



FORMULAIRE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

CIRCUITS ELECTRONIQUES IV

En continuant l'étude des amplificateurs BF commencée dans le formulaire précédent, nous allons voir maintenant l'étage final. Nous rassemblerons ensuite les différents procédés de calcul en indiquant de façon sommaire la marche à suivre pour calculer un amplificateur BF.

AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE BF

L'étage final est constitué en général d'un amplificateur de puissance, destiné à fournir la puissance électrique nécessaire au haut-parleur (cas pour un récepteur radio TV ou un électrophone par exemple).

On peut avoir des amplificateurs avec un seul tube et avec deux tubes.

Ces montages ont été étudiés dans les leçons théoriques des groupes 17 et 18.

Comme tubes amplificateurs de puissance, on utilise en général les tétrodes et les pentodes, et quelquefois les triodes. Les tubes de puissance indiqués dans le tableau de la figure 1 sont tous des pentodes. Au contraire, ceux reportés dans le tableau de la figure 2 sont de différents types : tétrodes, pentodes ou triodes.

TABLEAU 1			
DESIGNATION	TYPE	DESIGNATION	TYPE
ABL 1	sec.pentode	EL 33	pentode
AL 1	pentode	EL 34	pentode
AL 4	pentode	EL 41	pentode
DL 92	pentode	EL 42	pentode
DL 93	pentode	EL 83	pentode
DL 94	pentode	EL 84	pentode
DL 95	pentode	EL 86	pentode
DL 96	pentode	EL 95	pentode
EBL 1	sec.pentode	PCL 82	sec.pentode
ECL 80	sec.pentode	PCL 86	sec.pentode
ECL 82	sec. pentode	PL 82	pentode
ECL 84	sec.pentode	PL 84	pentode
ECL 86	sec.pentode	UCL 82	sec.pentode
EL 2	pentode	UL 41	pentode
EL 3 N	pentode	UL 84	pentode

**TUBES ELECTRONIQUES DE TYPE EUROPEEN UTILISES
COMME AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE BF**

figure 1

TABLEAU 2			
DESIGNATION	TYPE	DESIGNATION	TYPE
1 Q 5 GT	pentode	12 AQ 5	tétrade à faisceau
2 A 3	triode	12 BH 7	double triode
2 A 5	pentode	13 CL 6	pentode
3 A 4	pentode	15 CW 5	pentode
3 D 6	pentode	16 A 8	sec.pentode
3 Q 4	pentode	16 EB 8 S	pentode
3 Q 5 GT	pentode	17 QL 6	pentode
3 S 4	pentode	25 L 6 GT	tétrade à faisceau
3 V 4	pentode	35 B 5	pentode
6 AQ 5	tétrade à faisceau	35 L 6 GT	tétrade à faisceau
6 BM 8	sec. pentode	35 QL 6	pentode
6 BQ 5	pentode	41	pentode
6 CL 6	pentode	43	pentode
6 CW 5	pentode	45	triode
6 EB 8	pentode	45 B 5	pentode
6 F 6 GT	pentode	47	pentode
6 G 6 G/GT	pentode	50 B 5	tétrade à faisceau
6 K 6 G/GT	pentode	50 BM 8	sec. pentode
6 L 6 G	tétrade à faisceau	50 C 5	tétrade à faisceau
6 N 7 GT	double triode	50 L 6 GT	tétrade à faisceau
6 QL 6	pentode	53	sec.triode
6 V 6	tétrade à faisceau	807	tétrade à faisceau
6 W 6	tétrade à faisceau	1625	pentode
9 AQ 5	tétrade à faisceau		

**TUBES ELECTRONIQUES DE TYPE AMERICAIN UTILISES
COMME AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE BF**

Figure 2

Actuellement, dans les amplificateurs BF on emploie de préférence les tétrodes ou pentodes, parce que ces tubes ont un rendement plus grand que celui de la triode. Ils fournissent une plus grande puissance de sortie pour un signal d'entrée équivalent.

Dans ce formulaire, comme déjà dans les leçons théoriques, nous nous occuperons exclusivement des amplificateurs de puissance avec tétrodes à faisceau dirigé ou avec pentodes. Nous examinerons en premier lieu ceux avec un seul tube, fonctionnant en classe A ; puis ceux avec deux tubes en push-pull, fonctionnant en classe A, ou bien en classe AB, ou bien en classe B.

Calcul simplifié d'un amplificateur de puissance avec un seul tube

Le calcul d'un amplificateur de puissance avec un seul tube fonctionnant en classe A, s'exécute toujours de la même façon, soit que l'on utilise un pentode, soit que l'on utilise un tétrode à faisceau dirigé. Avec la triode, le procédé de calcul est identique mais il est simplifié du fait qu'il n'y a pas de circuit de grille écran.

En général, dans les projets, les calculs sont exécutés d'une façon graphique sur les caractéristiques du tube choisi, mais pour les nécessités normales de laboratoire, on peut utiliser les caractéristiques d'emploi conseillées par le constructeur du tube.

En faisant ainsi on pourra simplifier notablement le calcul, en le réduisant à des opérations arithmétiques peu nombreuses et élémentaires.

Le schéma d'un amplificateur typique de puissance avec pentode est indiqué sur la *figure 3 - a*.

Observons brièvement qu'il s'agit d'un amplificateur avec polarisation automatique de grille, semblable au point de vue circuit à l'amplificateur de tension avec pentode étudié dans le formulaire précédent.

Cependant, ici la charge est constituée par le haut-parleur (A), couplé au circuit anodique du tube par le transformateur de sortie (TS), il manque en outre la résistance de grille écran et le condensateur relié entre la grille écran et la masse.

A la *figure 3 - b*, on retrouve le schéma de l'amplificateur de la *figure 3 - a* avec quelques modifications que nous examinerons à la fin des calculs.

D'une façon générale, avant de commencer le calcul d'un amplificateur de puissance, il faut établir quelle doit être la puissance de sortie en se basant sur la puissance du haut-parleur choisi et sur le rendement du transformateur de sortie.

