



# FORMULAIRE

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

**EURELEC**

**COURS DE BASE ELECTRONIQUE**

**(16)**

**FORMULAIRE 6**

## **CIRCUITS ELECTRONIQUES**

Avec ce formulaire, vous commencez la troisième et dernière partie consacrée à l'examen des principaux circuits ELECTRONIQUES.

Nous prendrons en considération seulement les circuits fondamentaux, en indiquant les procédés de calcul qui peuvent être employés.

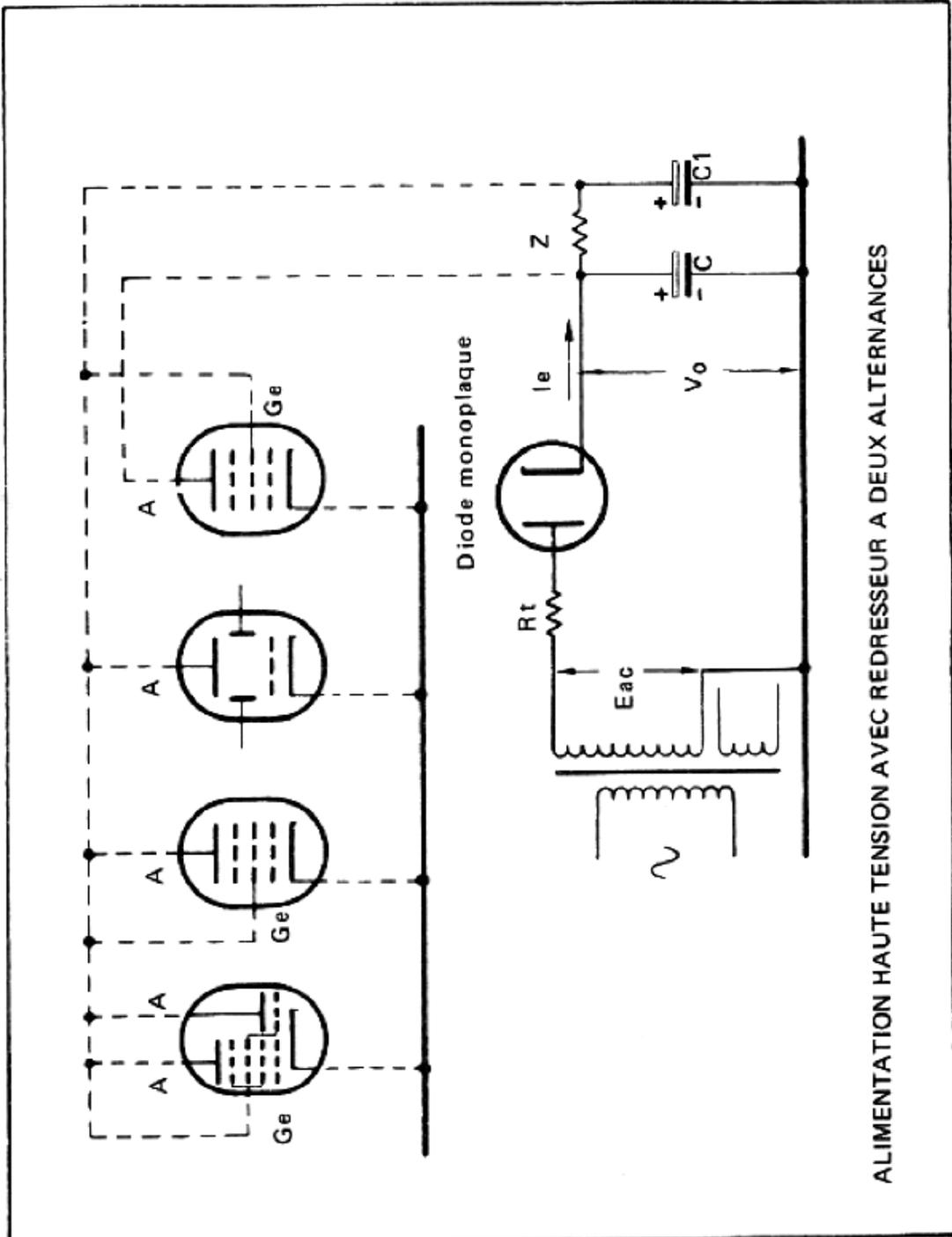
Dans ce formulaire et dans le suivant, nous nous occuperons des alimentations haute tension (appelées aussi alimentations anodiques), d'usage courant.

## **ALIMENTATIONS HAUTE TENSION**

Les circuits classiques des alimentations haute tension, ont été décrits dans la "Théorie 14".

