

Car, en dehors du transformateur de sortie, ce que l'on « entend » dans un amplificateur c'est avant tout le schéma et non les composants.

Le système Radford/Bailey inspira ensuite de nombreux constructeurs célèbres.

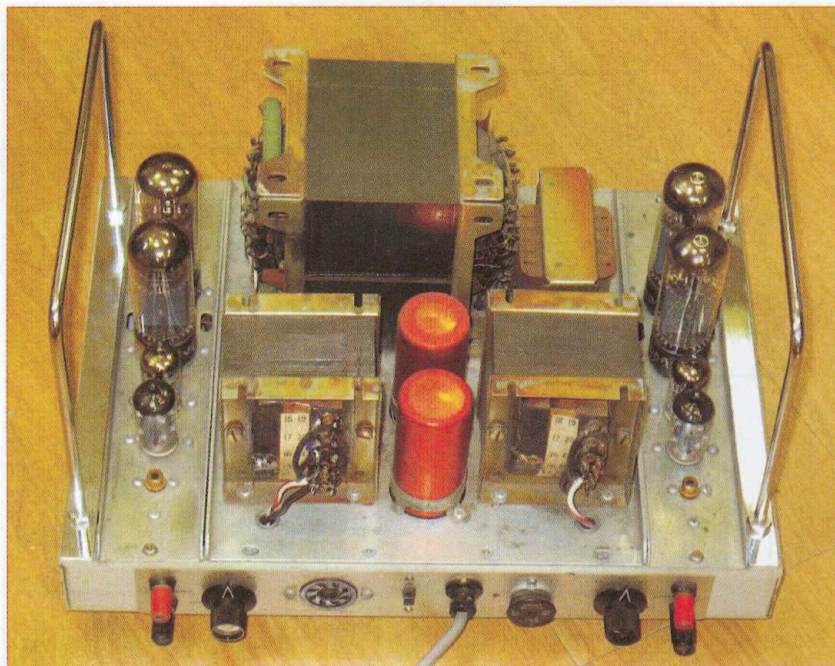
Avec moins de bonheur, Radford se lança dans la construction de haut-parleurs. La société originale perdura néanmoins jusqu'en 1989, année pendant laquelle l'un des élèves de A.H. Radford, John Widgery, créa la société Woodside Electronics. Celle-ci tenta, sans grand succès alors, de rééditer le STA25 (que nous étudions aujourd'hui) sous le nom de STA25 « Renaissance ». Mais le charme était rompu. Woodside arrêta toute activité en 2004. Arthur Radford disparut le 21 novembre 1993. L'homme fait toujours partie des grands de la haute-fidélité, tels Crohurst, Franck McIntosh, Peter Walker (lire notre précédent cours) et tant d'autres, qui ont laissé une somme de savoir considérable, malheureusement souvent négligée de nos jours !

Les transformateurs selon Radford

Bien qu'intimement dépendant des circuits électroniques précédant l'étage de sortie, le transformateur de sortie d'un amplificateur à tubes se doit de ne pas ajouter de distorsions aux fréquences moyennes à **un amplificateur dont le taux est déjà le plus faible possible sans contre-réaction.**

La contre-réaction, que l'on appliquera globalement en fin de conception, servira uniquement à faire baisser l'impédance apparente interne de l'amplificateur afin d'augmenter le coefficient d'amortissement (voir nos précédents cours).

Or, vous savez que l'ensemble circuit + transformateur de sortie entraîne naturellement un déphasage aux deux extrémités du spectre sonore. Ce déphasage ne doit jamais atteindre 180°. Dans ce cas, tant dans les fréquences basses que dans les fréquences élevées, cette rotation de phase agit comme **une réaction** qui est source d'oscillations. C'est pourquoi, en pratique, il est nécessai-



B Les deux petits transformateurs sont les exceptionnels transformateurs de sortie. Les enroulements sont numérotés (voir schéma)

re de moduler la bande passante en réduisant le gain jusqu'à l'annulation complète, aussi bien dans les basses fréquences que dans les hautes fréquences du spectre audible. Cela, afin de ne jamais avoir de réaction possible par les lignes de contre-réaction employées.

Pour l'instant, polarisons-nous sur le transformateur de sortie. Lequel doit être parfaitement « neutre », tant aux fréquences basses qu'aux fréquences élevées et ne pas en ajouter à l'électronique de l'amplificateur.