FORMULE 204 - Calcul de la *puissance de sortie* d'un étage final BF, connaissant la *puissance* du haut-parleur et le *rendement* du transformateur de sortie.

P_s = puissance de sortie de l'étage amplificateur.

$$P_s = \frac{P_A}{\eta}$$

P_A = puissance du haut-parleur.

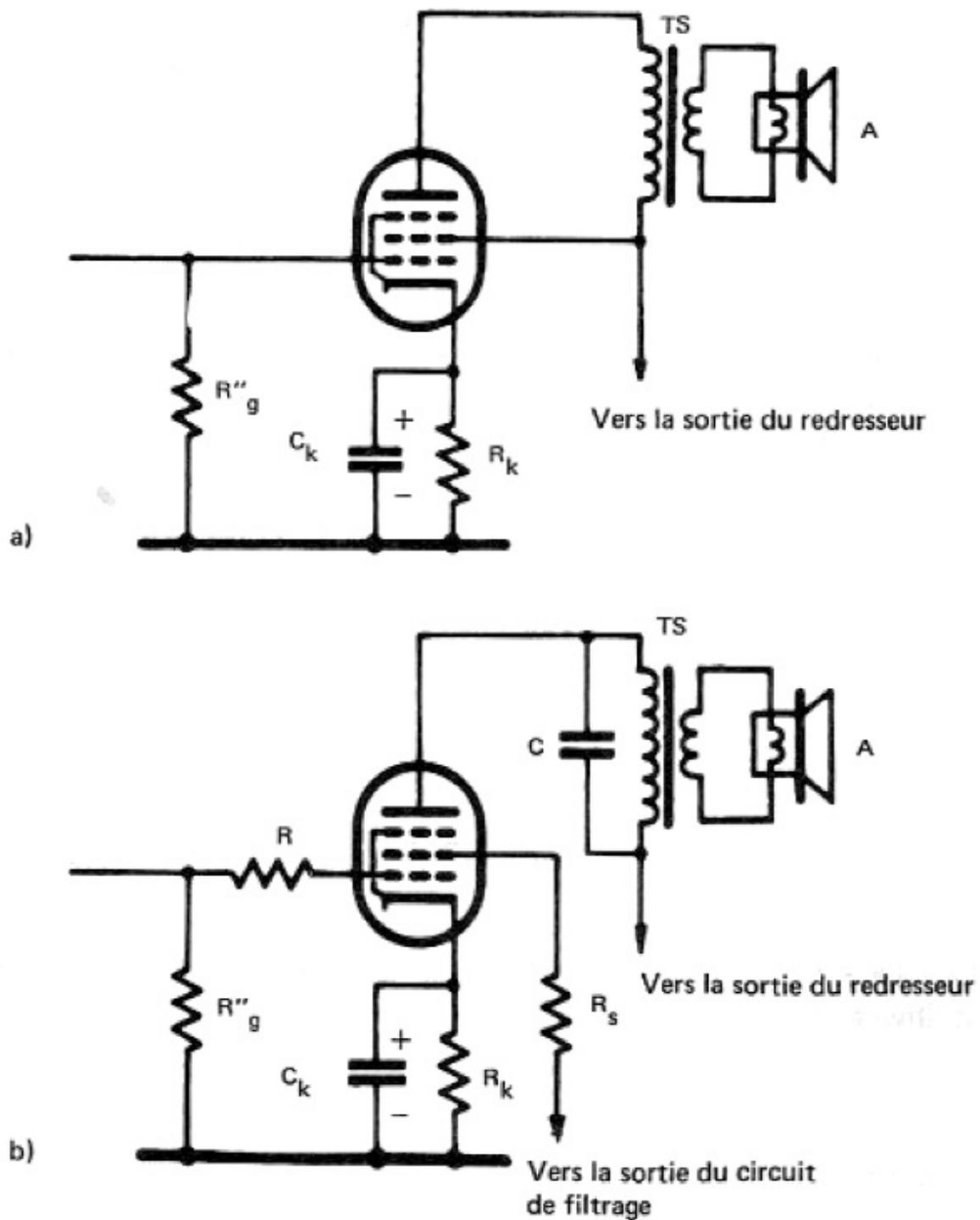
η = rendement du transformateur de sortie.

Les puissances normalement sont exprimées en watt, et quelquefois en milliwatt. Le rendement doit être compris en général entre 0,85 et 0,90.

Exemple :

Données : $P_A = 3,8 \text{ W}$, $\eta = 0,9$.

Puissance de sortie : $P_s = \frac{3,8}{0,9} \approx 4,2 \text{ W}$.



AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE (AVEC PENTODE)

Figure 3

Une fois déterminée la puissance de sortie que demande l'amplificateur, on peut procéder au choix du tube.

Parmi les divers tubes amplificateurs de puissance, il conviendra de choisir celui dont la valeur de la puissance de sortie W_o est proche de la valeur P_s calculée au moyen de la *formule 204*, celle-ci devant être plus grande ou égale et non plus petite.

Par exemple, étant donné que la puissance de sortie calculée au moyen de la *formule 204* est égale à 4,2 W, on pourra adopter le tube EL 84. En effet, ce tube est utilisé en classe A dans les conditions de fonctionnement indiquées par le constructeur, peut fournir une puissance de sortie (W_o) de 4,3 W. Cette valeur est assez proche de la valeur de 4,2 W calculée précédemment.

Ci-dessous sont reportées les données d'emploi du tube EL 84, utilisé comme pentode amplificateur en classe A, qui seront utilisées dans les calculs:

- tension anodique, $V_a = 250$ V
- tension de grille écran, $V_{g2} = 250$ V
- résistance cathodique, $R_k = 160$ Ω
- résistance anodique externe (ou résistance de charge), $R_a = 7$ K Ω
- courant anodique $I_a = 36,6$ mA
- courant de grille écran, $I_{g2} = 7,3$ mA
- puissance de sortie, $W_o = 4,3$ W

On indique quelquefois à la place de la résistance cathodique la valeur de la tension de polarisation V_{g1} . Dans ce cas, pour déterminer R_k , on a recours à la *formule 200* du *Formulaire 8*.

