



## Des alimentations sûres pour les environnements d'imagerie par résonance magnétique (IRM)

### Introduction

Quelles que soient leurs dimensions, tous les équipements électroniques nécessitent des alimentations. Avec la prolifération, dans les environnements médicaux, d'appareils connectés à l'aide de technologies sans fil, les questions de compatibilité électromagnétique (EMC) sont devenues une préoccupation majeure. Dans l'immense majorité des applications, elles sont tout à fait maîtrisables concernant les alimentations. Cependant, dans certains domaines particulièrement exigeants, notamment l'imagerie par résonance magnétique (IRM), les fabricants d'alimentations rencontrent deux problématiques particulièrement délicates : ne pas perturber les équipements sensibles, mais aussi ne pas

subir les champs magnétiques très puissants (plusieurs teslas) issus du cœur des systèmes d'IRM.

Comment garantir que les alimentations exposées à des conditions aussi extrêmes vont fonctionner de manière correcte ?

### De Conrad Roentgen à Raymond Damadian

En 1895, déjà, Conrad Roentgen constate qu'un tube à décharge émissif placé dans une enceinte étanche, et rayonnant dans la direction d'une plaque de carton dont une face est recouverte de platino-cyanure de baryum, devient fluorescent et qu'il est possible d'obtenir une image d'un objet placé entre le tube et la plaque ; les

## POWERBOX

Des alimentations sûres pour les environnements d'imagerie par résonance magnétique (IRM)  
White paper 019

rayons X étaient nés. Plus près de nous, nous voyons Raymond Damadian réaliser en 1977 des expériences tout aussi révolutionnaires avec son scanner corporel par résonance magnétique nucléaire (RMN) pour produire des images encore plus détaillées de l'intérieur du corps humain. Dans les deux cas, les images obtenues ont considérablement contribué à améliorer les diagnostics médicaux, la qualité des traitements et la vie des populations.

Depuis les appareils à rayons X de Conrad Roentgen et à résonance magnétique nucléaire de Raymond Damadian, jusqu'aux technologies les plus récentes d'IRM, qui offrent de très hautes résolutions d'image, il existe un besoin commun : une très large gamme d'alimentations pouvant délivrer des puissances comprises entre quelques watts et plusieurs kilowatts. De plus, avec l'amélioration des résolutions d'imagerie, les appareils d'IRM sont placés à proximité de champs magnétiques intenses qui nécessitent des alimentations extrêmement stables, dépourvues d'interférences avec les processus d'acquisition de données.

Faire fonctionner une alimentation à découpage dans des environnements exposés à des champs magnétiques de grande intensité est extrêmement difficile. En outre, les dispositifs atteignent dans ce cas certaines limites techniques et physiques telles que nous les connaissons aujourd'hui. Pour aller au-delà, les concepteurs d'alimentations explorent de nouvelles approches, en conjuguant des topologies de conversion dernier cri et des technologies numériques et logicielles avancées.

Ce domaine est particulièrement intéressant à explorer pour les concepteurs. Pour autant, avant de révéler la solution « magique », essayons de comprendre comment fonctionne l'imagerie par résonance magnétique et quels sont les problèmes auxquels sont confrontés les ingénieurs spécialistes des alimentations dans ces environnements extrêmes.

### De la découverte à la pratique

Les appareils à rayons X ont contribué à des progrès considérables dans le domaine médical, même si les images obtenues se limitent à identifier des éléments solides. En outre, l'exposition aux rayonnements est dangereuse aussi bien pour les patients que pour les opérateurs. Ce sont ces inconvénients qui ont à l'origine motivé Raymond Damadian, médecin et scientifique, à explorer une nouvelle approche de l'examen du corps

## United States Patent [19]

Damadian

[11] 3,789,832

[45] Feb. 5, 1974

### [54] APPARATUS AND METHOD FOR DETECTING CANCER IN TISSUE

[76] Inventor: Raymond V. Damadian, 64 Short Hill Rd., Forest Hill, N.Y. 11375

[22] Filed: Mar. 17, 1972

[21] Appl. No.: 235,624

[52] U.S. Cl. .... 128/2 R, 128/2 A, 324/5 R

[51] Int. Cl. .... A61b 5/05

[58] Field of Search .... 128/2 R, 2 A, 1.3; 324/5 A, 324/5 B

### [56] References Cited

#### UNITED STATES PATENTS

3,691,455 9/1972 Moiso et al. .... 324/5 R

3,557,777 1/1971 Cohen ..... 128/2 R

3,530,371 9/1970 Nelson et al. .... 324/5 AC

#### OTHER PUBLICATIONS

Singer, J. R., Journ. of Applied Physics, Vol. 31, No.

