



## (12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 35578 B1** (51) Cl. internationale : **H02M 1/40**

(43) Date de publication :  
**01.11.2014**

---

(21) N° Dépôt :  
**35793**

(22) Date de Dépôt :  
**02.04.2013**

(71) Demandeur(s) :  
**BOUKHEROUAA JAMAL, RESIDENCE VALROSE PORTE E, BD EMILE ZOLA  
CASABLANCA (MA)**

(72) Inventeur(s) :  
**BOUKHEROUAA JAMAL**

(74) Mandataire :  
**BOUKHEROUAA JAMAL**

---

(54) Titre : **SYSTEME DE DEPOLLUTION DES ALIMENTATIONS EN ENERGIE  
ELECTRIQUE CONTINUE HAUTE FREQUENCE**

(57) Abrégé : Ce brevet d'invention est le résultat des travaux de recherches que nous avons faits sur la compatibilité électromagnétique dans les alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence. Travaux qui ont abouti à la réalisation d'un système très efficace de dépollution vis-à-vis des perturbations CEM dans ce type d'alimentations en énergie électrique continue. Dans ce brevet on met en évidence, d'une part, la problématique des parasites injectés au réseau et des perturbations électromagnétiques CEM dans les alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence ; ceci, a travers un prototype réalisé avec des caractéristiques et un cahier de charges typique haute fréquence. D'autre part, on apporte des solutions techniques concrètes à cette problématique dans ce cas précis d'application haute fréquence (au delà du MHz). Nous avons fait ces démarches à travers des prototypes concrets, que nous avons conçus et réalisés, et des essais expérimentaux réels que nous avons effectués sur une plateforme normalisée de test complet de conformité vis à vis des normes internationales en vigueur.

*Brevet d'invention déposé par :  
Mr. BOUKHEROUAA Jamal*

**SYSTEME DE DEPOLLUTION**  
**DES ALIMENTATIONS EN ENERGIE ELECTRIQUE CONTINUE**  
**HAUTE FREQUENCE**

**Abrégé du contenu technique de l'invention :**

Ce brevet d'invention est le résultat des travaux de recherches que nous avons faits sur la compatibilité électromagnétique dans les alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence. Travaux qui ont abouti à la réalisation d'un système très efficace de dépollution vis-à-vis des perturbations CEM dans ce type d'alimentations en énergie électrique continue.

Dans ce brevet on met en évidence, d'une part, la problématique des parasites injectés au réseau et des perturbations électromagnétiques CEM dans les alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence ; ceci, à travers un prototype réalisé avec des caractéristiques et un cahier de charges typique haute fréquence. D'autre part, on apporte des solutions techniques concrètes à cette problématique dans ce cas précis d'application haute fréquence (au delà du MHz).

Nous avons fait ces démarches à travers des prototypes concrets, que nous avons conçus et réalisés, et des essais expérimentaux réels que nous avons effectués sur une plateforme normalisée de test complet de conformité vis à vis des normes internationales en vigueur.

Les harmoniques injectés au réseau par les appareils polluants, les pics de courant et de tensions, les courants perturbateurs ainsi que les champs rayonnés causés par ces courants portent un grand préjudice à l'environnement dans lequel sont utilisés ces appareils.

Des normes internationales ont alors été instaurées pour contrôler et limiter ces perturbations électromagnétiques. Tout constructeur est donc tenu de respecter ces normes pour que son produit puisse être mis sur le marché. Ainsi, les perturbations électromagnétiques CEM ont été, depuis longtemps, l'objet de plusieurs travaux de recherches et ont soulevé de nombreuses questions quant à leurs causes, leurs conséquences et leurs manifestations.

Ce travail ne se veut guère être un supplément d'investigation dans ce sens, mais plutôt une contribution concrète pour apporter des solutions à la problématique des parasites injectés au réseau et des rayonnements néfastes causés par les systèmes industriels sources de perturbations conduites et rayonnées.

Ainsi, dans ce brevet d'invention, on s'est intéressé aux perturbations électromagnétiques dans les alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence de façon à permettre à ces alimentations perturbatrices d'être conformes aux normes même au delà du MHz.

