

FORMULAIRE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

CIRCUITS ELECTRONIQUES III

Ayant terminé l'examen des alimentations dans le formulaire précédent, nous allons maintenant étudier les amplificateurs de tension BF.

En général ces montages se trouvent entre un DISPOSITIF D'ENTREE et L'ETAGE FINAL DE PUISSANCE.

Le DISPOSITIF D'ENTREE peut être constitué par un CIRCUIT DETECTEUR D'ERREUR, un CAPTEUR etc... (ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE), un circuit DETECTEUR VIDEO, un CIRCUIT DE BALAYAGE, etc... (TELEVISION), un circuit DETECTEUR SON, un TOURNE-DISQUES, etc... (RADIO).

Ces circuits font l'objet d'une étude détaillée dans LES COURS DE SPECIALISATION RADIO - TELEVISION et ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE.

Pour le moment, il vous suffit donc de savoir que l'ETAGE AMPLIFICATEUR DE TENSION a pour rôle d'AMPLIFIER un signal, beaucoup trop faible pour être exploité directement.

C'est le cas par exemple pour le signal fourni par la TETE DE LECTURE d'un TOURNE-DISQUES.

Ce signal est d'abord amplifié en TENSION avant d'être appliqué à l'AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE actionnant le HAUT-PARLEUR.

T A B L E A U 1			
DESIGNATION	TYPE	DESIGNATION	TYPE
ABC1	triode	EF6	pentode
DAF91	sec. pentode	EF9	pentode
DAF96	sec. pentode	EF40	pentode
EABC80	sec. triode	EF83	pentode
EA42	sec. pentode	EF86	pentode
EBC3	sec. triode	EF98	pentode
EBC41	sec. triode	PABC80	sec. triode
EBC81	sec. triode	PCL82	sec. triode
EBF80	sec. pentode	PCL86	sec. triode
ECC40	double triode	PF86	pentode
ECC82	double triode	UABC80	sec. triode
ECC83	double triode	UAF42	sec. pentode
ECL80	sec. triode	UBC41	sec. triode
ECL82	sec. triode	UBC81	sec. triode
ECL86	sec. triode	UCL82	sec. triode
TUBES ELECTRONIQUES DE TYPE EUROPEEN POUVANT ETRE UTILISES COMME AMPLIFICATEURS DE TENSION BF			

Figure 1

T A B L E A U 2			
DESIGNATION	TYPE	DESIGNATION	TYPE
1S5	sec. pentode	12AT6	sec. triode
1U5	sec. pentode	12AU7	double triode
6AK8	sec. triode	12AU8	sec. pentode
6AT6	sec. triode	12AV6	sec. triode
6AU8	sec. triode	12AX7	double triode
6AV6	sec. triode	12C8 GT	sec. pentode
6B6 G	sec. triode	12J5 GT	triode
6B7	sec. pentode	12J7 GT	pentode
6B8 G/GT	sec. pentode	12NK7 GT	pentode
6BM8	sec. triode	12Q7 GT	sec. triode
6F7	triode pentode	12SJ7 GT	pentode
6C5 G	triode	12SL7 GT	double triode
6J5 GT	triode	12SN7 GT	double triode
6J7 GT	pentode	12SQ7 GT	sec. triode
6NK7 GT	pentode	16A8	sec. triode
6P7 G	triode pentode	19AK8	sec. triode
6Q7 G/GT	sec. triode	19T8	sec. triode
6S7 G/GT	pentode	27	triode
6SH7 GT	pentode	28AK8	sec. triode
6SJ7 GT	pentode	37	triode
6SL7 GT	double triode	56	triode
6SN7 GT	double triode	57	pentode
6SQ7 GT	sec. triode	75	sec. triode
6T7 G/GT	sec. triode	76	triode
6T8	sec. triode	77	pentode
6U7 G	pentode	85	sec. triode
6W7 G/GT	pentode	1603 T	pentode
9AK8 S	sec. triode	1620 GT	pentode
9T8	sec. triode		
TUBES ELECTRONIQUES DE TYPE AMERICAIN POUVANT ETRE UTILISES COMME AMPLIFICATEURS DE TENSION BF			

Figure 2

I - CALCUL SIMPLIFIE D'UN AMPLIFICATEUR DE TENSION AVEC TRIODE

Considérons le circuit typique d'un amplificateur de tension BF montré sur la figure 3. Il s'agit d'un étage amplificateur avec triode à polarisation automatique de grille, couplé à l'étage suivant par un condensateur et une résistance.

L'amplificateur BF AVEC COUPLAGE PAR RESISTANCE ET CAPACITE est constitué par des composants simples, et permet d'obtenir UN AMPLIFICATEUR ASSEZ UNIFORME DANS UNE LARGE BANDE DE FREQUENCES ACOUSTIQUES.

D'une façon générale, le calcul de l'amplificateur est exécuté en partant du gain en tension que l'on veut avoir, ou également de la valeur de crête (appelée aussi valeur maximum) du signal d'entrée et de la valeur de crête du signal de sortie.

Dans le second cas, soit lorsqu'on connaît la valeur de crête du signal d'entrée (V_e) et la valeur correspondante de crête du signal de sortie (V_u), on peut calculer facilement le gain (G) de tension en divisant la tension V_u par la tension V_e . En exprimant la même opération en symboles mathématiques, on aura :

$$G = \frac{V_u}{V_e}$$

EXEMPLE :

La tension V_e (figure 3) provenant d'un électrophone a une valeur de crête de 0,2 volt. La tension V_u présente à la sortie de l'amplificateur, doit avoir une valeur correspondante de crête de 8 volts pour pouvoir piloter l'étage suivant.