1, Jan., 1960, pp. 125-127.

Primary Examiner—Kyle L. Howell  
Attorney, Agent, or Firm—Brumbaugh, Graves, Donohue & Raymond

### [57] ABSTRACT

An apparatus and method in which a tissue sample is positioned in a nuclear induction apparatus whereby selected nuclei are energized from their equilibrium states to higher energy states through nuclear magnetic resonance. By measuring the spin-lattice relaxation time and the spin-spin relaxation time as the energized nuclei return to their equilibrium states, and then comparing these relaxation times with their respective values for known normal and malignant tissue, an indication of the presence and degree of malignancy of cancerous tissue can be obtained.

16 Claims, 3 Drawing Figures

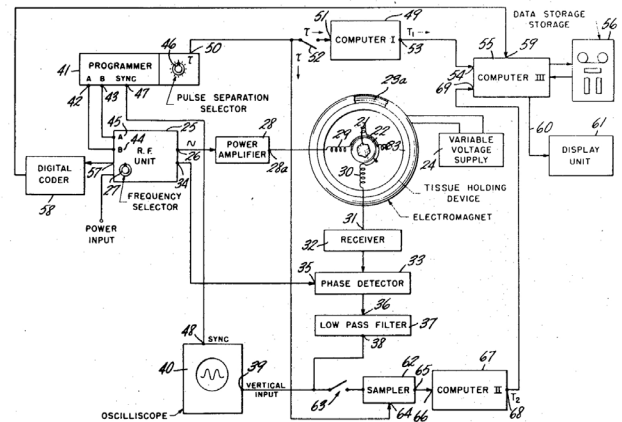


Figure 01 – Brevet de Raymond Damadian daté de 1974.

humain en étudiant les propriétés et les réactions d'un noyau atomique exposé à un champ magnétique. Après plus de 10 ans de recherche ponctués d'une série de réussite et d'échecs, Raymond Damadian déposa une demande de brevet intitulée « Appareil et procédé de détection du cancer dans un tissu » que l'USPTO (Bureau américain des brevets et des marques de commerce) lui accorda en février 1974 (US3789832) (Figure 01).

« Appareil et procédé dans lesquels un échantillon de tissu est positionné dans un appareil à induction nucléaire, des noyaux sélectionnés étant excités par résonance magnétique nucléaire entre leurs états d'équilibre et des états d'énergie supérieurs. En mesurant le temps de relaxation spin-réseau et le temps de relaxation spin-spin lorsque les noyaux excités reviennent à leurs états d'équilibre, puis en comparant ces temps de relaxation

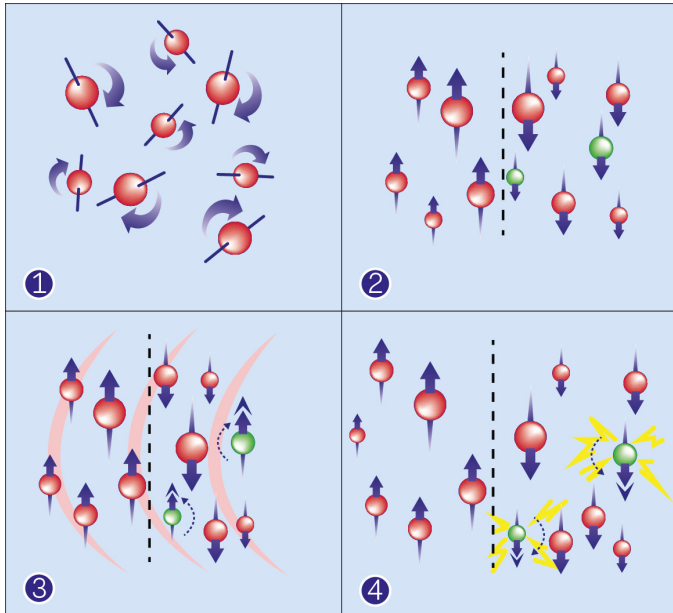


Figure 02 – Polarisation des noyaux d'hydrogène au cours des phases d'activation d'un système d'imagerie par résonance magnétique (IRM).