Plusieurs efforts ont donc été consentis pour mettre au point des filtres et des techniques appropriées pour équiper les appareils industriels polluants. Toutefois, les techniques et les moyens développés pour rendre ces systèmes conformes aux normes, ne constituent pas des solutions standard et universelles. Selon la nature des appareils, les composants qui les constituent, les fonctions réalisées et les conditions d'utilisation, les problèmes et les manifestations des perturbations seront différentes ; il en sera donc de même concernant les solutions pour y remédier.

Dans le domaine des alimentations à découpage, l'utilisation du principe de la résonance, nous permet de rester à l'abri des effets pervers des perturbations électromagnétiques. Ceci, grâce aux courants quasiment sinusoïdaux véhiculés dans ce type de convertisseurs peu polluants. Par contre, l'utilisation de la commutation forcée génère des pics très importants et des signaux très riches en harmoniques ; et plus la fréquence augmente, plus ces problèmes persistent et prennent de l'ampleur.

Les perturbations électromagnétiques sont devenues donc un frein et une limite évidente pour monter en fréquence dans les alimentations à découpage à commutation forcée. Fabriquer des alimentations de ce type à quelques centaines de KHz est devenu une mission très délicate ; alors que dépasser le MHz devient quasiment impossible à cause essentiellement de cette contrainte.

Pour mettre en évidence l'état antérieur vis-à-vis des perturbations électromagnétiques dans les alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence, nous avons réalisé un prototype fonctionnant à une fréquence de 1,1MHz (figure 1). Ce prototype est réalisé avec des caractéristiques techniques et un cahier de charges typiques hautes fréquences de façon à ce qu'il soit fidèlement représentatif de ce qui existe actuellement. Il répond à toutes les exigences en domaine d'alimentations et a montré qu'il possède quasiment toutes les qualités techniques et industrielles requises. En effet, nous avons fait avec ce prototype plusieurs essais dont les résultats expérimentaux ont été très concluant et ont montré qu'on peut utiliser les alimentations à découpage à commutation forcée aux hautes fréquences, même au delà du MHz ; mais cela reste tributaire du test de conformité vis-à-vis des normes en domaine de perturbations électromagnétiques.

La fréquence choisie ici constitue une fréquence très élevée en domaine d'alimentation à découpage à commutation forcée si on la compare aux alimentations à découpage classiques qui fonctionnent à quelques dizaines de KHz (à titre d'exemple : 50KHz pour les alimentations des PC), et aux alimentations HF qui fonctionnent à quelques centaines de KHz. Ceci, afin de bien mettre en exergue ce point faible majeur de ce type d'alimentation.

Pour quantifier les perturbations CEM, nous avons donc fait le test, dans un premier temps, sans utilisation de notre système de déparasitage. Ce test est réalisé avec une plate forme d'essais normalisée. Cette plate forme contient entre autres : un analyseur de spectres, un réseau de stabilisation d'impédance en ligne RSIL (filtre en  $\pi$  qui permet d'isoler l'appareil sous test des perturbations existantes dans le réseau et inversement) et des récepteurs de mesures CEM (sonde de tension, pince de courant, pince glissière et pince absorbante pour la mesure de la puissance perturbatrice). L'ensemble de ces instruments est piloté par un logiciel spécialisé Rhodes and Schwartz EM32. Les résultats expérimentaux sont présentés sur le graphe figure 2.

Comme nous l'avons prévu, les parasites renvoyés au réseau sont très importants et dépassent largement les normes en vigueur ; ici le test est fait par rapport à la norme internationale I1210. Les dépassements s'étalent sur toutes les fréquences de balayage du test (50KHz à 30MHz) et concernent tous les rangs d'harmoniques, avec des écarts très importants vis-à-vis de la limite quasi-crête comme pour la limite en valeur moyenne.