Maintenant, en se référant aux données du précédent classement, cherchons d'attribuer aux différents composants du circuit de la *figure 3 - a* leur valeur. Nous voyons que seule la résistance cathodique est déterminée, dont la valeur R_k est égale à 160Ω ; il reste au contraire à déterminer la résistance de grille contrôle $R_{g''}$, la capacité C_k et les caractéristiques du transformateur de sortie TS.

La résistance de la grille de commande est représentée normalement par le symbole R_{g1} ou R_g . Dans ce formulaire, on a utilisé le symbole $R_{g''}$ en remplacement de R_{g1} pour se souvenir que cette résistance de grille est la même $R_{g''}$ reportée dans la *figure 3*, dans la *formule 198* et dans la *figure 5 du formulaire 8*.

Pour le tube EL 84, la valeur limite maximum de la résistance de la grille de commande est de $1 M\Omega$. On pourra pourtant choisir dans la pratique une résistance de valeur inférieure, par exemple $R_{g''} = 820 K\Omega$ (*Formulaire 8, formule 198*).

Quand parmi les données fournies par le constructeur du tube, on ne trouve pas la valeur limite maximum de la résistance de la grille de commande il conviendra d'adopter une résistance de valeur inférieure à $800 K\Omega$, par exemple une résistance de $680 K\Omega$ ou de $470 K\Omega$.

A propos de la valeur de la capacité cathodique C_k , les considérations qui, dans le *Formulaire 8* suivent la *formule 199* sont toujours valables. C'est-à-dire qu'on peut fixer des valeurs de capacité cathodique comprises entre $5 \mu F$ et $25 \mu F$, comme pour les amplificateurs de tension.

Une fois déterminées les valeurs de $R_{g''}$ et C_k , deux caractéristiques du transformateur TS restent à établir, soit le rapport de transformation et l'inductance du primaire.

FORMULE 205 - Calcul du *rapport de transformation* du transformateur de sortie connaissant le *rendement* que l'on pourra obtenir de ce même transformateur, la *résistance anodique externe* du tube et l'*impédance* (résistance aux courants alternatifs) du haut-parleur.

$$n = \sqrt{\eta \frac{R_a}{R_L}}$$

n = rapport de transformation du transformateur de sortie

η = rendement du transformateur de sortie

R_a = résistance anodique externe

R_L = impédance du haut-parleur

La résistance anodique externe est exprimée d'habitude en *kiloohm* ($k\Omega$). L'impédance du haut-parleur, indiquée par le constructeur est exprimée d'habitude en *ohm* (Ω). Pour cette raison, avant d'appliquer cette formule, il faudra exprimer les deux résistances dans la même unité de mesure, soit toutes les deux en *ohm* ou toutes les deux en *kiloohm*.

Le rendement η du transformateur de sortie est donné par le chiffre qui s'obtient en divisant la puissance secondaire par la puissance primaire. Celui-ci est généralement compris entre 0,85 et 0,90, comme on l'a déjà dit à propos de la *formule 204* et dépend de la qualité des tôles qui forment le noyau et du fil utilisé dans les enroulements.

Le rapport de transformation n exprime le rapport entre le nombre de spires primaires et le nombre de spires secondaires (*Formulaire 4, formule 163*).

Exemple :

Données : pour le tube EL 84 dans les conditions de fonctionnement indiquées précédemment on a $R_a = 7 k\Omega = 7.000 \Omega$; le rendement, soit celui déjà fixé dans l'exemple relatif à la *formule 204*, $\eta = 0,9$; l'impédance de la bobine mobile du haut-parleur soit de $R_L = 4,6 \Omega$.

$$\text{Rapport de transformation : } n = \sqrt{0,9 \frac{7.000}{4,6}} \approx 1.369 = 37.$$

FORMULE 206 - Calcul de l'inductance du primaire du transformateur de sortie, connaissant la résistance anodique et la fréquence de coupure inférieure (soit la limite inférieure des fréquences acoustiques).

L_p = inductance du primaire en H (henry).

$$L_p = \frac{R_a}{6,28 f_i}$$

R_a = résistance anodique en Ω (ohm).

f_i = fréquence de coupure inférieure en Hz (hertz).

La fréquence de coupure inférieure est comprise également entre 30 Hz et 50 Hz.

Exemple :

Données : la résistance anodique du tube EL 84 est $R_a = 7\text{k}\Omega = 7.000\Omega$
la fréquence de coupure inférieure soit $f_i = 50$ Hz.

$$\text{Inductance du primaire : } L_p = \frac{7.000}{6,28 \times 50} = \frac{7.000}{314} \approx 22 \text{ H.}$$

La *formule 206* permet d'établir une valeur d'inductance sensiblement plus grande que celle réellement demandée, mais le résultat de calcul est encore acceptable pour les nécessités normales.

Il faut maintenant rassembler les résultats des calculs relatifs aux trois formules précédentes et quelques données relatives au tube choisi et au haut-parleur, de façon à former une fiche technique de consultation facile pour le projet de transformateur de sortie.

DONNEES POUR LE CALCUL DU TRANSFORMATEUR DE SORTIE

- rapport de transformation : $n = 37$.
- inductance du primaire : $L_p = 22$ H.
- puissance de sortie du tube : $P_s = W_o = 4,3$ W.

- courant anodique (continu) : $I_a = 36,6 \text{ mA}$.
- puissance du haut-parleur : $P_A = 3,8 \text{ W}$.
- impédance du haut-parleur : $R_L = 4,6 \Omega$.

Ces données sont suffisantes pour le calcul du transformateur, mais si l'on doit faire exécuter la fabrication par un constructeur, il faudra indiquer également la résistance anodique du tube ($R_a = 7 \text{ k}\Omega$ dans les exemples considérés).

Ayant terminé le calcul relatif au circuit de la *figure 3 - a*, examinons maintenant les modifications apportées dans le circuit de la *figure 3 - b*.