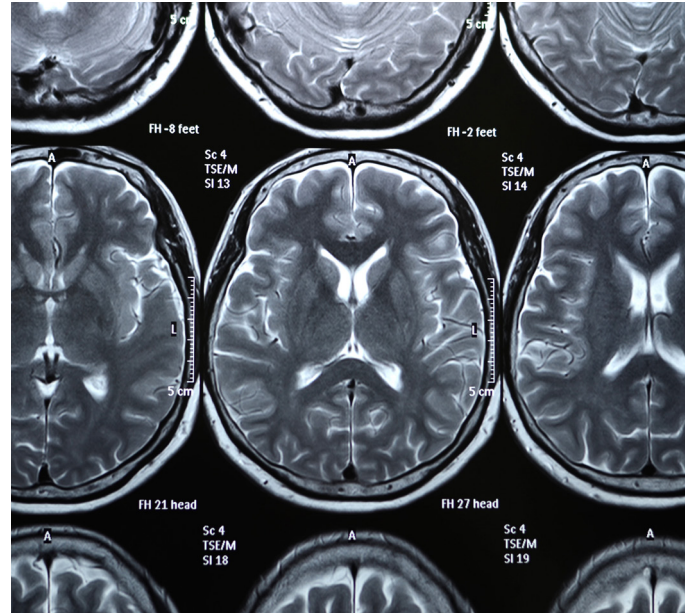


Figure 03 – Image en haute résolution du cerveau, obtenue après une acquisition de données.

avec leurs valeurs respectives pour un tissu normal et malin connu, il est possible d'obtenir une indication de la présence et du degré de malignité d'un tissu cancéreux. »

Lorsque Nikola Tesla découvrit le champ magnétique tournant en 1882, il aurait difficilement imaginé que, 90 ans plus tard, sa découverte conduirait aux travaux du Dr Raymond Damadian utilisant un champ magnétique pour visualiser l'intérieur d'un corps ! Et personne n'aurait pu non plus imaginer le niveau de résolution obtenu avec les appareils d'IRM.

Voyons de plus près le fonctionnement de ces dispositifs et comment les concepteurs d'alimentations ont inventé de nouvelles solutions capables de fonctionner dans des environnements soumis à des champs magnétiques particulièrement intenses.

### La clé se trouve dans les noyaux d'hydrogène !

Comme nous l'avons appris au cours de nos études, le corps humain est constitué à 70 % d'eau. Les molécules d'eau sont constituées de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H<sub>2</sub>O). Une machine d'imagerie par résonance magnétique peut identifier le noyau d'hydrogène contenu dans les molécules d'eau, car il possède une propriété de physique quantique appelée le

« spin ». Nous pouvons assimiler un proton d'hydrogène à la planète Terre tournant sur son axe, avec un pôle nord et un pôle sud. Dans des circonstances normales, les aimants permanents formés par les protons d'hydrogène tournent dans le corps sur leurs axes alignés de manière aléatoire (Figure 02.1).

Lorsque le corps d'un patient est placé dans un puissant champ magnétique, les axes des protons s'alignent. Cet alignement uniforme crée un vecteur magnétique orienté le long de l'axe du scanner (Figure 02.2). Selon l'objet observé, les scanners d'IRM offrent des champs de différentes puissances, compris en général entre 0,5 et 3 teslas (T) (à noter que le gauss est aussi une unité souvent utilisée : 1 tesla = 10 000 gauss). Les champs magnétiques des appareils de toute dernière génération atteignent 6 T, voire même 11,7 T pour Neurospin dans ses recherches sur le cerveau, soit 234 000 fois le champ magnétique terrestre, et jusqu'à 20 T pour la spectroscopie. Le champ magnétique statique principal (B<sub>0</sub>) est vertical.

