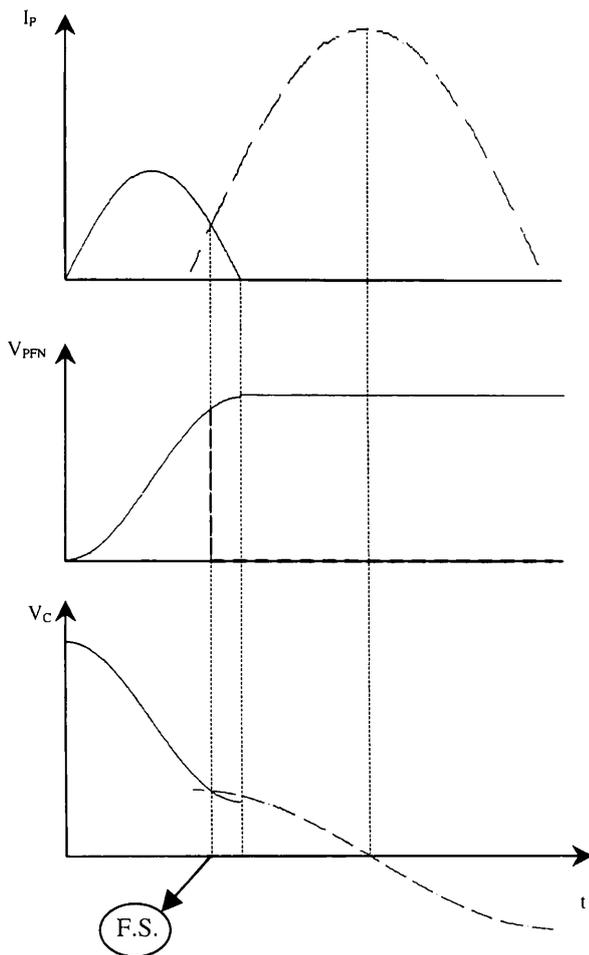


Fig. 17 –
Événement «faulty shot» lors de la charge du PFN

Comme expliqué dans l'introduction, la charge du PFN est une charge résonnante (voir fig.1). C'est un transfert de charge entre le banc de condensateurs primaire et la capacité du PFN par l'intermédiaire de la self de fuite du transformateur haute tension. La résonance prend fin lors de l'inversion du courant I_p (blocage de la diode HT suivi presque immédiatement par le blocage du thyristor (voir fig. 1 et courbe en trait plein des diagrammes fig. 17). Si maintenant, pendant la charge du PFN, le thyatron ne peut plus tenir cette tension PFN, il se met à conduire. Nous appelons ce type de faute « faulty shot » (enclenchement spontané). Lors d'un faulty shot, la capacité du PFN est court-circuitée par le thyatron et la terminaison (négligeable vue du primaire du transformateur HT). Le condensateur primaire ne voit plus que la self de fuite du transformateur. La période de la résonance augmente (courbes en pointillés fig. 17) ainsi que le courant $I_{P_{MAX}}$. Comme pour un circuit oscillant simple (une seule C) la tension sur le banc C s'inverse au moment du passage de I_p par son maximum. Ce type de faute entraîne donc la décharge totale du banc, suivie de sa recharge à une tension négative. (voir diagramme de V_c , fig. 17, où il est supposé que le transformateur HT n'a pas atteint la saturation). A l'instant où la self de fuite du transformateur renvoie son énergie au banc, les diodes du pont redresseur de la CCU se mettent à conduire par le secondaire du transformateur CCU et rien ne s'oppose au passage de ce courant dans la CCU si les switches SWA ou SWB sont fermés. Ceci justifie les protections ajoutées au secondaire du transformateur de la CCU.

Contrôle des switches

Le schéma de la carte de contrôle des switches a pour référence: **PS/KM-E0-604**.

signaux de sortie:

- SW1 vers switch banc A
- SW2 vers switch banc B
- '1+ 4' vers switches 1 et 4 du pont
- '2+ 3' vers switches 2 et 3 du pont

signaux d'entrée:

- UC1 tension sur banc A
- UC2 tension sur banc B
- REF1 référence banc A
- REF2 référence banc B
- SCR inhibit CCU
- I_p courant primaire du transformateur
- I_{MAGN} courant de magnétisation du transformateur
- Contact thermostat dissipateur des switches