Dans ces conditions, LE GAIN G DE L'AMPLIFICATEUR DEVRA ETRE :

$$G = \frac{V_u}{V_e} = \frac{8}{0,2} = 40$$

Une fois établi le gain G de l'amplificateur, on pourra procéder au choix du tube triode. Dans ce but, il faudra d'abord chercher les données techniques des tubes, en se servant d'un catalogue de tubes, ou du tableau de la figure 1 ou de la figure 2, pour identifier rapidement les différents tubes triodes amplificateurs de tension pour BF.

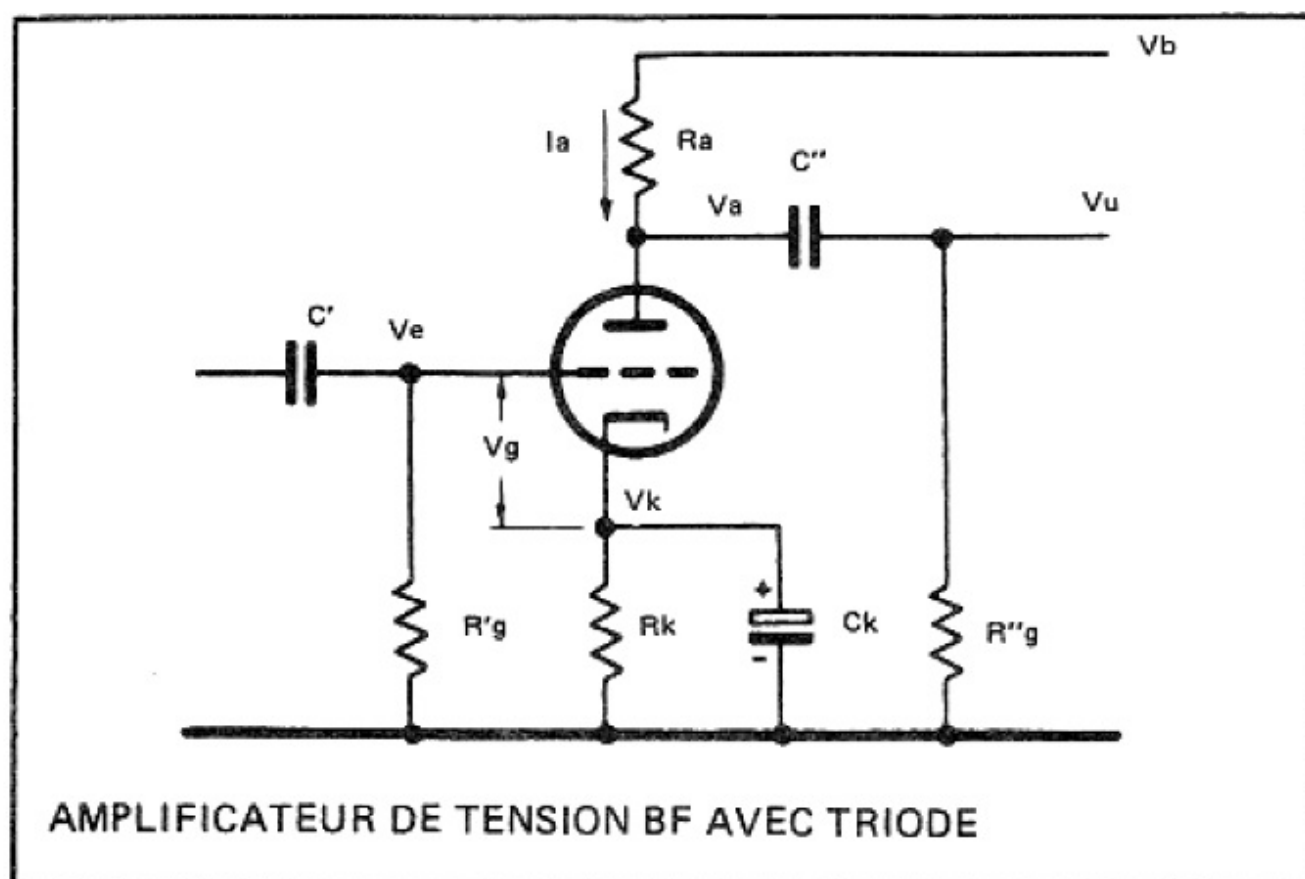


Figure 3

Parmi les différentes données techniques, il faut considérer tout de suite le coefficient d'amplification (ou facteur d'amplification) K .

D'une façon générale, on devra choisir un tube qui ait un coefficient d'amplification plus grand que le gain. En particulier, si le gain doit être plus grand ou égal à 40, il faudra prendre un tube qui ait un coefficient plus grand ou égal à 70.

Si le gain doit avoir une valeur comprise entre 30 et 40, il faudra prendre un tube avec coefficient compris entre 50 et 70. Si enfin le gain est plus petit que 30, on prendra une triode ayant un coefficient moins grand que 50, mais toujours plus grand que le gain choisi.

EXEMPLE :

Le gain de tension établi dans l'exemple précédent, est 40. Dans ce cas, on pourra prendre le tube européen EABC80 (section triode) ou bien l'équivalent en tube américain 6AK8 (section triode), pour lesquels on a le coefficient d'amplification $K = 70$.

Le tube choisi, on peut rassembler finalement toutes les données nécessaires pour mettre en place et exécuter le calcul de l'amplificateur.