Lorsqu'une énergie supplémentaire vient s'ajouter au champ magnétique (B<sub>0</sub>) sous la forme d'une onde radio, le vecteur magnétique est dévié. La fréquence de l'onde radio qui provoque une résonance des noyaux



# POWERBOX

Des alimentations sûres pour les environnements d'imagerie par résonance magnétique (IRM)  
White paper 019

d'hydrogène dépend de l'élément recherché et de l'intensité du champ magnétique (Figure 02.3). Un système IRM comporte deux champs magnétiques : le gradient (B1) et le champ radio (RF).

Lorsque la source radio est coupée, le vecteur magnétique revient à son état de repos, ce qui provoque l'émission d'un signal (en ondes radio également). C'est ce signal qui sert à créer les images de résonance magnétique. Des bobines de réception, placées autour de la partie du corps concernée, servent d'antennes pour améliorer la détection du signal émis (Figure 02.4). Le système trace une représentation en nuances de gris de l'intensité du signal reçu et crée des images en coupe (Figure 03).

Il est possible d'émettre séquentiellement différentes impulsions radio pour mettre en évidence des tissus particuliers ou des anomalies. Ces mises en valeur peuvent varier car le relâchement des différents tissus est inégal lorsque l'impulsion radio est interrompue.

Cette description simplifiée met en lumière la puissance des champs magnétiques mis en œuvre dans l'environnement hostile des applications d'IRM. Les concepteurs d'alimentation doivent donc les prendre en considération pour créer des produits répondant à ces applications particulièrement exigeantes.