Le contrôle des switches est construit autour d'un oscillateur composé d'une porte NAND IC34 et de deux monostables IC35. Sa période d'oscillation est de 150µs. Comme expliqué plus haut, les temps requis pour atteindre I_{MAX} du pont dépendent de la différence $V_{CC}-V_C$. Si celle-ci est trop petite, la durée de fermeture des switches s'allonge au risque d'arriver à la saturation du transformateur et des sondes de courant. Le fait de basculer cet oscillateur avant le moment $I_{PONT} = I_{MAX}$ est une protection supplémentaire en cas de manque de V_{CC} (pratique pour test, permet de travailler à V_{CC} réduite) ou d'un problème de détection I_{MAX} . En fonctionnement normal, le basculement est provoqué lorsque $I_{PONT} = I_{MAX} = 30$ A ou -30 A. A cette fin, on trouve les deux comparateurs IC27 pour $+I_{MAX}$ (ouverture de T1+T4 et fermeture de T2+T3) et IC36 pour $-I_{MAX}$ (ouverture de T2+T3). Ils comparent respectivement les courants de chacune des deux branches du pont à une référence (I_{MAX}) à laquelle est ajoutée le signal de correction nécessaire à l'asservissement de I_{MAGN} du transformateur. La bascule IC39 commande le démarrage et l'arrêt de l'oscillateur. Pour faciliter les tests, l'oscillateur a été conçu de sorte que la branche du pont « T1+T4 » conduise d'abord.

Pour la suite, en rapport avec la régulation des tensions des deux bancs de condensateurs, les IC cités d'abord, concernent la branche de régulation pour le banc A, les numéros donnés entre parenthèses concernent le banc B.

Le démarrage et l'arrêt de l'oscillateur sont contrôlés par les comparateurs «tension référence-tension bancs» construits autour des IC4, 6, 7 et 8 pour le banc A, (IC1, 15, 16, 17 pour le banc B).

Remarque: le facteur d'échelle habituellement affecté à la référence d'entrée est de 10V / 300V (compatibilité avec les alimentations Sorensen).

L'oscillateur de contrôle du pont délivre des cycles complets du pont, ce qui est préférable pour la démagnétisation du transformateur. Les exigences de stabilité des transferts de faisceaux pour le LHC, nous ont amenés à soigner la précision de la CCU. Un cycle complet du pont fournit au banc en fin de charge et pour un I_{MAX} réduit à 10 A, un incrément de tension de l'ordre de 12 mV. Ce qui représente une précision de 1 pour 10.000 pour un banc chargé à 120 V. Quant à la stabilité, elle dépend essentiellement du diviseur d'entrée de V_C , des amplis de différence et des comparateurs cités plus haut. Ce qui précède justifie l'amplificateur de différence de gain 1000, IC6 et IC7 (IC15 et IC16) précédant la comparaison IC7, IC8 (IC16, IC17), ainsi que l'ampli à limitation IC9C, IC9D (IC9A, IC9B). Remarquons que l'incrément de tension apporté sur le banc diminue avec le carré de I_{MAX} . IC9 délivre une tension de comparaison correspondant aux 30 A de I_{MAX} aux comparateurs IC27 et IC36. Cette tension est progressivement réduite jusqu'à un minimum ajustable (ajustables I_{Pmin} P1 et P7 près de IC9) à partir du moment où la tension sur le banc sera à 600 mV de la tension désirée (voir fig. 18). Après utilisation d'un banc, sa recharge s'effectue immédiatement pour le préparer au shot suivant. Cette recharge dure ~100ms. Après cette période la CCU doit uniquement compenser les pertes de charges dues au courant de fuite du banc. Elle délivre, dans ce but, des cycles uniques du pont espacés d'environ 1ms (selon les fuites) avec un I_{MAX} réduit. Afin de ne pas perturber la recharge du banc qui vient d'être utilisé, (recharge considérée comme prioritaire pour le moment), on inhibe la compensation des fuites de l'autre banc. C'est la fonction des IC18,19,23,24. Tous les autres cas sont permis (remarque paragraphe suivant).

Les IC2, 3, 30 protègent la CCU contre les tensions négatives du banc.

IC33 inhibe le fonctionnement pendant 10 s lors du « power on » pour permettre la charge de CS.

IC39 inhibe la CCU dans le cas d'une surtempérature du dissipateur des semi-conducteurs du pont.

IC28 et 29 ont été prévus pour inhiber la CCU pendant une durée fixée a priori (ex: après un warning).

Les switches utilisés sont des IGBT du type BUP307 (Siemens), les diodes: BYP302 (Siemens). Remarquons aussi les deux diodes DA et DB qui empêchent la décharge d'un banc dans l'autre.

Références (section kickers) + numéros de jobs (bureau d'études) des dessins

Pont de switches:	PS-KM-E0-607	J24636
Pont redresseur:	PS-KM-E0-608	J24637
Carte de contrôle:	PS/KM-E0-604	J24476
Alimentations auxiliaires:	PS-KM-E0-602	J24477
Drivers des switches du pont:	PS-KM-E0-601	J24479
Drivers des switches de sortie:	PS-KM-E0-603	J24478

Application particulière

Un minimum de modification de ce châssis CCU, nous a permis de l'utiliser pour une alimentation d'un autre type que celui des kickers (Booster Ejection Dipoles BE.BSW's). La tension requise sur le banc y est de 500V, avec comme conséquence, des tensions $V_{CC}-V_C$ insuffisantes en fin de charge. Il suffit alors de modifier le rapport des spires du transformateur d'isolation L de la CCU pour que le pont ne voie plus sur le banc que $V_C / 2$. Le courant moyen de charge I_C est alors réduit de moitié (7.5 A). Le nombre de spires du courant secondaire passant dans le transformateur de mesure de I_{MAGN} a été doublé ainsi que la valeur de la résistance de tête du diviseur d'entrée (R2 à R6). (Schéma PS-KM-E0-644 / Job Nr. J24655).