Du côté des fréquences élevées, le transformateur doit avoir la bande passante la plus large possible afin de rejeter sa fréquence de résonance propre bien au-delà du spectre audible.

Dans le cas des transformateurs Radford, la fréquence de résonance propre est de 200 kHz avec, ensuite, une chute de caractéristique en pente douce de 6 dB/octave, sans résonance secondaire. Ce résultat ne peut être atteint que de la façon suivante : **le moins de cuivre possible**, un parfait équilibre des capacités réparties et une très faible inductance de fuite entre les deux branches du primaire, ainsi qu'entre le primaire et le secondaire.

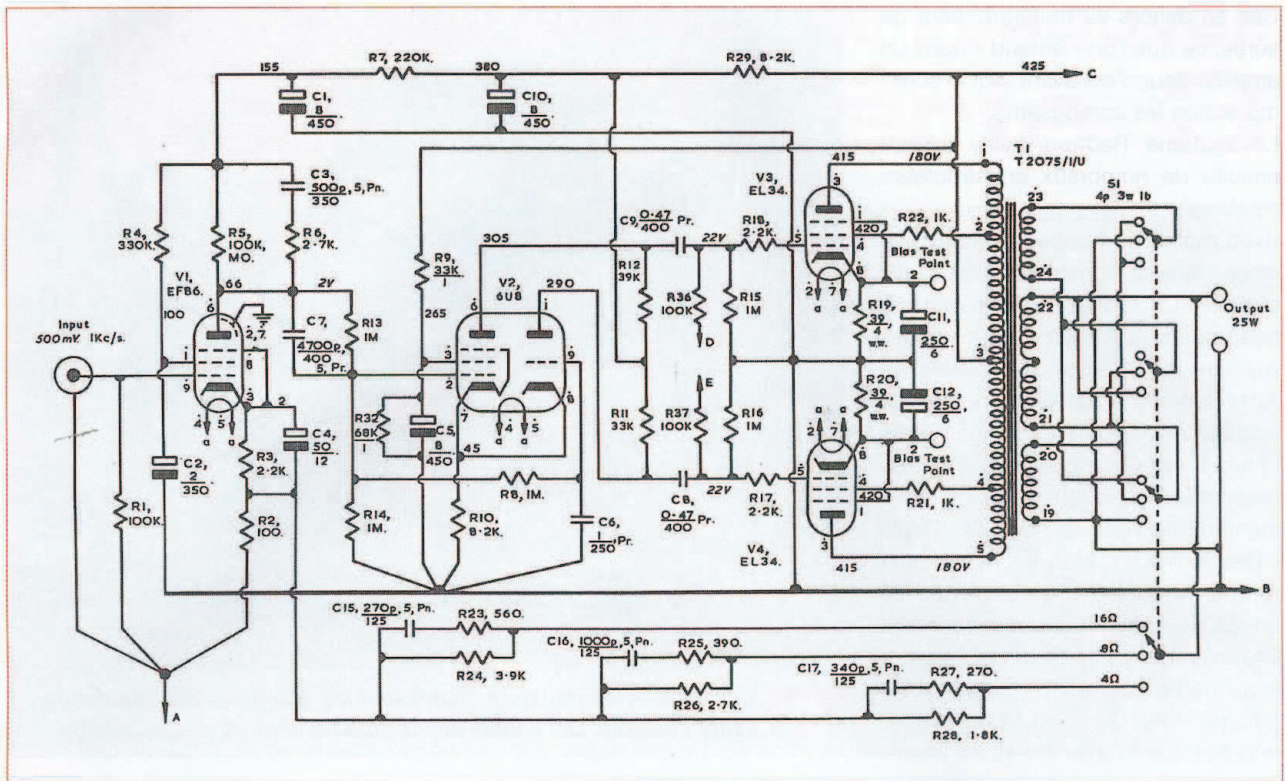
Conclusion : le transformateur doit être le plus petit possible !

Du côté des fréquences basses, un petit transformateur signifie peu de cuivre, certes, mais aussi moins de tôles ! Résultat : une inductance primaire faible, donc une réponse médiocre dans les basses fréquences.

Solution : augmenter le volume de tôles. Hélas, dans ce cas si on augmente bien l'inductance primaire, c'est au détriment de l'inductance de fuite aux fréquences élevées ! C'est le serpent qui se mord la queue ! Et c'est le problème fondamental des transformateurs de sortie classiques. La solution Radford : les tôles !