La déduction essentielle de cet essai CEM, est qu'il est impossible d'obtenir la conformité en commutation forcée haute fréquence avec une conception classique des alimentations à découpage telles qu'elles sont réalisées actuellement, vu le niveau très important des perturbations conduites. Ceci, même si on arrive à obtenir des résultats intéressants sur les autres tests qui définissent les qualités techniques et industrielles en domaine d'alimentation. D'ailleurs, nous avons réalisé auparavant un dispositif qui a permis la réduction de ces perturbations de façon à respecter partiellement les normes. Malheureusement, il s'avère que, d'un coté, ce dispositif n'inclue ni l'immunisation externe ni le déparasitage mode commun ; et d'un autre cote, il ne respecte pas la limite quasi-crête de la norme I1210 (seule la limite en valeur moyenne est respectée). L'absence d'immunisation externe, dans ce dispositif, signifie que l'appareil n'est protégé que contre sa propre pollution. Il reste alors très vulnérable à toute perturbation conduite ou rayonnée venant de son environnement. Les tests, avec ce dispositif, devaient se faire obligatoirement en milieu propre (en CEM) ; et les résultats sont relevés avec déduction par le logiciel des perturbations existantes dans le réseau électrique.

Dans ce brevet d'invention, nous présentons donc un système de dépollution complète vis à vis des perturbations électromagnétiques CEM dans les alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence. Nous avons réalisé, pour cela, un nouveau dispositif qui permet :

- d'éliminer la propagation des perturbations en mode différentiel (en plus des perturbations en mode commun),
- d'avoir l'immunisation externe (en plus de l'immunisation interne existante),
- et de respecter la limite quasi-crête de la norme internationale I1210 (en plus de la limite en valeur moyenne).

Les alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence sont considérées comme des appareils perturbateurs potentiels. Il faut donc les immuniser face à la propagation des perturbations en mode commun et surtout celles en mode différentiel.

En mode commun, ces alimentations se comportent comme une spire fermée dans laquelle les courants perturbateurs sont emprisonnés et circulent en boucle sans aucune échappatoire. La seule issue pour ces courants est modélisée par les capacités équivalentes par rapport à la terre des composants de puissance montés sur des radiateurs. Les perturbations conduites et rayonnées prennent alors beaucoup d'ampleur.

En mode différentiel, la solution présentée ici consiste à annuler l'effet résultant des courants rentrants et sortants en rapprochant les trajectoires de ces deux courants (considérés ici égaux). La mise en application de cette solution reste délicate et laborieuse.

Tenant compte de ces différentes contraintes, dans le système réalisé, nous avons fait des investigations sur plusieurs niveaux :

1/ Nous avons apporté une attention particulière au routage de la carte (figures 6 et 7) pour tenir compte des différentes consignes de limitation de la propagation des perturbations en mode différentiel : proximité, trajectoires, longueurs et épaisseurs des pistes ; en plus des plans de perçage (figure 8) et soudures qui peuvent jouer un rôle d'antenne ou de capacités de fuites s'ils ne sont pas bien conçus.

2/ Nous avons implanté, dans le système réalisé, des filtres de déparasitage (figure3) au primaire et au secondaire de l'alimentation. Ces filtres jouent le rôle de supresseurs mode commun. Ce sont des tores à double selfs : l'une placée sur le fil+ de l'alimentation et l'autre sur le fil- ; toutes les 2 sont reliées à la terre à travers des condensateurs. On réalise ainsi des filtres passe-bas du second ordre par rapport à la terre. Ces filtres permettent de dévier vers la terre les courants perturbateurs générés par notre prototype.

Ils sont calculés après localisation des fréquences des harmoniques polluants par l'analyseur de spectres. Ensuite, la simulation permet de vérifier l'efficacité des filtres dimensionnés.

3/ Nous avons recalculé et redimensionné les filtres d'entrée et de sortie ainsi que les circuits d'aide à la commutation CALC de façon à éviter au maximum les pointes de courant et de tension qui sont l'une des principales sources de perturbations électromagnétiques (des essais de simulation avec le logiciel POWER4 de Ridley Ingenering nous ont aidé dans ces différentes démarches et nous ont confirmé la réduction des pics perturbateurs).