Remarque pour les éventuels utilisateurs

Pour dissiper tout malentendu, il convient de revenir sur le principe de la recharge de deux bancs. Il est évident, après lecture de ce qui précède, que la CCU n'est pas composée de deux alimentations de bancs de condensateurs séparées. Cette recharge ne sera simultanée pour les deux bancs, que dans certains cas. Le cas le plus simple: à l'allumage de la CCU, si les deux bancs ont la même référence. Dans ces conditions, les bancs sont rechargés ensemble même lorsqu'ils seront à 600mV de leur référence. La CCU verra un banc équivalent à ces deux condensateurs et débitera toujours son courant moyen I_C . Donc chacun des bancs sera chargé avec un courant moyen $I_C / 2$. A la figure 19, le banc A se recharge suite à un warning A, mais 30 msec après, au temps $t = WB$ (warning B), les deux bancs continuent leur recharge ensemble, jusqu'à ce qu'un des deux (ici A) ait atteint sa référence. Notons l'action de la diode DA (fig. 16).

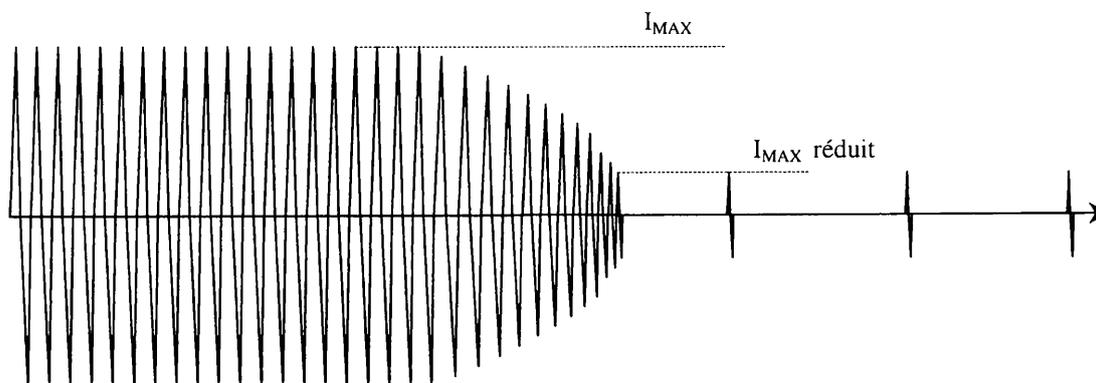


Fig. 18 – Allure du courant I_L en fin de charge

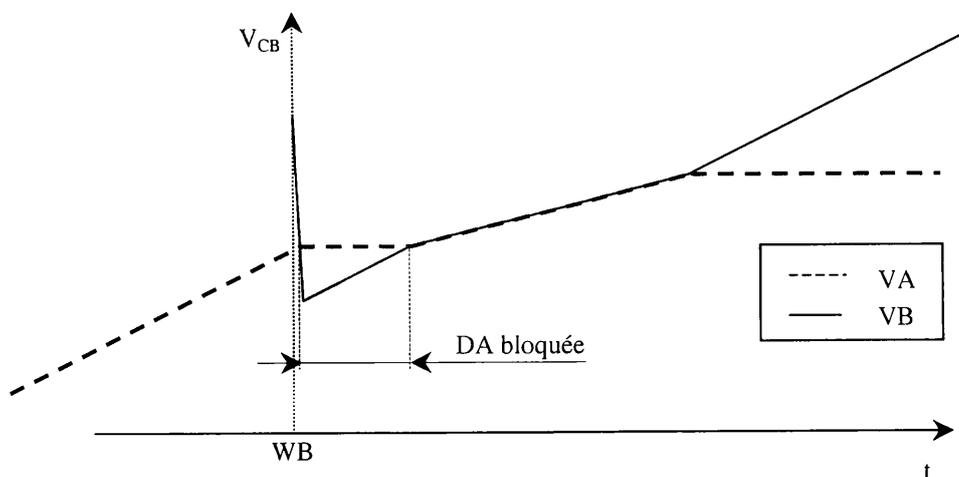


Fig. 19 – Exemple de recharge sur deux bancs

Remerciements

Nous remercions vivement Bernard BORNAND pour l'aide précieuse qu'il nous a accordée lors de la réalisation des prototypes CCU ainsi que pour le soin qu'il a apporté à la mise au point d'une trentaine de ces châssis CCU.

Distribution

Section PS/CA/KM
Jean-Pierre RIUNAUD