DONNEES POUR LE CALCUL

- 1 - GAIN DE L'AMPLIFICATEUR, $G = 40$.
- 2 - Tube, EABC80 ou 6AK8 (section triode)
- 3 - CONDITIONS CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT
 - tension anodique, $V_a = 100 \text{ V}$
 - tension de grille, $V_g = -1 \text{ V}$
 - courant anodique, $I_a = 0,8 \text{ mA}$
 - pente (ou transconductance) du tube, $S = 1,45 \text{ mA/V}$
(milliampère par volt)
 - COEFFICIENT D'AMPLIFICATION, $\mu = 70$.

Toutes les données caractéristiques reportées maintenant représentent les valeurs moyennes que l'on peut attribuer aux tubes EABC80 ou 6AK8.

D'une façon générale, pour établir ces données, le constructeur donne la valeur du courant anodique. Il détermine la tension de grille en fonction du courant anodique.

En se basant sur les valeurs citées de courant anodique, tension de grille et tension anodique, on arrive à déterminer un point de fonctionnement où la pente de la triode et le coefficient d'amplification sont pratiquement constants.

On devra faire référence à toutes ces données caractéristiques. Si on n'a pas à sa disposition, les données d'emploi du tube, on peut tout de même calculer les différents éléments de l'amplificateur de tension.

Voyons maintenant comment on procède au calcul en se basant sur les données précédentes.

FORMULE 193 - Calcul de la résistance interne (Ra ou Ri) d'une triode, connaissant la pente et le coefficient d'amplification.

$$R_a = \frac{\mu}{S}$$

Ra = résistance interne d'une triode en kΩ (kiloohm)

μ = coefficient d'amplification

S = pente en mA/V (milliampère par volt)

La présente formule est tirée de la formule suivante 194 en se basant sur les règles du calcul littéral exposées dans le fascicule Mathématiques 1.

Souvent la valeur de la résistance interne est déjà indiquée par le constructeur du tube parmi les données caractéristiques.

EXEMPLE :

Nous reprenons les données déjà indiquées précédemment pour le tube EABC80 (ou 6AK8).

$$S = 1,45 \text{ mA/V} \cdot \mu = 70$$

Résistance interne :

$$R_a = \frac{70}{1,45} \approx 48,2 \approx 48 \text{ k}\Omega \text{ (valeur arrondie)}$$

Nous reportons ensuite également les formules pour le calcul du coefficient d'amplification et de la pente, bien que les valeurs respectives pour le calcul de l'amplificateur de tension aient déjà été données.

FORMULE 194 - Calcul du coefficient d'amplification d'une triode, connaissant la pente et la résistance interne (R_a ou bien R_i).

Enoncé : Le coefficient d'amplification d'une triode est égal au produit de la pente, exprimée en milliampère par volt, par la résistance interne, exprimée en kiloohm.

	μ	=	coefficient de l'amplification
$\mu = S R_a$	S	=	pente en mA/V (milliampère par volt)

R_a = résistance interne de la triode en $k\Omega$ (kiloohm)

EXEMPLE :

Données : $S = 3 \text{ mA/V}$, $R_a = 6,7 \text{ K}\Omega$

COEFFICIENT D'AMPLIFICATION :

$\mu = 3 \times 6,7 = 20,1 = 20$ (valeur arrondie)

FORMULE 195 - Calcul de la pente d'une triode, connaissant le coefficient d'amplification et la résistance interne (R_a ou bien R_i).

S = pente en mA/V (milliampère par volt)

$$S = \frac{\mu}{R_a}$$

μ = coefficient d'amplification

R_a = résistance interne de la triode en $k\Omega$ (kiloohm)

Après la brève parenthèse représentée par la formule 194 et la formule 195, reprenons le calcul de l'amplificateur.

FORMULE 196 - Calcul de la résistance cathodique nécessaire pour obtenir la polarisation automatique de la grille de la triode, connaissant le courant anodique et la tension de polarisation.

Enoncé : La résistance de cathode, exprimée en kiloohm, se calcule en divisant la tension de polarisation, exprimée en volt, par le courant anodique exprimé en milliampère.

R_k = résistance cathodique en $k\Omega$ (kiloohm)

$$R_k = \frac{V_k}{I_a}$$

V_k = tension de polarisation en V (volt)
 I_a = courant anodique en mA (milliampère)

Le courant anodique peut aussi être exprimé en ampère (A) ; dans un tel cas, la résistance cathodique sera exprimée en ohm (Ω).

D'une façon générale, la tension de polarisation de la cathode (V_k de la figure 3) est égale en valeur absolue à la tension de grille (indiquée par V_g sur les recueils des tubes récepteurs), ou bien est égale à la valeur de la tension de grille sans le signe - (par exemple, pour $V_g = -1$ V, V_k sera égal à 1 V).

Exemple : En considérant maintenant les données caractéristiques du tube EABC80 (ou 6AK8), nous trouvons que $V_g = -1$ V, et pour cela on aura :

$$V_k = 1 \text{ V}, I_a = 0,8 \text{ mA}$$

RESISTANCE CATHODIQUE :

$$R_k = \frac{1}{0,8} = 1,25 \text{ k}\Omega$$

FORMULE 197 - Calcul de la résistance dynamique de l'amplificateur de tension avec triode, connaissant le gain de tension de l'étage, le coefficient d'amplification et la résistance interne du tube.

$$R_d = \frac{R_a G}{\mu - G}$$

R_d = résistance dynamique en $\text{k}\Omega$ (kiloohm)
 G = gain de tension
 μ = coefficient d'amplification
 R_a = résistance interne en $\text{k}\Omega$ (kiloohm)

Si la résistance interne est exprimée en mégohm, la résistance dynamique sera également exprimée en mégohm.