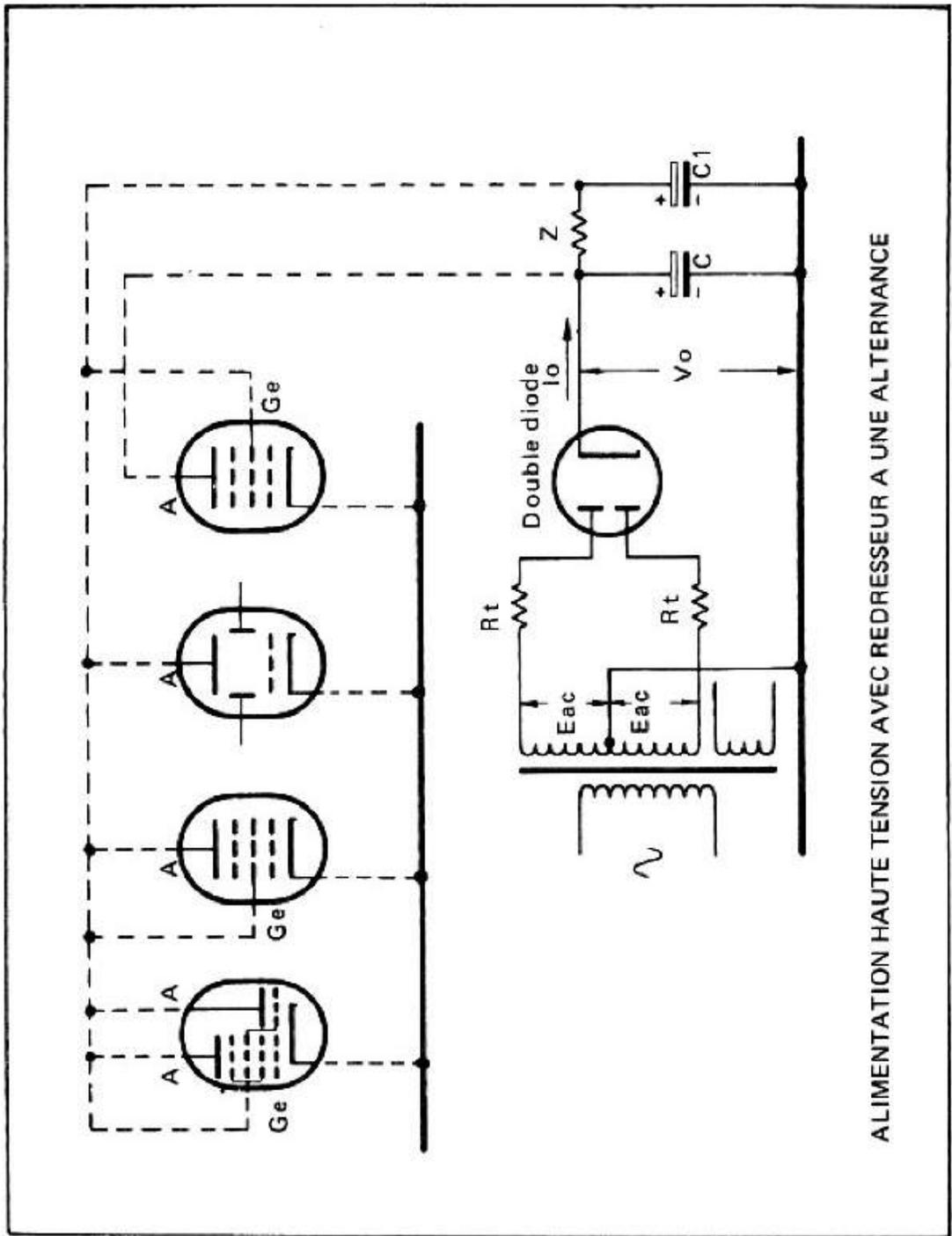
Nous considérons maintenant deux types d'alimentation : l'alimentation avec redresseur à une alternance (figure 1) et celle avec redresseur à double alternance (figure 2).

Avec les schémas des deux alimentations ont été tracés, sommairement, les circuits d'anode (A) et de grille écran ( $G_e$ ) qui, dans l'ensemble, constituent la charge de l'alimentation d'un montage type à 4 tubes + redresseur.



ALIMENTATION HAUTE TENSION AVEC REDRESSEUR A DEUX ALTERNANCES

Figure 1



ALIMENTATION HAUTE TENSION AVEC REDRESSEUR A UNE ALTERNANCE

Figure 2

Le redresseur à une alternance est utilisé habituellement dans les montages économiques. Celui à double alternance est utilisé dans les montages qui demandent des puissances plus grandes et une tension redressée plus régulière.

Avec l'un ou l'autre redresseur, on utilise presque toujours le filtre à entrée capacitive.

Voyons maintenant comment on procède dans le calcul d'un circuit redresseur à une alternance (ou à demi-onde). Nous reprendrons ensuite sommairement le même procédé, pour calculer un circuit redresseur à double alternance (ou onde entière).

Dans ce formulaire, nous ne prendrons pas en considération la cellule de filtrage constituée par la bobine  $Z$  et par le condensateur  $C_1$ , et nous n'examinerons pas la composition de la charge. Ces questions seront reprises dans les prochains formulaires.