Cependant, l'utilisation de ces CALC ralentit la commutation des composants de puissance et nous limite dans la montée en fréquence ; mais ces circuits se sont relevés indispensables pour atténuer les pics sévères causés par la commutation forcée haute fréquence des interrupteurs électroniques.

En ce qui concerne l'immunisation externe, les alimentations à découpage sont considérées non seulement comme élément perturbateur, mais aussi comme victimes des perturbations externes. Pour cela, nous avons emballé notre prototype dans un boîtier métallique avec des câbles blindés en entrée et en sortie. Le blindage est relié à la carcasse métallique de l'appareil et à la terre. Les courants perturbateurs externes sont donc déviés vers la terre à travers le boîtier. Ces courants passent donc d'une façon superficielle sur le prototype sans y pénétrer.

Au cas où des courants perturbateurs coriaces parviennent à franchir ce premier barrage d'immunisation externe, ils vont trouver à leur accueil, et dès l'entrée de l'alimentation, sur chaque fil un condensateur relié à la masse (figure3) pour piéger ces courants et les dévier vers la terre. Ceci est faisable dans notre cas puisqu'il est possible de différencier la fréquence des courants perturbateurs de la fréquence des courants utiles (entrée continue).

Avec ce nouveau système de dépollution des alimentations à découpage à commutation forcée haute fréquence réalisé, nous avons fait des essais de test de conformité électromagnétique CEM. Le système inclut, cette fois, toutes les techniques d'immunisations interne et externe présentées dans le paragraphe précédent, en plus des solutions de limitations des perturbations en mode commun et en mode différentiel. Le test est réalisé avec la plateforme normalisée d'essais CEM (analyseur de spectres, réseau de stabilisation d'impédance en ligne RSIL, récepteurs de mesures CEM et logiciel de pilotage). Les résultats sont présentes en figure 4 ; cette fois avec la limite quasi-crête de la norme I 1210 et dans un milieu pollué très riches en parasites CEM et sans déduction des perturbations existantes dans le réseau électrique.

Nous pouvons donc déduire de cet essai expérimental, effectué sur le prototype réalisé, que les normes internationales de conformité CEM sont complètement respectées. En effet, les perturbations injectées au réseau sont inférieures à la limite fixée par la norme CE I1210 régissant ce domaine ; ceci pour toutes les fréquences de balayage du test (50KHz à 30MHz) et pour toutes les consignes sans restriction.

On peut donc en conclure que les techniques, proposées dans ce brevet d'invention, pour pallier le problème des perturbations CEM dans les alimentations à découpage à commutation forcée, sont efficaces et fiables même aux hautes fréquences et quelle que soit l'application industrielle qu'on peut être amené à faire avec ce type d'alimentation ; ce qui peut permettre à ces appareils de conquérir le champ des hautes fréquences tout en restant entièrement conformes aux normes.

## REVENDICATIONS

1. Système de dépollution des perturbations électromagnétiques dans les alimentations en énergie électrique continue haute fréquence, caractérisé par sa grande efficacité même au delà du MHz.
2. Système, suivant la revendication 1, qui permet l'immunisation interne et l'immunisation externe contre les déchets harmoniques et les parasites rentrants et sortants vis-à-vis du réseau électrique.
3. Système, suivant la revendication 1, muni d'un filtrage des propagations des perturbations en mode commun et en mode différentiel.
4. Système, suivant les revendications 1 et 2, qui permet de respecter les normes CEM en vigueur aussi bien pour la limite en valeur moyenne que la limite en quasi-crête.