Exemple : Comme données pour le calcul, nous reconsidérerons les valeurs déjà déterminées précédemment :

$$R_a = 48 \text{ k}\Omega \text{ (valeur déterminée par la formule 193),}$$

$$G = 40, \mu = 70.$$

RESISTANCE DYNAMIQUE :

$$R_d = \frac{48 \times 40}{70 - 40} = \frac{1920}{30} = 64 \text{ k}\Omega$$

FORMULE 198 - Calcul de la résistance anodique de l'amplificateur de tension, connaissant la résistance dynamique de l'étage et la résistance de la grille de commande de l'étage suivant (par résistance et capacité) (Figure 3).

$$R_a = \frac{R_{g''} R_d}{R_{g''} - R_d}$$

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

R_g = résistance de la grille contrôle de l'étage suivant en $\text{k}\Omega$ (kiloohm)

R_d = résistance dynamique de l'étage en $\text{k}\Omega$ (kiloohm)

Si les résistances $R_{g''}$ et R_d sont exprimées en mégohm, la résistance anodique R_a sera également exprimée en mégohm.

EXEMPLE :

Données : $R_{g''} = 820 \text{ k}\Omega$, $R_d = 64 \text{ k}\Omega$ (valeur déterminée par la formule 197).

RESISTANCE ANODIQUE :

$$R_a = \frac{820 \times 64}{820 - 64} = \frac{52.480}{756} \approx 70 \text{ k}\Omega \text{ (valeur arrondie)}$$

FORMULE 199 - Calcul de la tension d'alimentation anodique de la polarisation automatique de grille, connaissant la résistance anodique, la résistance cathodique, le courant anodique et la tension anodique.

	$V_b =$	tension d'alimentation anodique en V (volt)
	$V_a =$	tension anodique en V (volt)
$V_b = V_a + I_a (R_a + R_k)$	$I_a =$	courant anodique en mA (milliampère)
	$R_a =$	résistance anodique en $\text{k}\Omega$ (kiloohm)
	$R_k =$	résistance cathodique en $\text{k}\Omega$ (kiloohm)

EXEMPLE :

Données reprises parmi les données caractéristiques du tube EABC80 (ou 6AK8), ou calculées précédemment :

$$V_a = 100 \text{ V}, I_a = 0,8 \text{ mA}, R_a = 70 \text{ k}\Omega \text{ (formule 198),}$$

$$R_k = 1,25 \text{ k}\Omega \text{ (formule 196)}$$

$$\begin{aligned} \text{Tension d'alimentation anodique : } V_b &= 100 + 0,8 (70 + 1,25) \\ &= 100 + (0,8 \times 71,25) = 100 + 57 = 157 \text{ V} \end{aligned}$$

Pour compléter le calcul de l'amplificateur, il faut encore déterminer les valeurs des condensateurs de couplage C' (circuit d'entrée), C'' (circuit de sortie) du condensateur cathodique C_k et de la résistance de grille de la triode R_g' (figure 3).

Pour les CONDENSATEURS DE COUPLAGE, ils doivent transmettre sans atténuation notable, la FREQUENCE LA PLUS BASSE à reproduire.

$$\text{La formule } C = \frac{1}{F \times R_g} \quad \text{avec}$$

C = Condensateur de couplage en Farad

F = Fréquence la plus basse à reproduire en Hertz, et

R_g = Résistance de grille en Ohm,

permet un calcul approximatif de la valeur de ces composants, toujours comprise entre 5 et 50 nF environ.

Quant à C_k , on adopte la valeur de 5 à 50 μF (valeur non critique, car on peut supprimer C_k et de ce fait introduire une CONTRE-REACTION D'INTENSITE).

La résistance de grille R_g' doit avoir une grande valeur, mais inférieure à la valeur limite indiquée par quelques constructeurs. Dans certains recueils des tubes, la valeur limite de résistance de grille est indiquée, en correspondance avec le symbole R_g .

Pour le tube EABC80, choisi pour notre calcul, on trouve $R_g = 3 \text{ M}\Omega$; la valeur de R_g' (figure 3) devra donc être moins grande que $3 \text{ M}\Omega$; par exemple, elle pourra être de $1 \text{ M}\Omega$.

D'une façon générale, quand le constructeur n'indique pas la valeur limite de la résistance de grille, ON POURRA UTILISER UNE RESISTANCE DE VALEUR COMPRISE ENTRE 400 k Ω et 600 k Ω .

Le procédé de calcul que nous venons de voir peut être intéressant, comme on l'a déjà dit précédemment, quand on n'a pas à sa disposition toutes les données d'emploi de la triode comme amplificateur de tension, soit les valeurs de la tension anodique d'alimentation (V_b) de la résistance anodique (R_a), de la résistance de grille de l'étage suivant ($R_{g''}$) de la résistance cathodique (R_k) du condensateur cathodique (C_k) du condensateur de couplage à l'état suivant (C'') de la résistance de grille ($R_{g'}$), du gain (G) et éventuellement du condensateur de couplage d'entrée (C').

Dans le tableau de la figure 4 sont reportées les données relatives aux tubes fabriqués par la RCA américaine. Toutes les données se réfèrent aux amplificateurs de tension semblables à celui représenté dans la figure 3.

En observant ce tableau, on note que les valeurs de C_k et C'' en général sont notablement inférieures aux valeurs de 5 μF - 25 μF - 50 μF , signalées précédemment.

A ce propos, il faut préciser que les valeurs du tableau sont théoriques, en pratique on peut utiliser les condensateurs normalisés dans le commerce, de valeur notablement supérieure à la valeur théorique indiquée.