**Calcul simplifié d'un circuit redresseur à une alternance avec un tube électronique (sans cellule de filtrage).**

*Pour effectuer ce calcul, on suppose connues les valeurs du courant continu redressé  $I_0$  et de la tension continue  $V_0$ , indiquées toutes deux sur la figure 1.*

Le courant  $I_0$  est la somme de tous les courants continus qui alimentent les circuits d'anode (A) et de grille écran ( $G_0$ ) des tubes électroniques utilisés sur l'appareil.

La tension  $V_0$  est celle présente sur le condensateur de filtrage.

Outre les deux valeurs de  $I_0$  et  $V_0$ , on précise aussi la capacité  $C$  du

**FORMULAIRE 6****5**

condensateur de filtrage, après avoir établi le type de diode qu'il faudra employer pour l'alimentation.

Partant des trois données  $I_o$ ,  $V_o$  et  $C$ , on peut déterminer à partir de graphiques spéciaux, les grandeurs suivantes :

1 - *courant de pointe de la diode*, qui sera indiqué par le symbole  $I_p$ .

2 - *résistance totale que l'on obtient en additionnant à la résistance ohmique du transformateur, la résistance moyenne présentée par la diode pendant la conduction*. La résistance totale sera indiquée avec le symbole  $R_t$ , celle du transformateur par le symbole  $R_{tr}$  et celle de la diode par le symbole  $R_d$ .

3 - *tension d'entrée* (valeur efficace), qui sera indiquée par le symbole  $E_{ac}$ .

4 - *courant* (valeur efficace) qui *parcourt le secondaire haute tension du transformateur*. Il sera indiqué par le symbole  $I$ .

5 - *puissance (en watt) que doit avoir le secondaire haute tension du transformateur*. Elle sera indiquée par le symbole  $P_s'$ , déjà utilisé dans le formulaire 4.

En déterminant les valeurs déjà énumérées, on procèdera aussi au choix du tube redresseur entre ceux de type européen et américain mentionnés dans les tableaux des graphiques.

Il faut préciser pourtant que sur les tableaux, n'ont pas été reportées les données de toutes les diodes à vide que l'on peut trouver actuellement dans le commerce, mais seulement les données des diodes les plus fréquemment employées.

Nous vous donnons maintenant la façon de procéder en pratique pour les calculs relatifs à un circuit redresseur à une alternance (sans cellule de filtrage).

**1 - DONNEES**

- Courant continu redressé,  $I_o = 60 \text{ mA}$ .
- Tension continue,  $V_o = 200 \text{ V}$ .
- La capacité  $C$  du condensateur de filtrage sera indiquée par la suite

après le choix du tube redresseur à une alternance (monoplaque).

## 2 - DETERMINATION DU COURANT DE POINTE DE LA DIODE ( $I_p$ )

L'intensité du courant de pointe, qui traverse la diode, de l'anode à la cathode à un instant donné du temps de conduction sera déterminée pour le moment, par un critère empirique. Ensuite, on procédera à la vérification de la valeur calculée. D'une façon générale, la valeur  $I_p$  du courant de pointe peut se calculer avec une bonne approximation, en multipliant la valeur du courant moyen de la diode par un nombre compris entre 4 et 6. Maintenant, puisque le courant moyen de la diode est pratiquement égal au courant continu redressé  $I_o$ , on pourra obtenir une valeur provisoire du courant  $I_p$ , en multipliant  $I_o$  par un facteur compris entre 4 et 6.

**FORMULE 185** - Calcul approché du courant de pointe d'une diode, connaissant le *courant continu redressé*  $I_o$ .

$I_p$  = courant de pointe de la diode en mA (milliampère).

$I_p = k I_o$      $k$  = facteur de multiplication (4 ou 5, ou 6).

$I_o$  = courant continu redressé en mA (milliampère).

### Exemple

*Données* :  $I_o = 60$  mA (valeur indiquée au début du calcul du redresseur),  $k = 6$ .

Courant de pointe :  $I_p = 6 \times 60 = 360$  mA.

**OBSERVATION** - Quelques auteurs préfèrent multiplier le courant  $I_o$  par 4, ou par 5, ou bien par 6. L'utilisation d'un facteur ou d'un autre, dépend des expériences personnelles acquises durant les calculs précédents. Il arrive en effet qu'en employant des redresseurs déterminés, il convient de choisir

soit le nombre 4, soit le nombre 5, et en employant d'autres redresseurs, il convient au contraire de choisir le nombre 6. En général, pour les redresseurs monoplaque de type européen, il faut utiliser le facteur 6.

### 3 - CHOIX DE LA DIODE ET DETERMINATION DE LA RESISTANCE TOTALE ( $R_d$ ) DE LA DIODE ET DU TRANSFORMATEUR.

Sur le choix d'une diode, des facteurs de nature diverse peuvent influencer, tel l'encombrement, la qualité de fabrication et le côté économique. Mais de toute façon, les caractéristiques électriques du tube sont déterminantes.