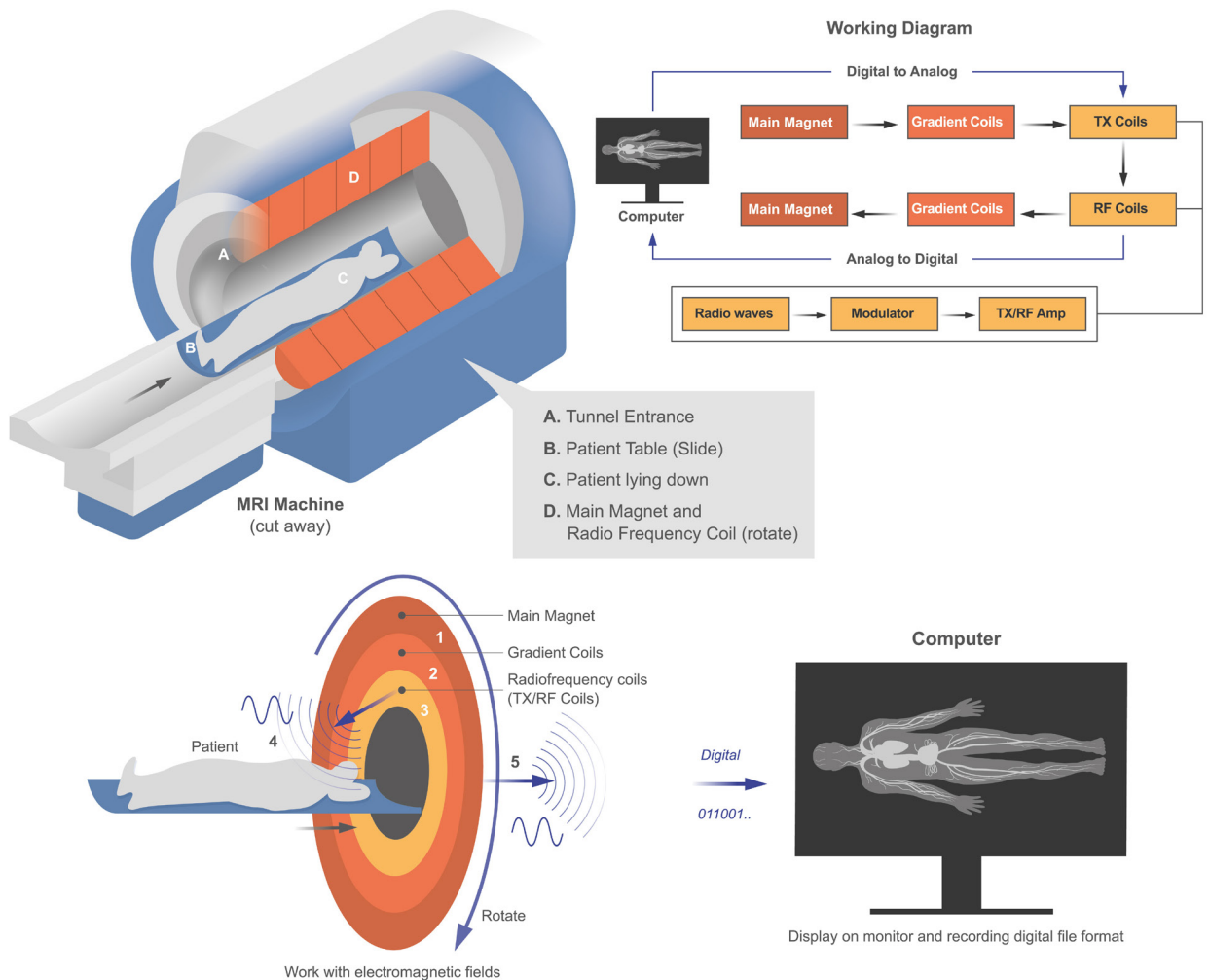


Figure 04 – Présentation simplifiée des différents éléments et forces en puissances dans un équipement d'imagerie médicale de type IRM.

### Les forces en présence

Pour comprendre les énergies que les ingénieurs doivent prendre en compte, il est important de connaître les forces magnétiques et électromagnétiques produites par un scanner d'IRM ainsi que leurs interactions avec les alimentations, sans oublier leur influence sur les données sensibles collectées par les différents capteurs (Figure 04).

#### → Champ magnétique principal (B0)

Le champ magnétique B0 est produit par un élément permanent ou supraconducteur. Il est orienté dans le sens de l'axe principal du scanner (axe Z). Selon l'application, l'intensité de ce champ est comprise entre 0,5 T et 20 T.

#### → Champs de gradient (B1)

Les champs de gradient B1 sont produits par une combinaison spécifique de bobines selon les trois axes X, Y et Z. Les fréquences pulsées sont d'environ 100 KHz avec une intensité pouvant atteindre à peine quelques mT/m. La fréquence est adaptée en fonction de l'objet examiné et il est possible de la moduler.

#### → Champ radio

Le champ radio est produit par une bobine séparée sur les axes X et Y. La gamme de fréquences est comprise entre 64 MHz et 299 MHz, pour des intensités de l'ordre du micro-tesla.

### Comment faire fonctionner des alimentations dans des environnements de ce type?

Pour éviter toute interférence, la meilleure pratique pour alimenter des systèmes d'IRM consiste à éviter les tensions et courants alternatifs et de n'utiliser que des tensions et courants continus, même pour l'éclairage. Les alimentations principales sont généralement installées à l'extérieur de la salle d'opération blindée et les tensions continues sont distribuées vers les appareils électroniques au moyen de câbles blindés.

Pour adapter la tension issue d'une alimentation continue principale à une charge spécifique (par exemple, de 24 V CC à 12 V CC), les appareils d'IRM d'ancienne génération utilisaient un large éventail de régulateurs linéaires abaisseurs de tension, ce qui réduisait le risque de perturbations, mais au prix d'un très faible rendement énergétique et d'une forte dissipation d'énergie. Pour répondre aux besoins de puissance et d'une meilleure utilisation de l'énergie, les appareils de nouvelle génération ont adopté des régulateurs à découpage

qui, paradoxalement, ont amélioré le rendement, mais sont aussi devenus une source de perturbation possible ! Lorsque l'alimentation est suffisamment éloignée du champ magnétique B0 et des appareils sensibles, un blindage efficace et une bonne mise à la terre peuvent éviter toute interférence. En revanche, lorsqu'elle est située à proximité ou même dans le champ B0, les ingénieurs se trouvent face à des difficultés réelles.