Vous savez qu'un circuit magnétique se sature d'autant plus que les tôles le constituant sont moins perméables. Radford a été le premier à oser utiliser des tôles d'acier au cobalt Vanadium, dont la caractéristique est d'avoir une haute perméabilité et de supporter une haute densité de flux pour des pertes ultra-faibles. Ces tôles étaient utilisées jusque-là en aéronautique pour les transformateurs d'alimentation fonctionnant à 400 Hz, ce qui permettait de gagner près de 50 % en poids.

Une tôle d'acier au cobalt Vanadium supporte une induction de l'ordre de 2,2 Tesla (22 000 gauss) à la saturation, alors que les tôles au silicium à grains orientés, utilisées à l'époque



1 Remarquer sur ce schéma l'original inverseur de phase employant une triode/pentode ECF82

en haute-fidélité, ne supportaient que 1,5 à 1,8 Tesla, d'où des transformateurs imposants pour des puissances de l'ordre de 30 watts ! Les tôles au cobalt Vanadium sont horriblement coûteuses. C'est pour cette raison que, encore aujourd'hui, la plupart des constructeurs de transformateurs de sortie utilisent le silicium à grains orientés ! Les transformateurs de « haut de gamme » utilisent le cobalt Vanadium et paraissent ridiculement petits ! C'est pourquoi on les noie souvent dans d'énormes enveloppes décoratives où ils font ainsi plus sérieux ! Car, il faut bien avouer, que si vous trouviez des transformateurs Radford dans une brocante, il est probable que vous ne les achèteriez pas, parce qu'ils sont petits et laids (photo B) !

Pour ses amplificateurs, Radford utilisa les mêmes tôles pour les transformateurs d'alimentation, ce qui permet également de réduire le poids du cuivre, donc la résistance interne. D'où la possibilité d'utiliser des capacités de fortes valeurs dans les alimentations, tout en respectant la constante de temps et la courbe enveloppe du signal audio, les Radford fonctionnant en classe AB

(résistance primaire en 220 volts : 5 Ω et secondaire 360 volts : 15 Ω).

L'électronique de Bailey

Reportez-vous au schéma de l'appareil en le lisant de gauche à droite (figure 1). L'étage d'entrée (équipé d'une EF86) ne peut être dissocié de l'inverseur de phase original employant une 6U8 (ECF82) pentode/triode. Car l'EF86 d'entrée, chargée par une résistance de 100 kΩ (R5), est équipée d'un filtre C3/R6 (500 pF, 2,7 kΩ). Lequel est destiné à faire chuter les fréquences élevées à partir de 30 000 Hz, en agissant sur le gain de l'EF86 et en provoquant une chute douce identique à celle du transformateur de sortie de 6 dB/octave. Ce type de filtre va compenser la rotation de phase dans les fréquences élevées. Il est très difficile à mettre au point, voire pratiquement impossible avec une triode. Le tube étant rapidement surchargé (à l'inverse d'une pentode), cela risquerait d'entraîner une distorsion importante dès le premier étage. La résistance de liaison de 1 MΩ (R13) et le condensateur de 4700 pF en parallèle (C7) forment un filtre

agissant à partir de 30 Hz (compensation des rotations de phase dans les basses fréquences). Le pente du filtre passe-haut est de 6 dB/octave. L'ensemble R6/C3, R13/C7 assure au montage une stabilité redoutable, ce qui permet d'appliquer une contre-réaction globale de 25 dB sans instabilité, à travers R2.

Et maintenant, passons à l'inverseur de phase (6U8). C'est un inverseur de Schmidt (voir cours précédents) non classique. En effet, habituellement, un Schmidt est équipé de deux tubes identiques, ce qui est loin d'être le cas ici.

Comment faire pour que le gain des deux étages soit équivalent ? Tout simplement en jouant sur la pente des tubes **au point de fonctionnement choisi (difficile à réaliser !)** Je vous rappelle que le gain d'un étage d'amplification quel que soit le type de tube est égal à :

$$A = R_{CH} \times S \times 10^{-3}$$

avec R en ohms
S en mA/volt

R_{CH} : résistance de charge **totale** constituée de la résistance interne du tube en parallèle sur la résistance de charge R_a et la résistance de fuite de l'étage suivant **aux points de fonc-**