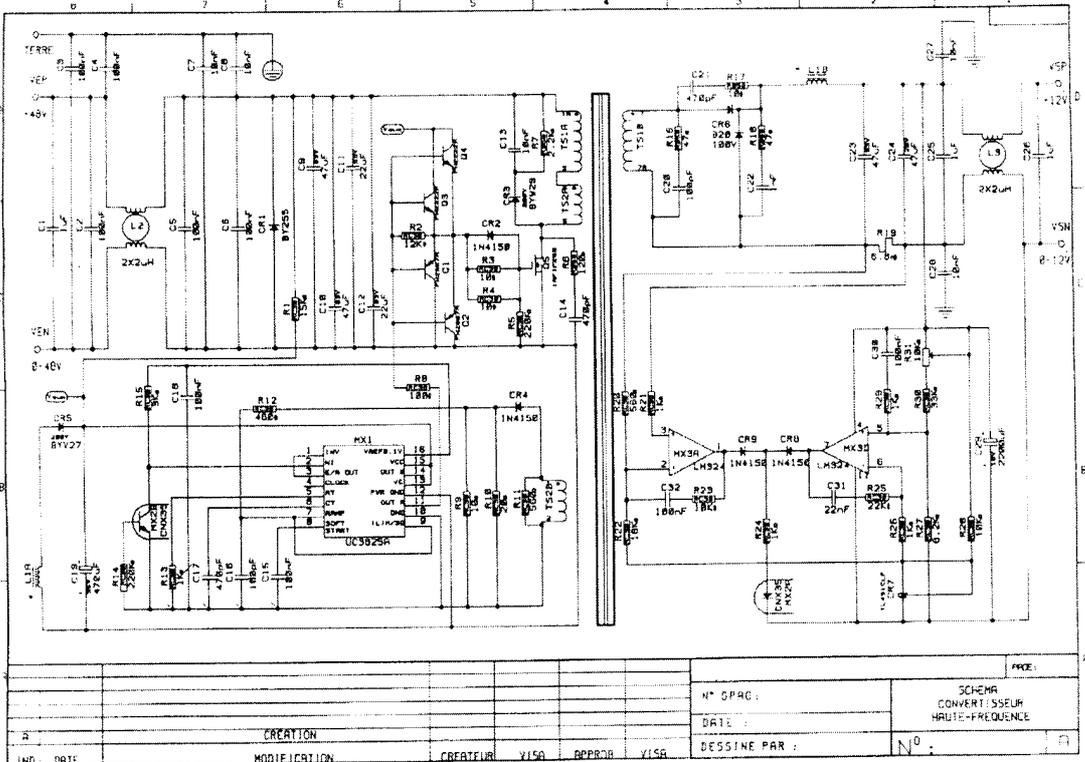


Figure 3