Habituellement les caractéristiques des tubes sont reportées dans les manuels spécialisés comme par exemple LE LEXIQUE de TUBES EURELEC qui a été inclus dans le Groupe de Leçon 16. Les caractéristiques essentielles et schémas d'utilisation sont quelquefois indiqués dans ces manuels de lexiques).

Voyez par exemple, les indications pour le tube ÉY 82, reportées dans le Lexique de Tubes EURELEC. Dans les colonnes relatives aux données d'emploi, on trouve divers groupes de valeurs qui se réfèrent aux conditions typiques de fonctionnement de la diode comme redresseur.

Souvent, dans les projets, on a recours directement aux caractéristiques d'emploi fournies par le constructeur du tube, mais il peut arriver que l'on doive utiliser un redresseur dans des conditions différentes qui ne sont pas mentionnées dans ces lexiques. Dans cette éventualité, on pourra procéder de la façon suivante :

Pour choisir la diode, il faut examiner le *tableau XIII* et le *tableau XIV* (figures 3 et 4).

En observant les graphiques de ces tableaux, nous notons que dans chaque diagramme, on a tracé cinq droites parallèles. Chaque droite représente la résistance interne moyenne  $R_d$  d'une ou plusieurs diodes, suivant la variation du courant de pointe  $I_p$  de ces diodes. Par exemple, la droite D tracée dans le diagramme de la *figure 3*, représente la résistance moyenne  $R_d$