L'alimentation de la grille écran n'est plus recueillie directement à la sortie du redresseur, soit sur le premier condensateur de filtrage, mais elle est prise à la sortie du circuit de filtrage. Avec cette modification, la tension de ronflement sera inférieure sur la grille écran.

Le condensateur C a pour but de déplacer la fréquence de résonance du primaire en dehors de la bande passante des fréquences acoustiques. Il agit également sur l'extrémité supérieure de la bande passante, on devra donc calculer sa capacité en se basant sur une fréquence de coupure choisie à l'avance.

FORMULE 207 - Calcul de la *capacité en parallèle sur le primaire du transformateur de sortie*, connaissant la *fréquence de coupure supérieure* et la *résistance anodique du tube*.

C = capacité du condensateur en parallèle sur le primaire du transformateur de sortie en nF, (nanofarad).

$$C = \frac{159}{f_s R_a}$$

f_s = fréquence de coupure supérieure en kHz (kilohertz).

R_a = résistance anodique en $\text{k}\Omega$ (kiloohm).

Généralement, on fixe une valeur de fréquence de coupure moindre ou égale à 15 kHz.

Exemple :

Données : $f_s = 10 \text{ kHz}$, $R_a = 7 \text{ k}\Omega$.

Capacité en parallèle sur le primaire du transformateur de sortie :

$$C = \frac{159}{10 \times 7} = \frac{159}{70} \approx 2,27 \text{ nF (en pratique, on pourra utiliser également un condensateur de 2 nF).}$$

Pour compléter l'examen du circuit de la *figure 3 - b*, on note la présence des résistances R et R_s . La résistance R , insérée dans le circuit de grille, a généralement une valeur comprise entre 500Ω et 50.000Ω . La résistance R_s , insérée dans le circuit de la grille écran, peut avoir une valeur limitée à quelques centaines d'ohms. Elles ont toutes les deux la fonction d'éviter d'éventuelles oscillations parasites.

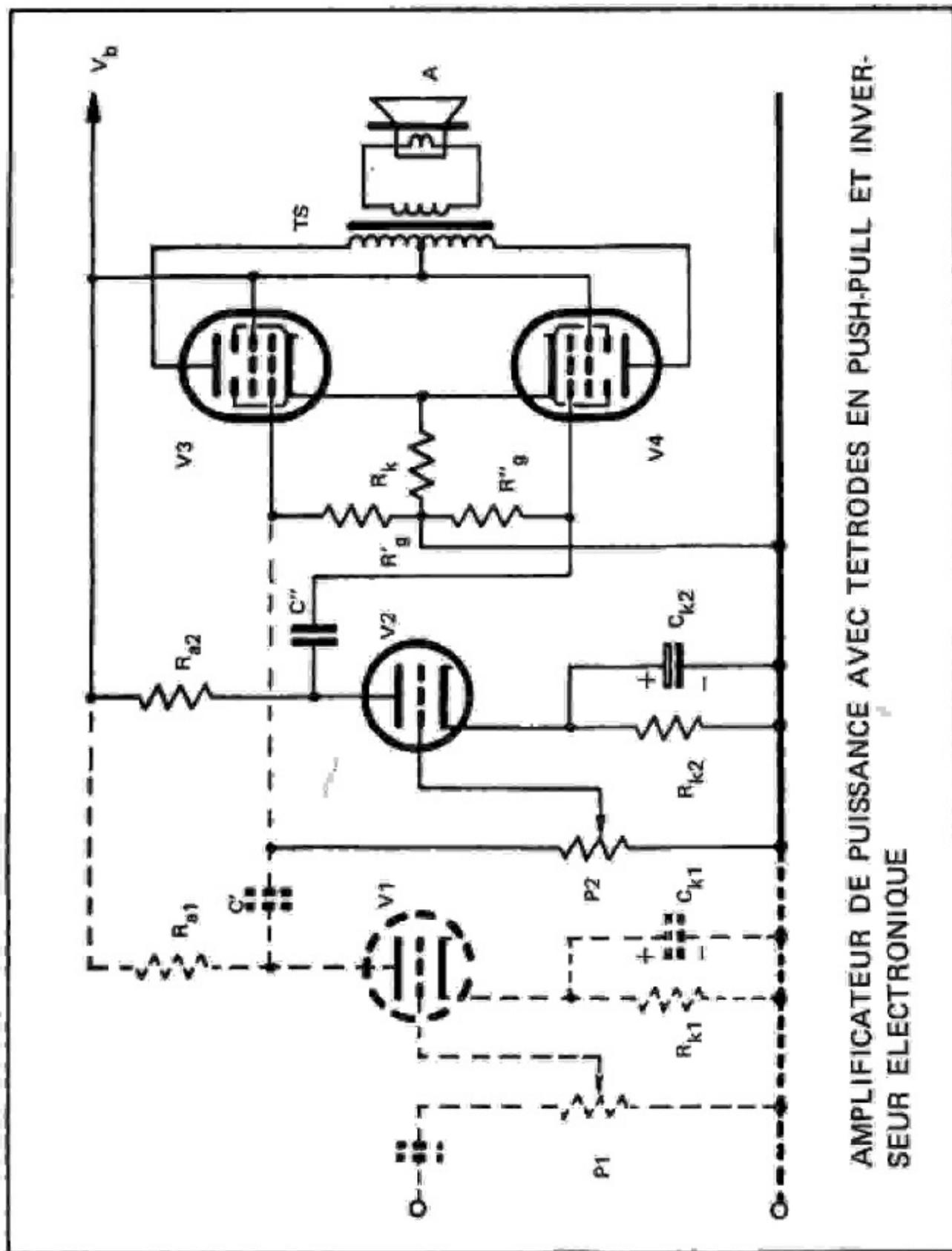
Calcul simplifié des amplificateurs de puissance avec deux tubes push-pull et des inverseurs électroniques (Etages déphaseurs)

Dans la *figure 4* est reporté le schéma d'un amplificateur BF avec deux tétrodes montées en push-pull précédées par un inverseur électronique de type classique.