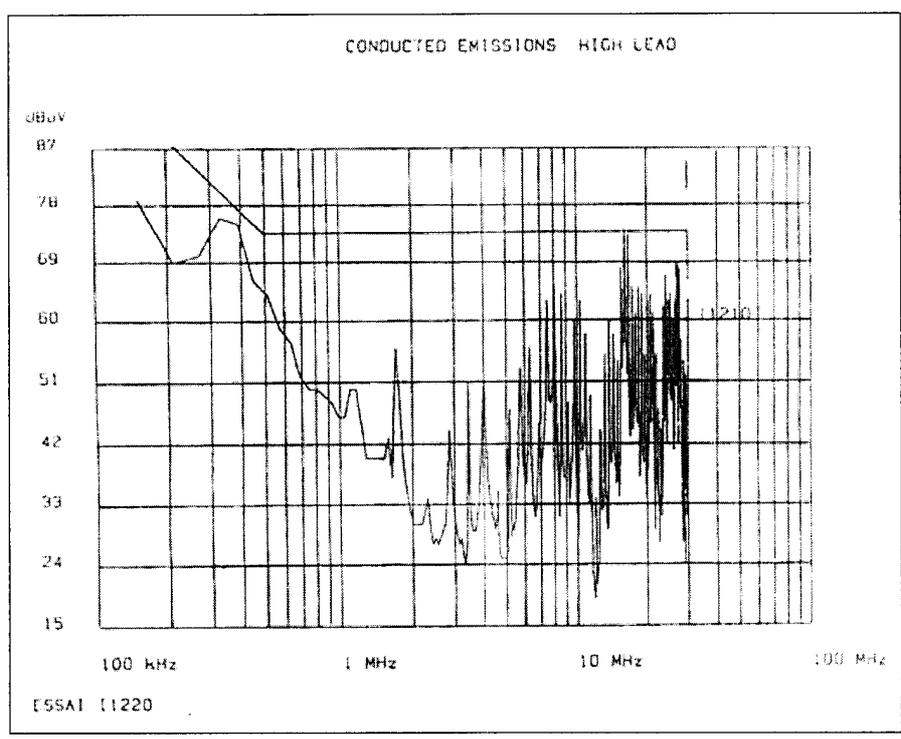


Figure 4



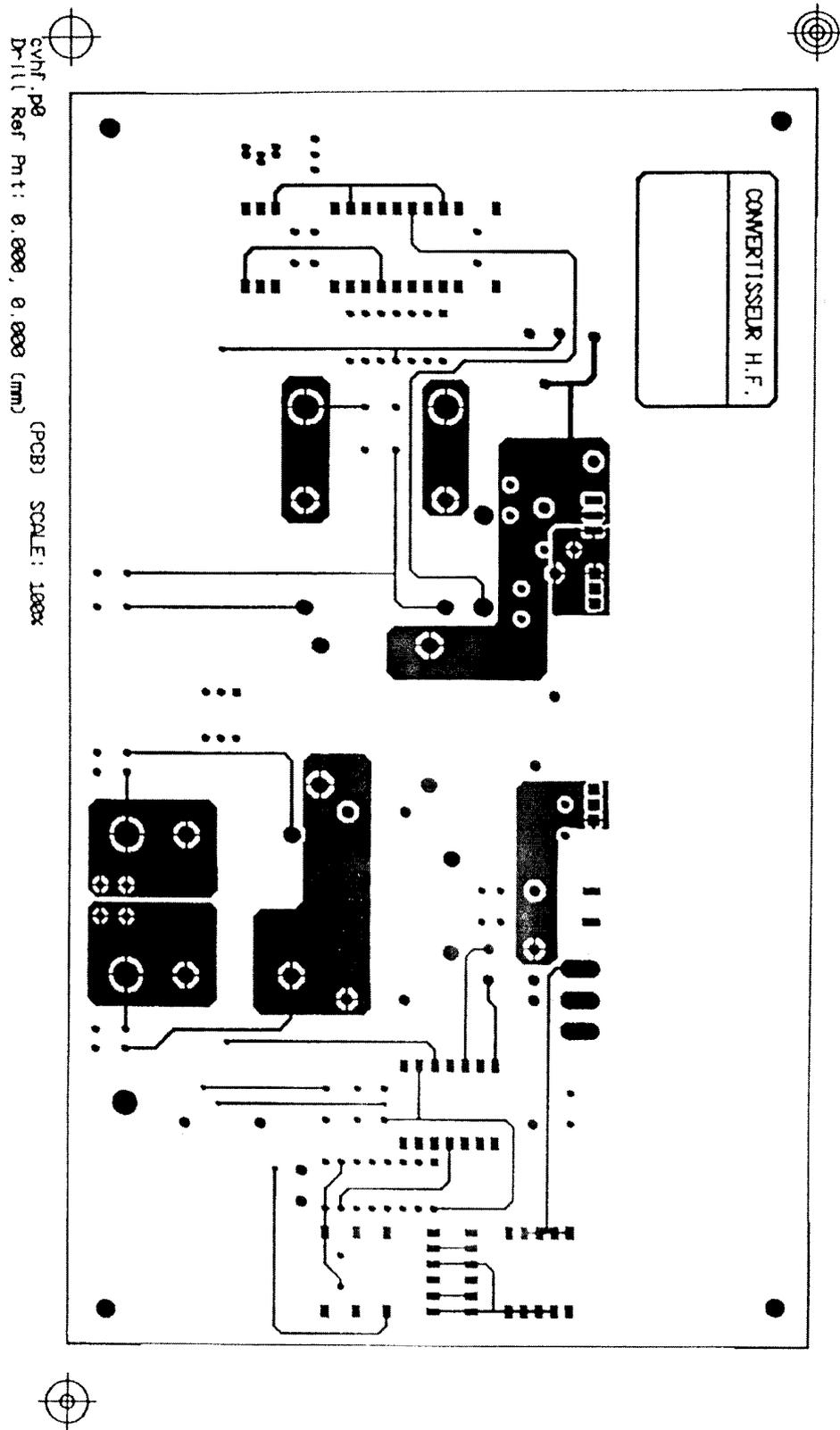