La valeur du condensateur C' n'est pas reportée sur le tableau, parce que quelquefois, le condensateur n'est pas demandé, et peut donc être choisi de valeur égale à la valeur théorique indiquée.

La tension V_u correspond à la valeur de crête du signal obtenu aux extrémités de la résistance de grille $R_{g''}$ de l'étage suivant.

CALCUL SIMPLIFIÉ D'UN AMPLIFICATEUR DE TENSION AVEC PENTODE.

Considérons le circuit de la figure 5-a. Il s'agit d'un étage amplificateur avec pentode à polarisation automatique de grille de commande, couplé par résistance et capacité à l'étage suivant.

D'une façon analogue, le circuit de la figure 5-b représente un amplificateur avec pentode, couplé à l'étage suivant par résistance et capacité, mais sans résistance cathodique, puisque la polarisation de la grille de commande est obtenue exclusivement au moyen de la résistance $R_{g'}$.

En général, le système de la polarisation automatique de grille (figure 5-a) est préférable au système de la figure 5-b, car avec celui-ci, les effets dus au changement de tube se font moins sentir.

Il est en outre possible de faire varier d'une manière plus importante la haute tension sans modifier d'une manière appréciable le gain de l'étage.

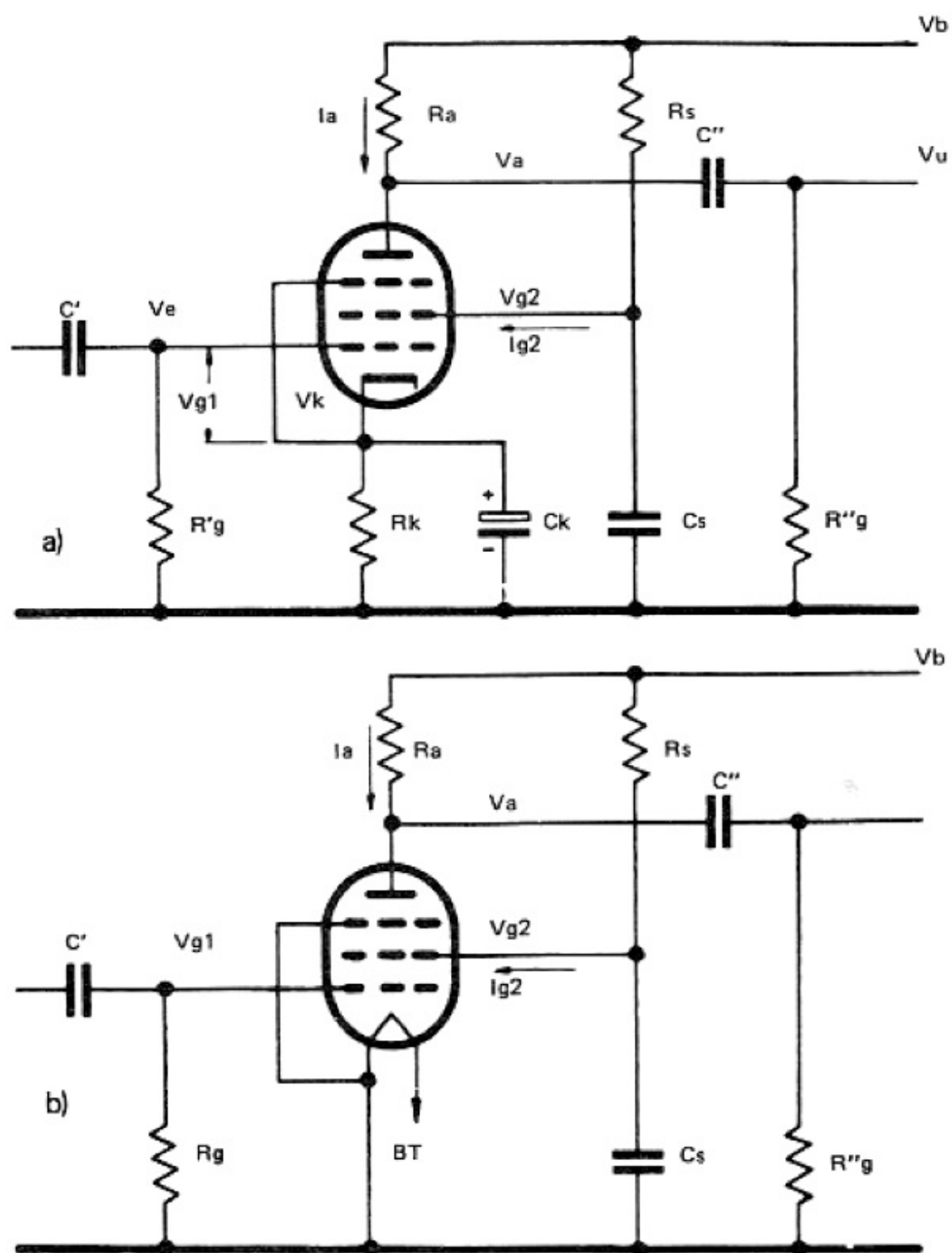
Il est possible également de modifier facilement la fréquence de coupure en changeant la valeur du condensateur cathodique, et on réduit énormément les risques d'accrochage aux fréquences basses.

Malgré ces avantages, on devra recourir au système de la figure 5-a toutes les fois que l'on utilisera des tubes à chauffage direct.

D'une façon générale, le calcul de l'amplificateur est exécuté en partant du gain de tension que l'on veut obtenir, et aussi de la valeur de crête du signal d'entrée et de la valeur de crête du signal correspondant de sortie.