Les calculs relatifs à l'étage final sont très simples et le procédé est analogue à celui de l'amplificateur de puissance avec un seul tube.

Se basant sur la puissance du haut-parleur et sur le rendement du transformateur de sortie, on calcule à l'aide de la *formule 204*, la puissance de sortie totale que les tubes devront fournir.

Une fois connue la puissance de sortie totale, que nous continuerons à indiquer par le symbole P_s et W_o , on pourra choisir les tubes en se basant sur les données d'emploi et sur les caractéristiques de fonctionnement typique des recueils des tubes.



AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE AVEC TETRODES EN PUSH-PULL ET INVERSEUR ELECTRONIQUE

Figure 4

Par exemple, supposons que la puissance de sortie totale demandée aux deux tubes soit $P_s = 13,3 \text{ W}$. Avec celle-ci, on peut alimenter deux haut-parleurs qui absorbent tous les deux 12 W à travers un transformateur de sortie avec rendement $\eta = 0,9$ (formule 204). En consultant un recueil de tubes, on trouve que deux tubes 6 L 6 G en push-pull, fonctionnant en classe A_1 , peuvent fournir une puissance de sortie totale $W_o = 13,8 \text{ W}$. Cette valeur est un peu supérieure à celle demandée ($P_s = 13,3 \text{ W}$), mais encore acceptable. Pour cette raison, on pourra utiliser un couple de tubes 6 L 6 G utilisés comme amplificateurs push-pull en classe A_1 , dans les conditions de fonctionnement suivantes :

- tension anodique , $V_a = 250 \text{ V}$
- tension de grille écran, $V_{g2} = 250 \text{ V}$
- résistance cathodique, $R_k = 125 \Omega$
- résistance anodique (ou résistance de charge entre l'anode et anode)
 $R_{a-a} = 5 \text{ k}\Omega$
- courant anodique (total des deux tubes), $I_a = 120 \text{ mA}$
- courant de grille écran (total des tubes), $I_{g2} = 10 \text{ mA}$
- puissance de sortie (totale) $W_o = 13,8 \text{ W}$.

Quelquefois à la place de la résistance cathodique, on indique la valeur de la tension de polarisation V_{g1} . Dans un tel cas, pour déterminer R_k , on a recours à la *formule 200 du formulaire 8*, divisant par moitié les valeurs du courant anodique et du courant de grille écran indiquées ci-dessous ($I_a = 60 \text{ mA}$ à la place de $I_a = 120 \text{ mA}$ et $I_{g2} = 5 \text{ mA}$ à la place de $I_{g2} = 10 \text{ mA}$).

Pour la détermination de la valeur des résistances de grille de commande R_g' et R_g'' *figure 4* on procède comme pour la R_g'' de l'amplificateur de puissance avec un seul tube ; la valeur choisie doit être égale pour les deux résistances ($R_g' = R_g''$).

Pour calculer le rapport de transformation du transformateur de sortie, on utilise la *formule 205*, mettant à la place de R_a la valeur de R_{a-a} .

Exemple :

Données: rendement, $\eta = 0,9$; résistance anodique totale, $R_{a-a} = 5k\Omega = 5.000 \Omega$; impédance des deux haut-parleurs reliés en parallèle, $R_L = 2,5$.

Rapport de transformation du transformateur de sortie :

$$n = \sqrt{0,9 \frac{5.000}{2,5}} = 1.800 \approx 42,4.$$

Le rapport de transformation ainsi calculé est égal au nombre que l'on obtient en divisant le nombre total des spires primaires par le nombre des spires secondaires. Quelques auteurs préfèrent au contraire utiliser comme rapport de transformation des transformateurs de sortie pour les étages push-pull, le nombre que l'on obtient en divisant le nombre de spires d'une seule section primaire par le nombre de spires du secondaire. Dans ce second cas, puisque les deux sections de l'enroulement primaire sont égales entre elles, le nombre de spires primaires sera divisé par deux et on devra donc diviser par deux le résultat obtenu précédemment (21,2 au lieu de 42,4).

Pour compléter les calculs relatifs au transformateur de sortie, il reste à déterminer l'inductance primaire. Même dans ce cas, on procède comme pour le transformateur de sortie de l'amplificateur avec un seul tube final. En utilisant la *formule 206*, en y substituant R_a par la valeur $R_{a-a} = 5k\Omega = 5.000 \Omega$ et f_i par la valeur de la fréquence de coupure inférieure choisie, par exemple, 50 Hz on obtient :

$$\text{inductance primaire (totale), } L_p = \frac{5.000}{6,28 \times 50} = \frac{5.000}{314} \approx 15,9 \text{ H.}$$

DONNEES POUR LE CALCUL DU TRANSFORMATEUR DE SORTIE

- Rapport de transformation : $n = 42,4$ (ou bien $n = 21,2$, si on considère une seule section du primaire).
- Inductance primaire totale : $L_p = 15,9$ H.
- Puissance de sortie totale des tubes : $P_s = W_o = 13,8$ W.
- Courant anodique total (continu) : $I_a = 120$ mA.
- Puissance totale des haut-parleurs : $P_A = 12$ W.
- Impédance équivalente des haut-parleurs : $R_L = 2,5$ Ω .
- Résistance anodique externe : $R_{a-a} = 5$ k Ω .

Une fois terminés les calculs relatifs à l'amplificateur final de la *figure 4*, il reste à examiner le circuit de l'étage déphaseur qui précède l'étage final.

L'étage déphaseur est constitué par un amplificateur normal de tension (V2), auquel est pourtant confié le devoir de fournir le signal en opposition de phase par rapport au même signal à la sortie du premier étage amplificateur (V1).

En général, les triodes V1 et V2 sont identiques, ainsi que leurs circuits. La seule différence consiste dans le fait que le potentiomètre P1 est un potentiomètre normal, utilisé pour le contrôle de volume, alors que le potentiomètre P2 est du type semi-fixe, qu'il faudra régler une seule fois de façon à ce que le signal à la sortie de l'étage ait la même amplitude qu'à l'entrée.