Figure 6

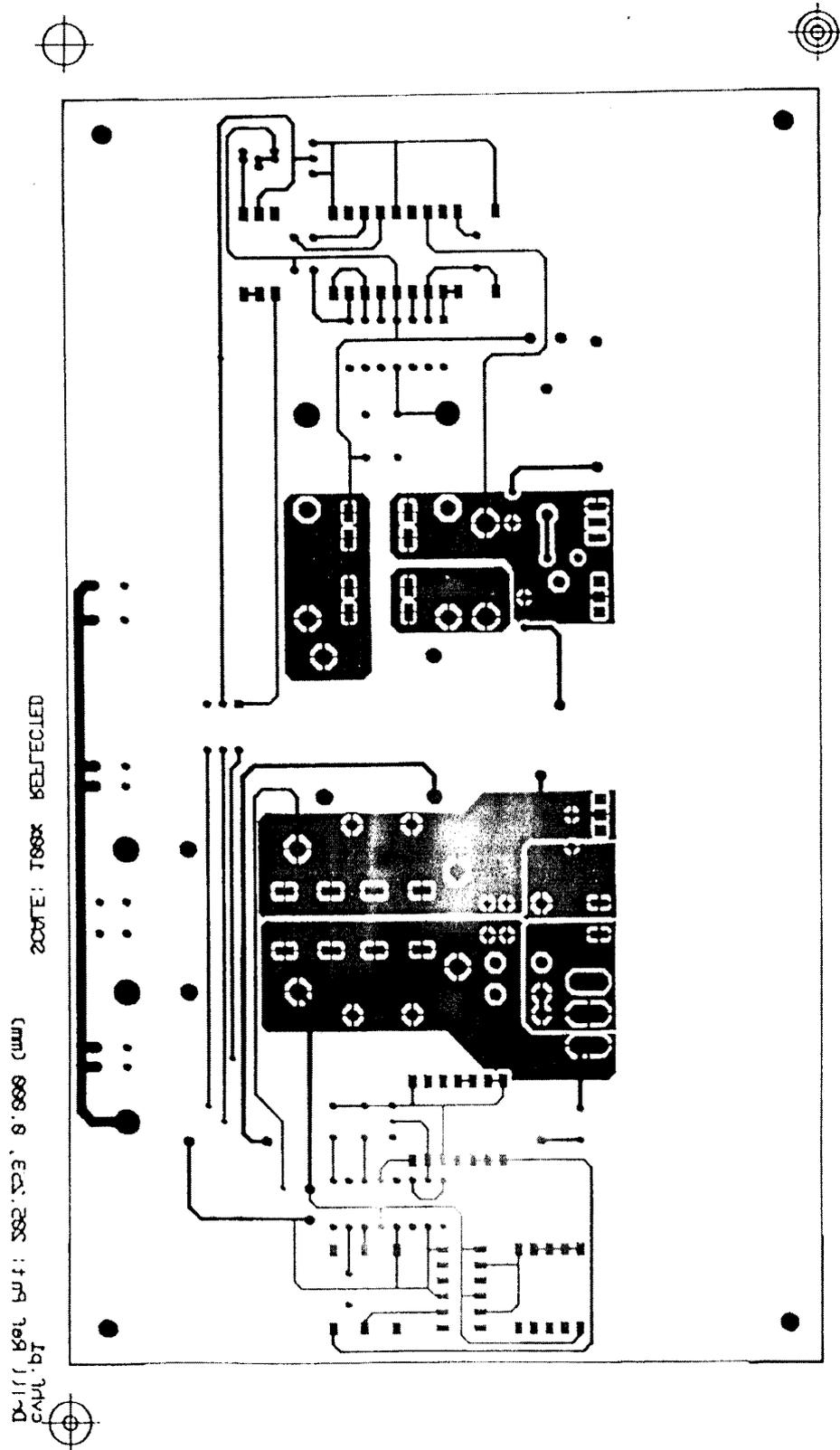


