

> bobinage primaire, ce qui réduira l'efficacité du dispositif.

Il existe heureusement une solution à cette difficulté: canaliser les lignes de champ en utilisant un matériau magnétique. Les plus répandus sont le fer doux ou la ferrite. Tous deux ont la propriété de s'aimanter fortement sous l'effet d'un champ magnétique, mais de perdre cette aimantation induite lorsque le champ s'annule. Ces matériaux usinés sous forme d'un tore ou d'un cadre, le noyau, se comportent alors comme des tuyaux à champ magnétique: enroulés autour d'un même noyau, les deux bobinages seront traversés par les mêmes champs magnétiques variables, ce qui induira donc les mêmes champs électriques, comme dans notre transformateur idéal, même s'ils sont éloignés.

SATURATION MAGNÉTIQUE

Pourquoi ne peut-on pas miniaturiser ce dispositif, notamment lorsqu'on n'a pas besoin de puissance importante et que l'on peut se contenter de fils fins? Parce qu'une seconde limite intervient: la saturation du matériau magnétique.

Le problème est le suivant. Si l'on veut réduire la taille du transformateur en conservant les mêmes caractéristiques électriques, une étude quantitative montre qu'il faut augmenter le nombre de spires lorsqu'on diminue le diamètre des bobinages. Cela se traduit notamment par une augmentation du champ magnétique dans le noyau.

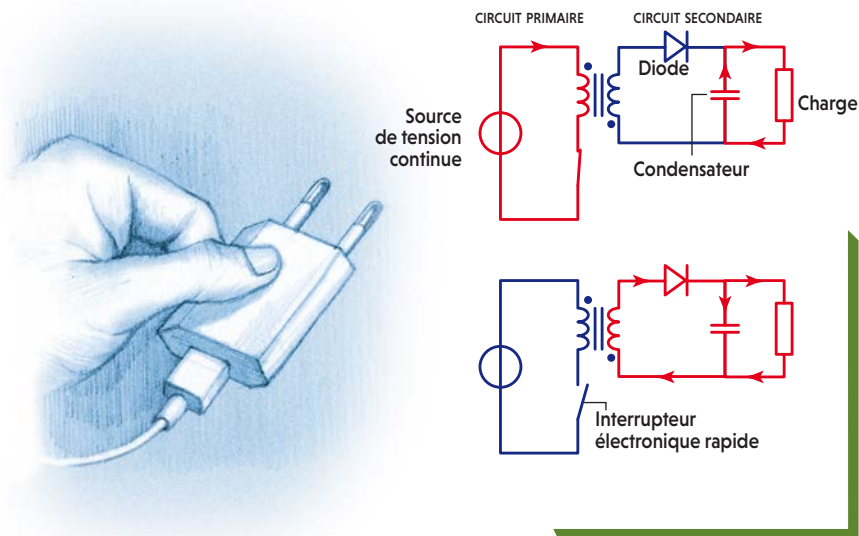
Or, à l'échelle microscopique, l'aimantation sous l'effet d'un champ magnétique est due à l'alignement progressif, sur la direction du champ, des aimants élémentaires constitués par certains électrons du matériau ou les boucles microscopiques de courant formées par les mouvements des électrons autour des atomes. Quand tous ces aimants sont alignés, le matériau atteint une aimantation maximale. Et si le champ augmente encore, le matériau ne peut alors plus canaliser davantage de lignes de champ: l'efficacité du transformateur décroît fortement.

Cela se comprend aussi d'un point de vue énergétique: soumis à une tension alternative, le matériau magnétique reçoit à chaque alternance l'énergie magnétique du premier bobinage, la stocke, puis la cède au second. La limite est ainsi donnée par la quantité d'énergie magnétique que le matériau peut stocker.

Le combat est-il perdu? Non! Puisqu'il y a une relation entre tension induite et variation du champ magnétique, au lieu d'augmenter le champ magnétique

CONVERTISSEUR FLYBACK

Les tout petits chargeurs de téléphones disponibles aujourd'hui intègrent un « convertisseur Flyback », un transformateur fonctionnant à très haute fréquence. Le circuit primaire, alimenté par une tension continue, est muni d'un interrupteur électronique qui s'ouvre et se ferme à haute cadence. Dans la phase où cet interrupteur est fermé, la tension appliquée entraîne l'augmentation progressive du courant (*symbolisé en rouge*) dans le circuit primaire. Le circuit secondaire est alors ouvert, car le courant induit est bloqué par une diode. Par conséquent, le champ magnétique augmente et le matériau magnétique accumule de l'énergie. Dans la seconde phase, l'interrupteur s'ouvre. Le courant s'annule (*en bleu*) dans le bobinage primaire et le secondaire prend le relais: le courant induit dans le secondaire circule dans le sens passant de la diode. Le matériau magnétique cède alors son énergie au circuit secondaire.



lorsque la taille du bobinage diminue, augmentons la cadence de ses variations.

C'est la solution adoptée dans de nombreux dispositifs modernes, par exemple dans le convertisseur Flyback qu'utilisent notamment les petits chargeurs de téléphones (*voir l'encadré ci-dessus*). La fréquence des grandeurs électriques qui traversent le transformateur est alors de plusieurs dizaines de kilohertz, au lieu des 50 hertz du secteur.

Dans ces dispositifs, la tension du secteur est au préalable redressée en tension continue. Cette dernière est appliquée au circuit primaire du transformateur comportant un interrupteur électronique qui s'ouvre et se ferme alternativement à un rythme très rapide. À chaque cycle, l'énergie transférée au circuit secondaire est donc au plus égale à l'énergie magnétique stockée à saturation dans le matériau magnétique comme auparavant, mais la limite du transfert d'énergie est ici déterminée par le temps de réponse du matériau magnétique à un champ magnétique alternatif (elle de l'ordre de quelques mégahertz). C'est l'un des obstacles à une miniaturisation plus poussée des transformateurs. ■

BIBLIOGRAPHIE

W. T. McLyman,
**Transformer and Inductor
Design Handbook**,
4^e édition, CRC Press, 2011.

P. M. Fishbane et al.,
**Physics for Scientists
and Engineers**, 3^e édition,
Pearson Prentice Hall, 2005.

E. Hecht, **Physique**,
De Boeck, 1999.