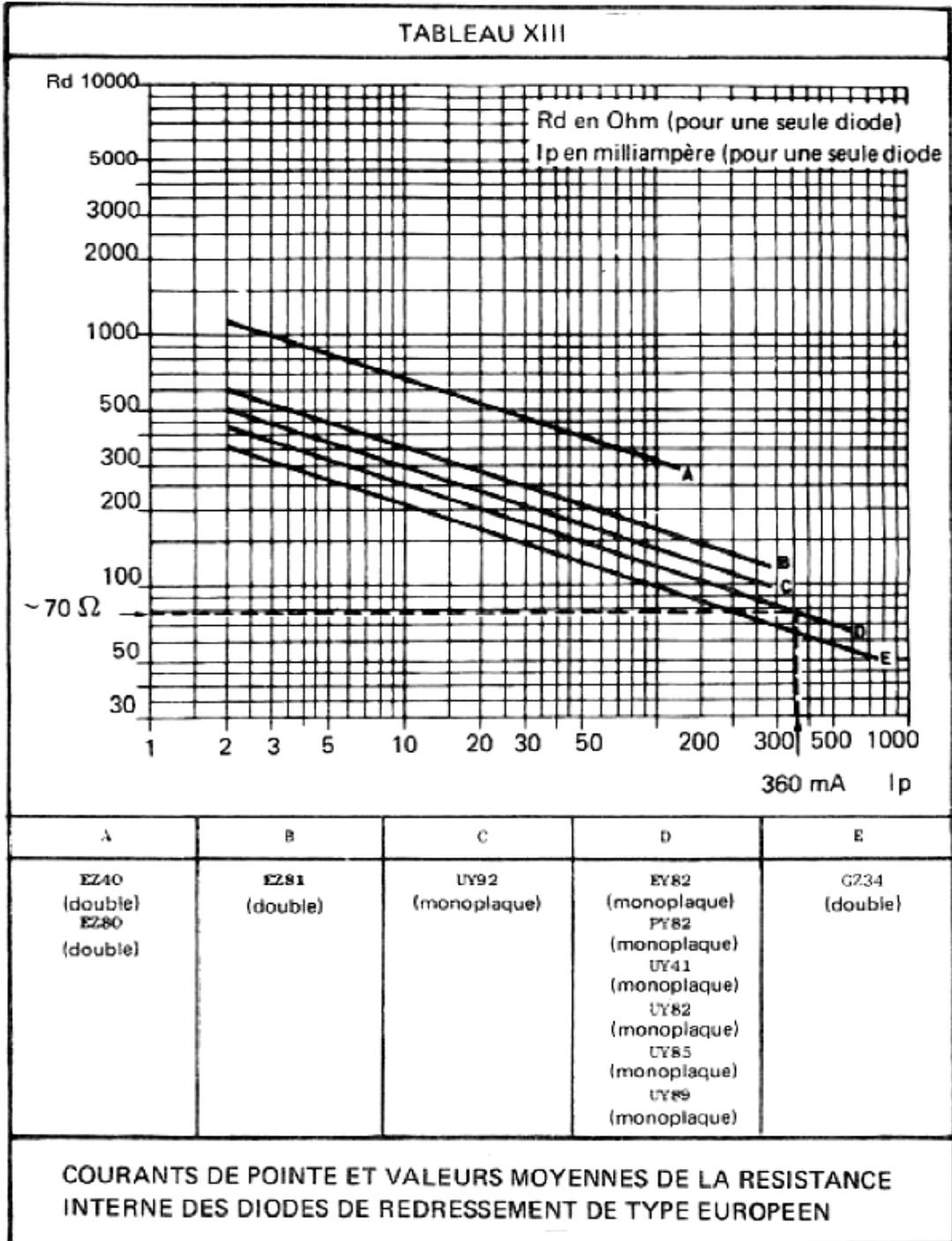


Figure 3

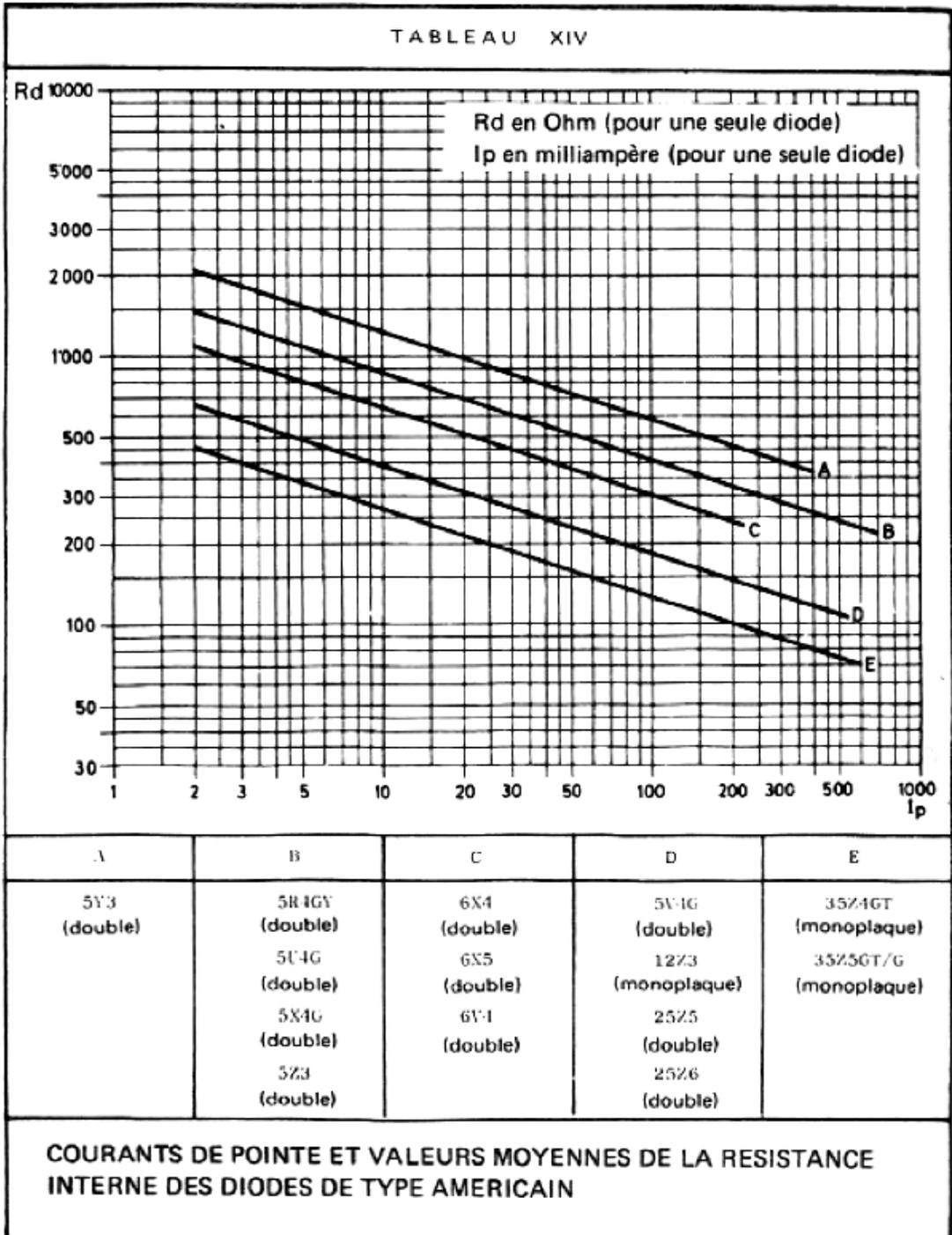


Figure 4

pour les diodes monoplaque EY 82, PY 82, UY 41, UY 82, UY 85 et UY 89.

Pour choisir la diode à employer, en se basant sur les graphiques des deux tableaux, il faut d'abord exclure toutes les doubles diodes, et ne considérer que les diodes monoplaque (redressement à une alternance).

Entre les diodes monoplaque du *tableau XIII*, nous devons exclure également le tube UY 92 (ligne droite C), puisque l'extrême droite de la ligne C, n'atteint pas la valeur de 360 mA, qui est la valeur de  $I_p$  calculée précédemment par la *formule 185*.