T A B L E A U 3									
V_b (V)	R_a (M Ω)	R_g'' (M Ω)	R_S (M Ω)	R_k (Ω)	C_s (μF)	C_k (μF)	C'' (μF)	V_u (V)	G
90	0,1	0,1	0,07	1.800	0,11	9,0	0,021	25	52
		0,22	0,09	2.100	0,1	8,2	0,012	32	72
		0,47	0,096	2.100	0,1	8,0	0,0065	37	88
	0,22	0,22	0,25	3.100	0,08	6,2	0,009	25	72
		0,47	0,26	3.200	0,078	5,8	0,0055	32	99
		1,0	0,35	3.700	0,085	5,1	0,003	34	125
	0,47	0,47	0,75	6.300	0,042	3,4	0,0035	27	102
		1,0	0,75	6.500	0,042	3,3	0,0027	32	126
		2,2	0,8	6.700	0,04	3,2	0,0018	36	152
180	0,1	0,1	0,12	800	0,15	14,1	0,021	57	74
		0,22	0,15	900	0,126	14,0	0,012	82	116
		0,47	0,19	1.000	0,1	12,5	0,006	81	141
	0,22	0,22	0,38	1.500	0,09	9,6	0,009	59	130
		0,47	0,43	1.700	0,08	8,7	0,005	67	171
		1,0	0,6	1.900	0,066	8,1	0,003	71	200
	0,47	0,47	0,9	3.100	0,06	5,7	0,0045	54	172
		1,0	1,0	3.400	0,05	5,4	0,0028	65	232
		2,2	1,1	3.600	0,04	3,6	0,0019	74	272
300	0,1	0,1	0,2	500	0,13	18,0	0,019	76	109
		0,22	0,24	600	0,11	16,4	0,011	103	145
		0,47	0,26	700	0,11	15,3	0,006	129	168
	0,22	0,22	0,42	1.000	0,1	12,4	0,009	92	164
		0,47	0,5	1.000	0,098	12,0	0,007	108	230
		1,0	0,55	1.100	0,09	11,0	0,003	122	262
	0,47	0,47	1,0	1.800	0,075	8,0	0,0045	94	248
		1,0	1,1	1.900	0,065	7,6	0,0028	105	318
		2,2	1,2	2.100	0,06	7,3	0,0018	122	371
TUBES : 3AU6, 4AU6, 6AU6, 6SH7, 12AU6, 12SH7									
DONNEES RELATIVES AU FONCTIONNEMENT D'AMPLIFICATEURS DE TENSION BF AVEC TRIODES									

Figure 4.



AMPLIFICATEURS DE TENSION BF (AVEC PENTODE)

Figure 5

Connaissant les deux valeurs de crête du signal, on peut déterminer facilement la valeur du gain de tension en suivant le procédé déjà indiqué au début du calcul de l'amplificateur de tension avec triode.

Une fois établie la valeur du gain, on peut procéder au choix de la pentode, en considérant la pente S des tubes, dont la valeur est indiquée dans les divers recueils de tubes.

Si le gain est élevé (plus grand ou égal à 40), on prend un tube qui a une pente S élevée ; si le gain est moyen (compris entre 30 et 40) on prend un tube qui a une pente intermédiaire ; si enfin le gain est bas (inférieur à 30) on prendra un tube qui a une faible pente.

EXEMPLE :

Supposons que le gain de tension que l'on veut obtenir soit 50. Pour cette valeur du gain, on peut choisir le tube PF86 (tableau de la figure 1), lequel dans les conditions caractéristiques de fonctionnement, présente : la pente $S = 2 \text{ mA/V}$; ou bien on peut choisir le tube 6SJ7 GT (tableau de la figure 2), lequel, selon les points de fonctionnement indiqués par le constructeur, peut avoir une pente de $S = 1,575 \text{ mA/V}$ ou $S = 1,65 \text{ mA/V}$.

Le tube choisi, on peut rassembler finalement toutes les données nécessaires pour poser et exécuter les calculs de l'amplificateur de tension.

DONNEES POUR LE CALCUL :

- 1 - Gain de l'amplificateur, $G = 50$
- 2 - Tube 6SJ7 GT
- 3 - Conditions caractéristiques de fonctionnement :
 - tension anodique, $V_a = 250 \text{ V}$
 - tension de grille écran, $V_{g2} = 100 \text{ V}$
 - tension de grille contrôle, $V_{g1} = -3 \text{ V}$

- courant anodique, $I_a = 3 \text{ mA}$
- courant de grille écran, $I_{g2} = 0,8 \text{ mA}$
- pente (ou transconductance), $S = 1,65 \text{ mA/V}$

FORMULE 200 - Calcul de la résistance cathodique nécessaire pour établir la polarisation automatique de grille de commande de la pentode, connaissant le courant anodique, le courant de grille écran et la tension de polarisation.

Enoncé : Dans le cas de la pentode, la valeur de la résistance de cathode exprimée en kilohm, se calcule en divisant la tension de polarisation, exprimée en volt, par le courant cathodique, exprimé en milliampère, soit par la somme du courant anodique et du courant de grille écran, exprimés tous les deux en milliampère.

$$R_k = \frac{V_k}{I_a + I_{g2}}$$

R_k	=	résistance cathodique en $k\Omega$ (kilohm)
V_k	=	tension de polarisation en V (volt)
I_a	=	courant anodique en mA (milliampère)
I_{g2}	=	courant de grille écran en mA (milliampère)

Le courant anodique peut être aussi exprimé en ampères (A) ; dans ce cas, la résistance cathodique sera exprimée en ohm (Ω). En général, la tension de polarisation de la cathode (V_k de la Figure 5-a) est égale en valeur absolue à la tension de grille de commande (indiquée par V_{g1} dans certains recueils de tubes) ou bien est égale à la valeur de la tension de grille sans le signe - ; par exemple, pour $V_{g1} = - 3 \text{ V}$, V_k sera égale à 3 V.