### Impact des appareils d'IRM sur les alimentations

#### → Champ magnétique principal (B0)

Une alimentation à découpage transforme une tension continue en tension alternative, puis la redresse pour obtenir une nouvelle tension continue. Au cours du processus de conversion, l'énergie transférée est stockée dans un transformateur constitué d'une ou plusieurs bobines, et d'un noyau, généralement en ferrite. La haute densité du champ magnétique B0 interagit directement avec tous les composants ferromagnétiques, conduisant à la saturation des noyaux de fer et à l'impossibilité d'un transfert d'énergie, voire même dans certains cas à un court-circuit.

#### → Champs de gradient (B1)

La fréquence des champs de gradient est très proche de la fréquence de découpage moyenne des alimentations classiques, mais elle induit un « effet d'emballement du courant » dans les câbles et les zones conductrices. Le phénomène influe également sur les performances de commutation de l'étage d'alimentation, ce qui provoque une distorsion des signaux, de la chaleur et dans la plupart des cas, la mise en court-circuit des composants chargés du découpage.

#### → Champ radio

Du fait de sa fréquence plus élevée, le champ en fréquence radio est moins néfaste pour l'alimentation bien qu'il puisse provoquer des courants induits provoquant des défauts collatéraux similaires à ceux produits par le champ B1.

### Impact de l'alimentation sur l'imagerie par résonance magnétique

#### → Champ magnétique principal (B0)

Même avec une fréquence de Larmor de 42,58 MHz/ Tesla pour les protons (noyaux d'hydrogène), il existe un risque d'impact, sur le signal, de pics de tension de commutation de l'alimentation, et l'apparition

## POWERBOX

Des alimentations sûres pour les environnements  
d'imagerie par résonance magnétique (IRM)

White paper 019

d'artefacts qui viendront affecter la qualité et la résolution de l'image.

### → Champs de gradient (B1)

La fréquence de commutation d'une alimentation standard appartenant à une plage de fréquence (100 kHz) identique à celle des champs de gradient, il peut apparaître des interférences avec le signal produit par la boucle de gradient, et donc une modification du signal codé, conduisant à des artefacts dans l'image.

### → Champ radio

Dans le cas des radiofréquences, les harmoniques de l'alimentation à découpage peuvent interférer avec la boucle des bobines RF, ce qui peut altérer le signal radio d'imagerie par résonance magnétique, et donc diminuer la qualité de l'image.

### Comment faire fonctionner correctement une alimentation dans cet environnement?

En prenant en considération les différents paramètres décrits, il est évident qu'une solution d'alimentation appropriée devra exclure tout composant ferromagnétique et faire en sorte que sa fréquence de découpage n'interfère pas avec les signaux d'imagerie par résonance magnétique.

Les noyaux magnétiques classiques passant en saturation lorsqu'ils sont exposés à l'énergie du champ magnétique B0, il faut envisager des inducteurs à noyau d'air, dépourvus de matériaux ferromagnétiques. L'un des inconvénients des inducteurs à noyau d'air réside dans leurs faibles valeurs d'inductance. Il est possible d'y remédier à l'aide de plusieurs étages d'alimentation fonctionnant en parallèle. Le contrôle des alimentations à noyau d'air montées en parallèle nécessite la mise en œuvre des technologies numériques les plus récentes, pour une flexibilité maximale de fonctionnement des différents canaux. Le contrôle numérique permet aux concepteurs de permettre d'adapter le profil de l'alimentation à des conditions spécifiques.

La Figure 05a représente un exemple d'alimentation évoluée à noyau d'air, le modèle PRBX GB350. Pour répondre aux spécifications particulières relatives aux systèmes d'IRM et des champs B0, B1 et RF pour lesquels elle a été conçue, l'alimentation GB350 possède une fréquence fondamentale de découpage de 600 kHz. Grâce à cette fréquence de découpage et à un mode d'entrelacement à 4 phases, le modèle GB350 fonctionne

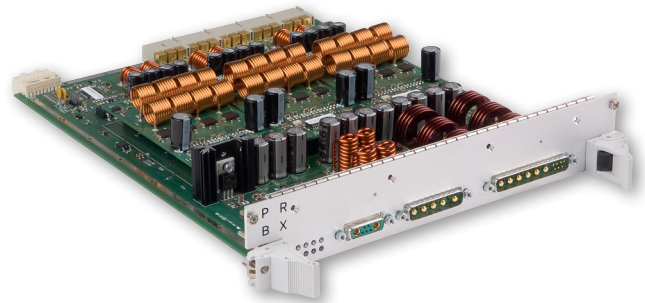


Figure 05a – Alimentation PRBX sans noyaux multiphasés à triple sortie pour le champ B0.