En excluant le tube UY 92, toutes les diodes monoplaque du *tableau XIII* pourraient convenir, parce que la droite D du diagramme, couvre la valeur  $I_p = 360$  mA. D'une façon analogue, toutes les diodes monoplaque représentées dans le *tableau XIV* par les droites D et E, pourraient être utilisées, puisque les mêmes droites couvrent elles aussi la valeur  $I_p = 360$  mA.

Pour la suite du calcul, nous choisissons la diode PY 82, du *tableau XIII*. Ensuite, nous nous assurerons si elle pourra soutenir, sans dommage, la tension qui sera appliquée entre la cathode et l'anode pendant le fonctionnement.

Maintenant, en utilisant le graphique D (*figure 3 - tableau XIII*), nous pouvons déterminer la valeur de la résistance moyenne  $R_d$ , que présente la diode PY 82, pendant la conduction.

Sur la *figure 3*, en partant du point  $I_p = 360$  mA, traçons une ligne verticale (en pointillés), qui rejoint la droite D. De ce point de rencontre, traçons une ligne horizontale jusqu'à l'axe des ordonnées. Nous pouvons alors déterminer que la résistance moyenne  $R_d$  de la diode, est approximativement égale à  $78 \Omega$ .

Une fois déterminée la valeur de  $R_d$  permettant de calculer la résistance totale  $R_t$ , il reste encore à connaître la valeur de la résistance  $R_{tr}$  du transformateur.

Pour établir approximativement la valeur de  $R_{tr}$ , nous utiliserons le graphique du *tableau XV (figure 5)*.

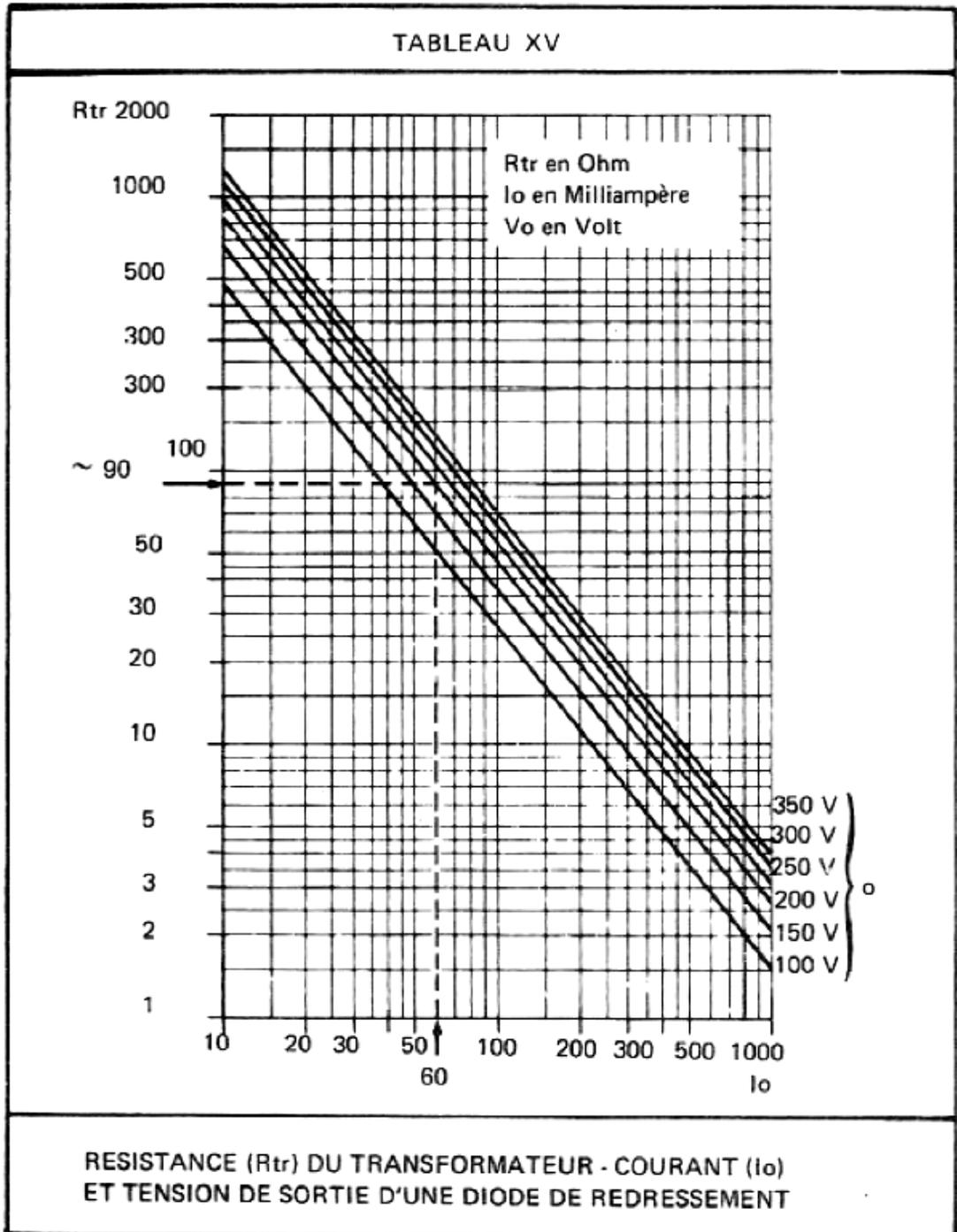


Figure 5

Les six droites de ce graphique correspondent à plusieurs valeurs caractéristiques de la tension continue  $V_o$  demandée au redresseur, et représentent l'allure de la résistance  $R_{tr}$  du transformateur, pour les valeurs du courant continu  $I_o$  et pour une valeur donnée de la tension  $V_o$ .