EXEMPLE :

En prenant les caractéristiques du tube 6 SJ 7 GT, nous trouvons que $V_{g1} = -3 \text{ V}$ et pour cela, on aura :

$$V_k = 3 \text{ V}, I_a = 3 \text{ mA (pour } V_a = 250 \text{ V)}, I_{g2} = 0,8 \text{ mA.}$$

RESISTANCE CATHODIQUE :

$$R_k = \frac{3}{3 + 0,8} = 0,789 \text{ k}\Omega$$

FORMULE 201 — Calcul de la résistance dynamique de l'amplificateur de tension avec pentode, connaissant le gain de tension de l'étage et la pente du tube pour le point de fonctionnement choisi.

	$R_d =$	résistance dynamique en $\text{k}\Omega$ (kiloohm)
$R_d = \frac{G}{S}$	$G =$	gain de tension
	$S =$	pente en mA/V (milliampère par volt)

Si la pente est exprimée en microampère par volt ($\mu\text{A/V}$), la résistance dynamique sera exprimée en mégohm ($\text{M}\Omega$).

EXEMPLE :

En reprenant les données fournies au début du calcul de l'amplificateur, on trouve :

$$G = 50, S = 1,65 \text{ mA/V}$$

RESISTANCE DYNAMIQUE :

$$R_d = \frac{50}{1,65} \approx 30 \text{ k}\Omega$$

Une fois connue la valeur de la résistance dynamique de l'étage et la valeur de la résistance de grille de commande de l'étage suivant ($R_{g''}$ de la Figure 5-a), on peut calculer la valeur de la résistance anodique R_a par la Formule 198, déjà utilisée dans le calcul de l'amplificateur de tension avec triode.

EXEMPLE :

Données :

$$R_{g''} = 470 \text{ k}\Omega, R_d = 30 \text{ k}\Omega$$

RESISTANCE ANODIQUE :

$$R_a = \frac{470 \times 30}{470 - 30} = \frac{14.100}{440} \approx 32 \text{ k}\Omega$$

FORMULE 202 — Calcul de la tension d'alimentation anodique de la pentode avec polarisation automatique de la grille de commande, connaissant la tension anodique, le courant anodique, le courant de grille écran, la résistance cathodique et la résistance anodique.

$$V_b = V_a + I_a R_a + (I_a + I_{g2}) R_k$$

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

I_{g2} = courant de grille écran en
mA (milliampère)

R_k = résistance cathodique en
 $k\Omega$ (kiloohm)

EXEMPLE :

Données reprises parmi les caractéristiques du tube 6 SJ7 GT ou calculées précédemment :

$$V_a = 250 \text{ V}, I_a = 3 \text{ mA}, I_{g2} = 0,8 \text{ mA}, R_a = 32 \text{ k}\Omega$$

$$R_k = 0,789 \text{ k}\Omega$$

Tension d'alimentation anodique :

$$\begin{aligned} V_b &= 250 + 3 \times 32 + (3 + 0,8) \times 0,789 \\ &= 250 + 96 + 3,8 \times 0,789 = 250 + 96 + 3 = 349 \text{ V} \end{aligned}$$

FORMULE 203 — Calcul de la résistance de grille écran de l'amplificateur de tension avec pentode, connaissant la tension d'alimentation anodique, la tension de grille écran et le courant de grille écran.

Enoncé : la valeur de la résistance placée en série avec la grille écran, exprimée en kiloohm, se calcule en divisant la chute de tension, soit la différence entre la tension d'alimentation anodique et la tension de grille écran, exprimées toutes les deux en volt, par le courant grille écran, exprimé en milliampère.

R_s = résistance de grille écran en
 $k\Omega$ (kiloohm)

$$R_s = \frac{V_b - V_{g2}}{I_{g2}}$$

V_b = tension d'alimentation anodique en V (volt)
 V_{g2} = tension de grille écran en V (volt)
 I_{g2} = courant de grille écran en mA (milliampère)

Si le courant de grille écran est exprimé en ampère (A), la résistance sera exprimée en ohm (Ω).

EXEMPLE :

Données reprises parmi les caractéristiques du tube 6 SJ 7 GT ou calculées précédemment :

$$V_b = 349 \text{ V (formule 202)}, V_{g2} = 100 \text{ V}, I_{g2} = 0,8 \text{ mA}$$

RESISTANCE DE GRILLE ECRAN :

$$R_s = \frac{349 - 100}{0,8} \approx 311 \text{ k}\Omega$$

Pour compléter le calcul de l'amplificateur avec pentode à polarisation automatique (Figure 5-a), il reste à déterminer la valeur des condensateurs de couplage (C' et C''), du condensateur cathodique (C_k) et de la résistance de grille de commande.

Pour les condensateurs C' , C'' , C_k et pour la résistance de grille $R_{g''}$, les considérations déjà vues sont toujours valables, à la fin du calcul de l'amplificateur de tension avec triode. Pour le condensateur de découplage C_s , on prend généralement une valeur comprise entre 50 nF et 100 nF.