Pour le calcul de l'étage déphaseur, les règles exposées dans le *Formulaire 8* pour le calcul des amplificateurs de tension sont toujours valables.

Dans le tableau de la figure 5 sont reportées les données d'emploi pour les tubes fabriqués par la RCA américaine. A propos des valeurs reportées sur ce tableau, les considérations déjà faites dans le formulaire 8 à propos des données contenues dans le tableau figure 4, sont toujours valables.

Considérons maintenant brièvement l'amplificateur de puissance présenté dans la figure 6. Il s'agit encore d'un amplificateur push-pull, dans lequel seront employées deux pentodes à la place de deux tétrodes à faisceau dirigé et un inverseur avec prise cathodique à la place de l'inverseur considéré précédemment.

Le procédé de calcul de l'étage final est le même que celui déjà décrit pour l'amplificateur push-pull précédent : il se peut que le constructeur du tube indique un fonctionnement en classe AB_1 (AB), ou en classe B_1 (B) au lieu du fonctionnement en classe A_1 (A), mais les calculs à exécuter restent toujours les mêmes.

A propos de l'inverseur avec prise cathodique, il faut observer que la résistance anodique R_a doit être rigoureusement égale à la somme des résistances R_k et R_l , comme nous l'avons déjà vu dans la théorie 22, (paragraphe 1.4 et figure 9 - c).

La valeur de R_k se calcule en utilisant la formule 196 du formulaire 8.

La valeur de R_a s'établit avec la formule suivante.

FORMULE 208 - Calcul de la résistance anodique d'un inverseur électronique avec prise cathodique, connaissant la tension d'alimentation anodique, la tension anodique et le courant anodique (tension et courant anodiques sont précisés par le constructeur du tube.

R_a = résistance anodique en $k\Omega$ (kiloohm)

V_b = tension d'alimentation anodique en V (volt)

V_a = tension anodique en V (volt)

I_a = courant anodique en mA (milliampère)

$$R_a = \frac{V_b - V_a}{I_a}$$

TABLEAU 5									
V_b (V)	$R_{a1} - R_{a2}$ (M Ω)	$R'_g - R''_g$ (M Ω)	R_S (M Ω)	$R_{k1} - R_{k2}$ (Ω)	C_s (μF)	$C_{k1} - C_{k2}$ (μF)	$C' - C''$ (μF)	V_u (V)	G
90	0,1	0,1	-	1.850	-	-	0,028	4,1	13
		0,25	-	1.960	-	-	0,012	5,9	23
		0,5	-	2.050	-	-	0,0065	6,9	25
	0,25	0,25	-	3.400	-	-	0,011	6,2	26
		0,5	-	3.750	-	-	0,006	8,6	30
		1	-	3.900	-	-	0,003	10	33
	0,5	0,5	-	5.500	-	-	0,005	7,4	31
		1	-	6.300	-	-	0,003	10	33
		2	-	7.450	-	-	0,0015	12	36
180	0,1	0,1	-	960	-	-	0,031	17	25
		0,25	-	1.070	-	-	0,012	24	29
		0,5	-	1.220	-	-	0,0065	27	33
	0,25	0,25	-	1.850	-	-	0,011	21	35
		0,5	-	2.150	-	-	0,006	28	39
		1	-	2.400	-	-	0,003	32	41
	0,5	0,5	-	3.050	-	-	0,006	24	40
		1	-	3.420	-	-	0,003	32	43
		2	-	3.890	-	-	0,002	36	45
300	0,1	0,1	-	750	-	-	0,033	35	29
		0,25	-	930	-	-	0,014	50	34
		0,25	-	1.040	-	-	0,007	54	36
	0,25	0,25	-	1.400	-	-	0,012	45	39
		0,5	-	1.680	-	-	0,006	55	42
		1	-	1.840	-	-	0,003	64	45
	0,5	0,5	-	2.330	-	-	0,006	50	45
		1	-	2.980	-	-	0,003	62	48
		2	-	3.280	-	-	0,002	72	49

Tubes : 6SC7, 12 CS 7 - (le circuit d'emploi est reporté à la figure 4).

DONNEES RELATIVES A LA CONSTRUCTION ET AU FONCTIONNEMENT DES INVERSEURS ELECTRONIQUES A TRIODES

Figure 5

Exemple :

Donnés : $V_b = 340 \text{ V}$, $V_a = 250 \text{ V}$, $I_a = 2,3 \text{ mA}$

$$\text{Résistance anodique : } R_a = \frac{340 - 250}{2,3} = \frac{90}{2,3} \approx 39 \text{ k}\Omega.$$

Une fois connues les valeurs de R_k et de R_a , on détermine la valeur de la résistance R à mettre en série avec la résistance cathodique R_k en exécutant la soustraction entre la valeur de R_a et celle de R_k .

Exemple :

Données : $R_k = 2.000 \Omega$, $R_a = 35.000 \Omega$.

$$\text{Résistance à mettre en série à } R_k : R = 35.000 - 2.000 = 33.000 \Omega.$$

La valeur de la résistance de grille R_g est comprise d'une manière générale entre $40 \text{ k}\Omega$ et $800 \text{ k}\Omega$.

Pour les condensateurs de couplage C' et C'' , on fixe des valeurs égales comprises entre 10 nF et 50 nF .

GUIDE POUR LE CALCUL D'UN AMPLIFICATEUR SIMPLE BF AVEC ALIMENTATION ANODIQUE ET UN TRANSFORMATEUR D'ALIMENTATION.

En utilisant les formules et les tableaux rassemblés jusqu'à maintenant, il est possible d'exécuter le calcul complet d'un amplificateur BF simple avec l'alimentation anodique correspondante et le transformateur d'alimentation.

Il faut pourtant tenir compte que les différentes opérations ne se succèdent pas dans le même ordre dans lequel elles ont déjà été présentées dans les formulaires précédents.

En outre, d'autres opérations très simples sont nécessaires, qui permettront de rassembler les calculs des différents étages composant un amplificateur BF.