Ce graphique ne nous permet pas de prévoir avec certitude quelle sera la valeur de la résistance  $R_{tr}$ , parce que celle-ci dépend des caractéristiques de construction du transformateur.

Toutefois, on peut déjà exprimer avec une bonne approximation au moyen du graphique du *tableau XV*, l'ordre de grandeur de la résistance  $R_{tr}$  et ainsi, utiliser la valeur trouvée pour la détermination approximative de la résistance  $R_t$ .

Pour le calcul de  $R_{tr}$ , on doit utiliser la droite qui correspond à  $V_o = 200$  V (*figure 5*). En se référant à celle-ci, on trouve qu'à la valeur  $I_o = 60$  mA, correspond une valeur de  $R_{tr}$  égale à  $90 \Omega$  (environ).

Une fois déterminée  $R_d$  ( $\approx 78 \Omega$ ) et  $R_{tr}$  ( $\approx 90 \Omega$ ), on peut calculer la résistance totale de la diode et du transformateur, au moyen d'une simple addition :

$$\text{résistance totale : } R_t = R_d + R_{tr} \approx 78 + 90 = 168 \Omega .$$

#### 4 - VERIFICATION DU COURANT DE POINTE ( $I_p$ )

Pour vérifier le courant de pointe calculé précédemment au moyen de la *formule 185*, nous utiliserons le graphique reporté au *tableau XVI* de la *figure 6*.

Sur l'axe horizontal de ce graphique se trouvent les valeurs du rapport  $R_t/n R_o$ , soit les valeurs que l'on obtient en divisant la résistance totale  $R_t$  de la diode et du transformateur par la résistance de charge  $R_o$ , quand il s'agit d'un redresseur à une alternance, ou bien par le double de la résistance de charge  $R_o$ , quand il s'agit d'un redresseur à double alternance.

La valeur de  $R_t$  a déjà été déterminée par le calcul précédent. Il reste à calculer la valeur de  $R_o$  et du rapport  $R_t/n R_o$ .