T A B L E A U 4									
V _b (V)	R _a (MΩ)	R _g ^{''} (MΩ)	R _S (MΩ)	R _k (Ω)	C _s (μF)	C _k (μF)	C ^{''} (μF)	V _u (V)	G
45	0,22	0,22	0,26	-	0,042	-	0,013	14	17
		0,47	0,36	-	0,035	-	0,006	17	24
		1	0,4	-	0,034	-	0,004	18	28
	0,47	0,47	0,82	-	0,025	-	0,0055	14	25
		1	1	-	0,023	-	0,003	17	33
		2,2	1,1	-	0,022	-	0,002	18	38
	1	1	1,9	-	0,019	-	0,003	14	31
		2,2	2	-	0,019	-	0,002	17	38
		3,3	2,2	-	0,018	-	0,0015	18	43
90	0,22	0,22	0,5	-	0,05	-	0,011	31	25
		0,47	0,59	-	0,05	-	0,006	37	34
		1	0,67	-	0,042	-	0,003	40	41
	0,47	0,47	1,2	-	0,035	-	0,005	31	37
		1	1,4	-	0,034	-	0,003	36	47
		2,2	1,6	-	0,031	-	0,002	40	57
	1	1	2,5	-	0,026	-	0,003	31	45
		2,2	2,9	-	0,025	-	0,002	36	58
		3,3	3,1	-	0,024	-	0,0012	38	66
135	0,22	0,22	0,66	-	0,052	-	0,011	45	31
		0,47	0,71	-	0,051	-	0,006	56	41
		1	0,86	-	0,039	-	0,003	60	54
	0,47	0,47	1,45	-	0,042	-	0,005	46	44
		1	1,8	-	0,034	-	0,003	54	62
		2,2	1,9	-	0,033	-	0,002	60	71
	1	1	3,1	-	0,03	-	0,003	45	56
		2,2	3,7	-	0,029	-	0,0015	53	76
		3,3	4,3	-	0,026	-	0,0014	56	88
TUBES : 1S5, 1U5									
DONNEES RELATIVES AU FONCTIONNEMENT D'AMPLIFICATEURS DE TENSION BF AVEC PENTODE									

Figure 6

T A B L E A U 5									
V_b (V)	R_a (M Ω)	R_g'' (M Ω)	R_S (M Ω)	R_k (Ω)	C_S (μ F)	C_k (μ F)	C'' (μ F)	V_{U_1} (V)	G
90	0,1	0,1	-	4.200	-	2,5	0,025	5,4	22
		0,22	-	4.600	-	2,2	0,014	7,5	27
		0,47	-	4.800	-	2	0,0065	9,1	30
	0,22	0,22	-	7.000	-	1,5	0,013	7,3	30
		0,47	-	7.800	-	1,3	0,007	10	34
		1	-	8.100	-	1,1	0,0035	12	37
	0,47	0,47	-	12.000	-	0,83	0,006	10	36
		1	-	14.000	-	0,7	0,0035	14	39
		2,2	-	15.000	-	0,6	0,002	16	41
180	0,1	0,1	-	1.900	-	3,6	0,027	19	30
		0,22	-	2.200	-	3,1	0,014	25	35
		0,47	-	2.500	-	2,8	0,0065	32	37
	0,22	0,22	-	3.400	-	2,2	0,014	24	38
		0,47	-	4.100	-	1,7	0,0065	34	42
		1	-	4.600	-	1,5	0,0035	38	44
	0,47	0,47	-	6.600	-	1,1	0,0065	29	44
		1	-	8.100	-	0,9	0,0035	38	46
		2,2	-	9.100	-	0,8	0,002	43	47
300	0,1	0,1	-	1.500	-	4,4	0,027	40	34
		0,22	-	1.800	-	3,6	0,014	54	38
		0,47	-	2.100	-	3	0,0065	63	41
	0,22	0,22	-	2.600	-	2,5	0,013	51	42
		0,47	-	3.200	-	1,9	0,0065	65	46
		0,1	-	3.700	-	1,6	0,0035	77	48
	0,47	0,47	-	5.200	-	1,2	0,006	61	48
		1	-	6.300	-	1	0,0035	74	50
		2,2	-	7.200	-	0,9	0,002	85	51
TUBES : 6AQ6, 6AQ7 GT, 6AT6, 6CN7, 6Q7, 6Q7 GT, 6SL7 GT, 6T8, 6T8 A, 12AT6, 12Q7 GT, 12SL7 GT, 19T8									
DONNEES RELATIVES AU FONCTIONNEMENT D'AMPLIFICATEURS DE TENSION BF AVEC PENTODE									

Figure 7

Jusqu'à présent, nous nous sommes limités à considérer le cas de l'amplificateur de la Figure 5-a ; examinons maintenant sommairement l'amplificateur représenté à la Figure 5-b.

Dans cet amplificateur, la polarisation du tube dépend exclusivement de la résistance de grille R_g' . En utilisant une résistance de valeur beaucoup plus grande, le potentiel de grille pendant le fonctionnement du tube devient négatif par rapport à la masse et donc par rapport à la cathode qui est reliée directement à la masse.

Quand on utilise ce type de polarisation, il faut s'assurer que le produit de la résistance R_g' , exprimé en mégohm, pour la capacité C' du condensateur de couplage, exprimée en nanofarad, soit compris entre 50 et 200.

En général, on utilise un condensateur de 5 nF (nanofarad) et une résistance de grille de 10 M Ω (mégohm) ; le produit de ces deux valeurs est égal à 50.

Les données d'utilisation des pentodes à chauffage direct 1S5 et 1 U5 sont indiquées dans le tableau de la figure 6.

Dans le tableau de la figure 7, sont reportées les données d'emploi pour les tubes fabriqués par la RCA américaine. Toutes les données se réfèrent à des amplificateurs de tension semblables à celui représenté figure 5-a.

Dans le prochain formulaire, nous compléterons l'étude des amplificateurs de basse fréquence par l'examen des amplificateurs de puissance.