Figure 7

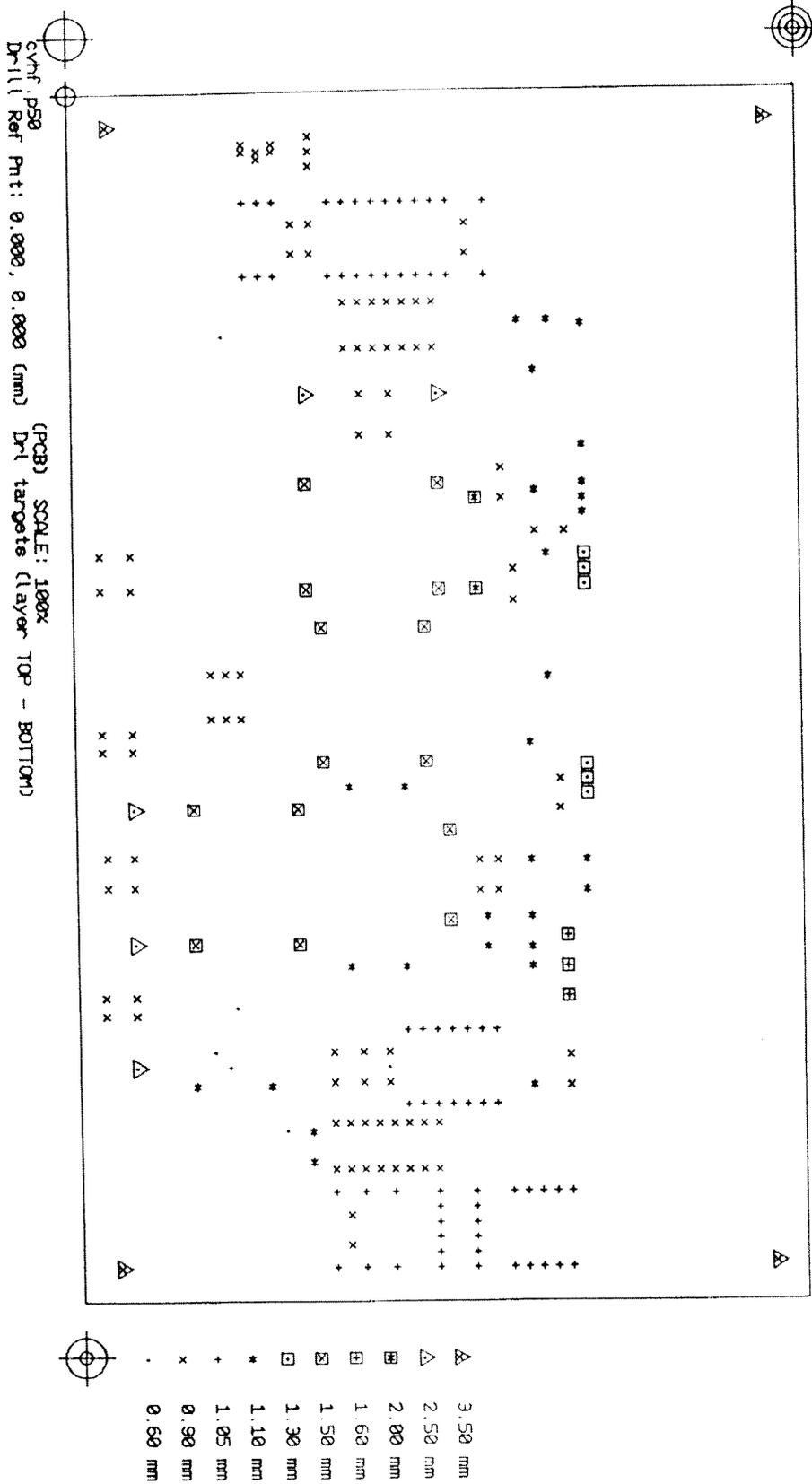


Figure 8