Pour faciliter la tâche de celui qui veut s'exercer au calcul d'un amplificateur BF simple, nous vous indiquons ci-dessous sommairement l'ordre dans lequel doivent s'exécuter les opérations :

1 – CHOIX DU HAUT-PARLEUR

Il convient de choisir en premier lieu le haut-parleur en se basant sur la puissance acoustique que l'on veut obtenir.

2 – CHOIX DU TUBE FINAL DE PUISSANCE

Avec la *formule 204*, on calcule la puissance de sortie que le tube final devra fournir. Se basant sur cette valeur, on choisit le tube final, suivant le critère indiqué au début de ce formulaire, après la *formule 204*.

3 – CHOIX DU TUBE AMPLIFICATEUR DE TENSION

Avant de choisir le tube amplificateur de tension, il faut déterminer le gain que l'étage devra introduire entre la sortie du microphone, ou du pick-up (tête de lecture pour disques), ou du détecteur radio, et l'entrée de l'étage final de puissance.

Au début du calcul simplifié d'un amplificateur de tension avec triode (*formulaire 8*), nous avons déjà vu comment on peut déterminer le gain de l'amplificateur de tension et connaissant celui-ci procéder au choix du tube.

Il faut pourtant aborder un autre aspect du problème, soit le relevé des données qui permettront de calculer le gain de l'étage. D'habitude, on donne la valeur efficace de la tension de sortie des microphones, des pick-up et des détecteurs radio. Par contre, la valeur de la tension d'entrée de l'étage final n'est pas toujours indiquée.

Dans le premier cas, pour calculer le gain de l'amplificateur, il suffira de diviser la valeur efficace de la tension d'entrée de l'étage final par la valeur de la tension de sortie du microphone, ou du pick-up ou du détecteur radio ; ces deux valeurs devront être exprimées dans la même unité de mesure.

Dans le second cas, pour déterminer le gain, on pourra utiliser la valeur de la tension de polarisation de la grille de commande, en tenant compte du fait que la tension de polarisation représente aussi l'amplitude de tension maximum du signal appliqué à l'entrée du tube.

Pour calculer le gain, on pourra diviser la tension de polarisation de l'étage final par la valeur maximum de la tension de sortie du microphone, ou du pick-up, ou du détecteur radio. Si on n'a pas donné la valeur maximum de cette dernière tension, mais la valeur efficace, on pourra calculer la valeur maximum avec la *formule 145 du formulaire 3*.

4 – COURANTS D'ALIMENTATION ANODIQUE

Dans la *figure 7*, le courant anodique du tube V_1 est indiqué par le symbole I_{a1} ; le courant anodique du tube V_2 est indiqué par le symbole I_{a2} . L'on trouve également dans les données d'emploi des tubes amplificateurs tétrodes et pentodes les courants de grille écran (I_{g2} dans la *figure 7*).

Connaissant les valeurs de ces courants et observant le circuit de l'amplificateur, on pourra calculer facilement les courants de l'alimentation anodique.

Le courant I_o qui alimente le circuit anodique du tube V_2 et le courant de grille écran de ce même tube sera égal à la somme des courants I_{a2} et I_{g2} ($I_o' = I_{a2} + I_{g2}$). Le courant I_o'' qui alimente seulement le circuit anodique du tube V_1 sera égal au courant anodique de ce même tube ($I_o'' = I_{a1}$).

5 – TENSION D'ALIMENTATION ANODIQUE

La tension d'alimentation anodique V_o , présente à la sortie du redresseur, est égale à la tension de grille écran et à la tension anodique du tube final.