Figure 05b – Alimentation PRBX sans noyau pour le champ B0, blindée pour assurer la protection contre les interférences.



Figure 06 – Les appareils d'IRM qui permettent une acquisition de données avancée nécessitent des alimentations très stables, capables de fonctionner dans des champs magnétiques intenses.

## POWERBOX

Des alimentations sûres pour les environnements  
d'imagerie par résonance magnétique (IRM)  
White paper 019

à une fréquence de sortie résultante de 2,4 MHz. Cette caractéristique permet un filtrage plus facile et des temps de réponse extrêmement courts pour la régulation. L'unité comporte également un blindage de protection contre les émissions EMI pour réduire les émissions diffusées et éviter tout risque d'artefact (Figure 05b).

### Conclusion

En moins de cinquante ans, les progrès des scanners d'imagerie par résonance magnétique ont été réellement extraordinaires et la résolution d'image obtenue est étonnante (Figure 06). En innovant de manière constante, le secteur des alimentations a contribué à des solutions efficaces, pérennes et sûres pour des applications très exigeantes, comme celles rencontrées avec le champ B0. Les systèmes utilisant des champs magnétiques ultra-intenses, dotés de capteurs de nouvelle génération, vont nécessiter des sources d'alimentation réagissant avec une extrême rapidité, capables d'effectuer des commutations à 25 MHz pour éviter les harmoniques dans la bande de sécurité. Il est possible d'envisager une nouvelle génération d'alimentations dépourvue de noyaux, conjuguant les noyaux d'air, le contrôle numérique et l'utilisation de transistors au nitrure de gallium (GaN).

Sans aucun doute, les concepteurs d'alimentation chargés de développer des solutions pour les systèmes d'imagerie médicale vont continuer donner réalité à la magie !

### À propos de Powerbox

Fondée en 1974 en Suède, Powerbox est présente dans 15 pays sur 4 continents et intervient dans le monde entier. L'entreprise répond à quatre marchés principaux – industrie, médical, transport/ferroviaire, défense – pour lesquels Powerbox conçoit et commercialise des systèmes de conversion d'énergie de qualité pour les applications les plus exigeantes. La mission de Powerbox est d'appliquer son expertise à améliorer la compétitivité de ses clients en répondant à l'ensemble de leurs besoins en énergie. L'activité de l'entreprise est exclusivement consacrée à cet objectif, depuis la conception de composants de pointe intégrés aux produits jusqu'au service client de haute qualité. Powerbox est reconnue pour ses innovations techniques dans la réduction de la consommation d'énergie et pour sa capacité à gérer le cycle de vie complet des produits tout en minimisant l'impact environnemental. Powerbox est une société du groupe Cosel.



**Patrick Le Fèvre**  
Powerbox Chief Marketing  
& Communication Officer

### À propos de l'auteur

Directeur du marketing et de la communication de Powerbox, Patrick Le Fèvre est ingénieur et spécialiste du marketing expérimenté, fort d'une expérience de 35 ans dans l'électronique de puissance. Il est l'un des pionniers du marketing des nouvelles technologies, notamment les alimentations numériques et les initiatives techniques destinées à réduire

la consommation d'énergie. Auteur de nombreux livres blancs et articles, Patrick Le Fèvre intervient dans les plus grandes conférences internationales consacrées à l'électronique de puissance. Ces contributions ont été publiées à plus de 250 reprises dans les médias du monde entier. Il est également engagé dans différents forums environnementaux, et intervient pour partager son expertise et ses connaissances en matière d'énergie propre.

### Pour en savoir plus

Visitez le site [www.prbx.com](http://www.prbx.com)

Contactez Patrick Le Fèvre, directeur marketing et communication

+46 (0) 158 703 00

PRBX white paper 019 FR Rev A  
2019.06.11