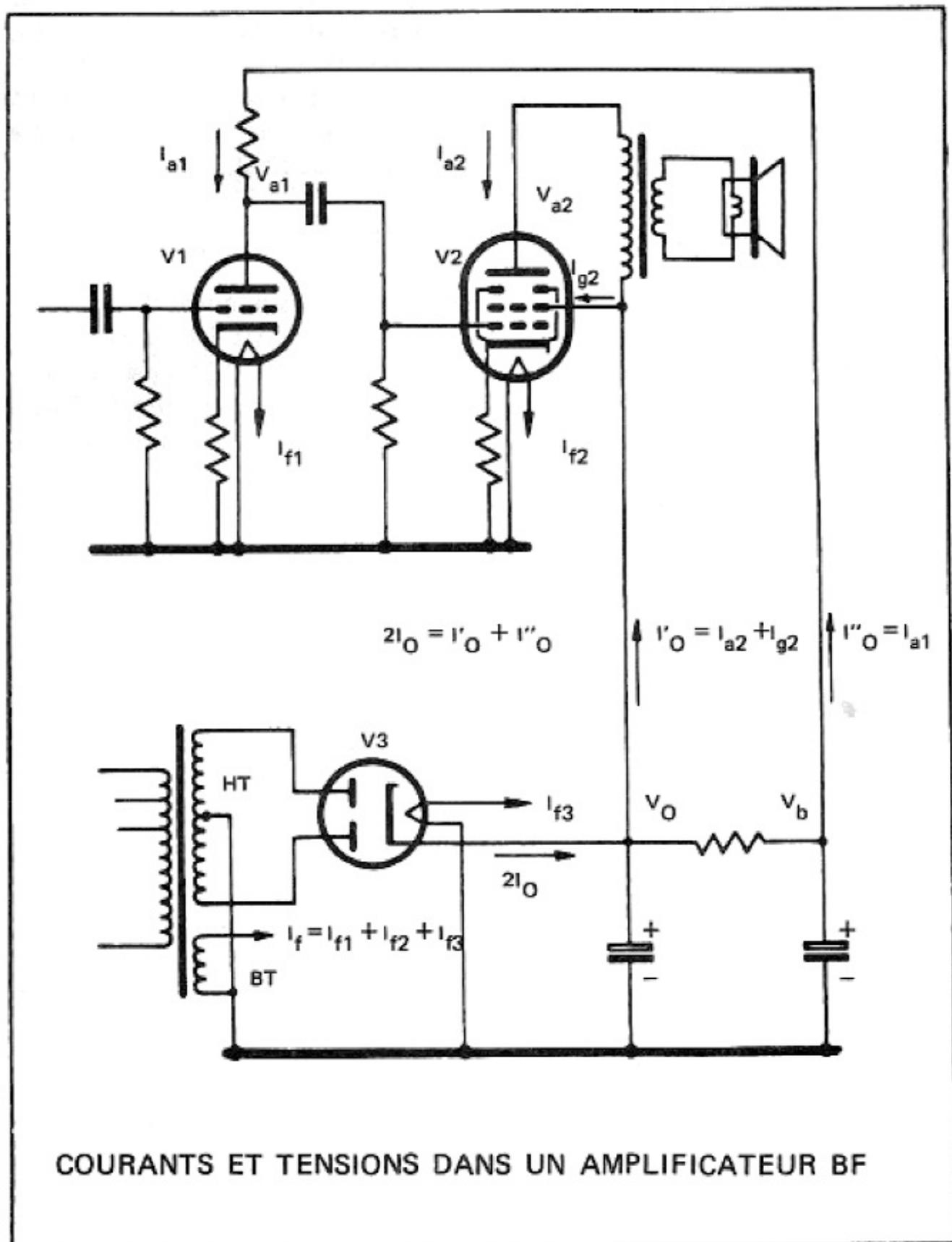


Figure 7

En réalité, la tension anodique V_{a2} sera sensiblement inférieure à V_o , puisqu'il existe une chute de tension aux extrémités du primaire du transformateur de sortie ; mais cette chute de tension est pratiquement négligeable puisque la diminution de la tension anodique ne modifie pas d'une manière appréciable les conditions de fonctionnement du tube final.

6 - CALCUL DE L'ALIMENTATION ANODIQUE

En attribuant à V_o la valeur indiquée par les données d'emploi du tube pour la tension anodique V_{a2} , et au courant redressé $2 I_o$ la valeur que l'on obtient en additionnant I_o' et I_o'' ($2 I_o = I_o' + I_o''$), on peut calculer l'alimentation anodique selon le procédé décrit dans le *formulaire 6* (Calcul simplifié d'un redresseur à double alternance avec tube électronique à vide).

7 - CALCUL DU TRANSFORMATEUR D'ALIMENTATION

Pour calculer le transformateur d'alimentation, on doit connaître la valeur du courant efficace qui devra circuler dans le secondaire H.T du transformateur et la valeur de la puissance de ce même transformateur. Ces deux valeurs sont établies avec les calculs indiqués au point 7 et au point 8 du calcul simplifié d'un redresseur à double alternance (*formulaire 6*). En outre, on détermine le courant qui devra circuler dans le secondaire BT en additionnant les courants de chauffage de chaque tube ($I_f = I_{f1} + I_{f2} + I_{f3}$). Les courants de chauffage sont indiqués dans les recueils de tubes. Enfin, on donne comme haute tension celle qui résulte du calcul du redresseur (valeur efficace de la tension alternative d'entrée) et comme tension BT celle du chauffage des filaments (laquelle devra être égale pour tous les tubes choisis). Avec ces données, on pourra exécuter le calcul du transformateur d'alimentation selon le procédé exposé dans le *formulaire 4*.

8 - CALCUL DE L'AMPLIFICATEUR FINAL DE PUISSANCE

Pour ce calcul, on peut suivre le procédé exposé au début de ce formulaire.

9 – VERIFICATION DE LA TENSION DE RONFLEMENT PRESENTE A LA SORTIE DU REDRESSEUR ET CALCUL DE LA CELLULE DE FILTRAGE

Pour exécuter cette vérification, on calcule la tension de ronflement avec la *formule 188 du formulaire 7*, après avoir établi la valeur (%) de la tension de ronflement au moyen du graphique *du formulaire 7*. Nous indiquons cette tension de ronflement par le symbole V_r déjà utilisé dans le *formulaire 7*.

On calcule successivement la tension de ronflement tolérable à la sortie du redresseur en utilisant la formule suivante.

FORMULE 209 - Calcul de la *tension de ronflement tolérable à la sortie du redresseur*, connaissant la résistance anodique du tube final et la résistance interne de ce tube.

$$V_r' = 0,35 \left(\frac{R_i}{R_a} + 1 \right) \sqrt{R_a}$$

V_r' = tension de ronflement tolérable à la sortie du redresseur en V (volt)

R_i = résistance interne du tube final en $K\Omega$ (kiloohm)

R_a = résistance anodique en $K\Omega$ (kiloohm)

La résistance interne du tube, comme la résistance anodique, sont indiquées dans les recueils de tubes.

Exemple :

Données : (relatives au tube EL 84) : $R_i = 38 k\Omega$, $R_a = 7 k\Omega$.

Tension de ronflement tolérable à la sortie du redresseur :

$$V_{r'} = 0,35 \times \left(\frac{38}{7} + 1 \right) \sqrt{7} \approx 0,35 \times (5,4 + 1) \sqrt{7} \approx 0,35 \times$$

$$6,4 \times 2,6 \approx 5,8 \text{ (valeur abrégée).}$$

En comparant la tension de ronflement calculée avec la tension de ronflement déterminée précédemment, on devra vérifier que $V_{r'}$ soit moins grand ou au maximum égal à V_r . En général, la vérification se montre positive mais si cela n'est pas, on doit augmenter la capacité d'entrée du filtre jusqu'à la limite maximum permise par le tube redresseur.

Pour le calcul du circuit de filtrage, on peut suivre le procédé indiqué dans le *formulaire 7*, en donnant une tension de sortie V_D (dans le *formulaire 7*, on l'a représenté par le symbole V_o') moins grande que V_o d'une valeur égale à environ 20 % de la même tension V_o (par exemple, $V_D = 160V$ pour $V_o = 200 V$).

10 - CALCUL DU PREAMPLIFICATEUR

Pour ce calcul on peut suivre le processus présenté dans le *formulaire 8*.