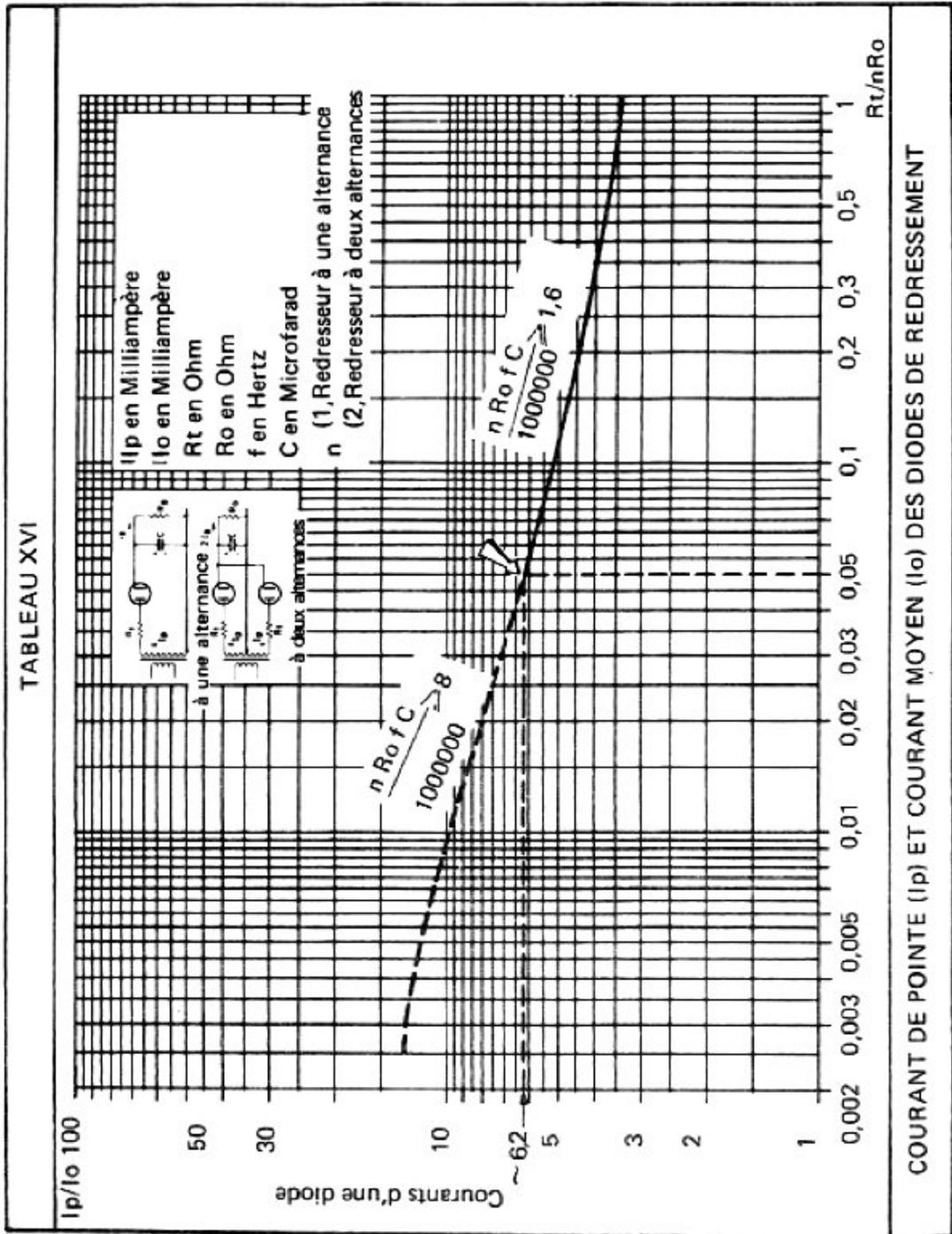


Figure 6

La valeur de  $R_o$  s'obtient en divisant la tension  $V_o$ , exprimée en volt, par le courant  $I_o$  exprimé en ampères. Donc,  $V_o = 200 \text{ V}$  et  $I_o = 60 \text{ mA} = 0,06 \text{ A}$ , on aura :

$$R_o = \frac{V_o}{I_o} = \frac{200}{0,06} \approx 3.333 \Omega .$$

En substituant maintenant dans le rapport  $R_t/n R_o$ , les valeurs respectives, soit en posant  $R_t = 168 \Omega$ ,  $R_o = 3.333 \Omega$  et  $n = 1$  (redresseur à une alternance), on obtiendra :

$$\frac{R_t}{n R_o} = \frac{168}{1 \times 3.333} = \frac{168}{3.333} \approx 0,0504 \approx 0,05 \text{ (valeur arrondie).}$$

Le graphique que nous sommes en train d'examiner, représente l'allure des valeurs du rapport  $I_p/I_o$ , soit du rapport entre le courant de pointe  $I_p$  et le courant continu redressé  $I_o$ .

En correspondance avec la valeur  $\frac{R_t}{n R_o} = 0,05$ , déterminée précédemment, on trouve que  $\frac{I_p}{I_o} \approx 6,2$ .

De cette expression, nous pouvons donc déduire (en se basant sur les règles exposées dans le fascicule *Mathématiques 1*), que :

$$I_p \approx 6,2 I_o$$

La nouvelle expression nous permet d'établir à première vue que le courant  $I_p$  est égal à environ 6,2 fois la valeur du courant  $I_o$ . Le facteur 6,2 n'est pas beaucoup plus grand que le facteur 6 utilisé précédemment avec la *formule 185*, et pour cette raison on peut tenir pour acceptable la valeur de 360 mA, donnée au courant  $I_p$  au début des calculs.

Si la valeur de  $I_p/I_o$  avait été assez différente de 6, par exemple 6,8

## FORMULAIRE 6

15

(ou plus) ou bien 5,2 (ou moins), il aurait été nécessaire de reprendre les calculs depuis le début, en substituant dans la *formule 185* la valeur  $k = 6$  par la va-

leur arrondie de  $I_p/I_o$ . Par exemple, pour  $\frac{I_p}{I_o} \approx 6,8$  dans la *formule 185*,

on utilisera  $k = 7$  ; pour  $\frac{I_p}{I_o} \approx 5,2$  dans la *formule 185*, on utilisera  $k = 5$ ,

et ainsi de suite, en arrondissant toujours les valeurs de  $k$  au nombre entier le plus proche de la valeur trouvée.

Avant de considérer comme valable la vérification du courant de pointe, il faut encore contrôler l'expression  $\frac{n R_o f C}{1.000.000}$  indiquée sur le graphique de la *figure 6*.

Cette expression devra être plus grande ou égale à 1,6 pour les valeurs de  $R_T/n R_o$  comprises entre 1 et 0,05. Elle devra par contre être plus grande ou égale à 8, pour les valeurs de  $R_T/n R_o$  comprises entre 0,05 et 0,002,

(le symbole  $\geq$  utilisé après l'expression  $\frac{n R_o f C}{1.000.000}$  signifie justement que

cette expression doit être plus grande ou égale aux nombres 8 et 1,6).

Dans l'exemple que nous sommes en train de considérer, la capacité  $C$  est la capacité indiquée par le constructeur de la diode PY 82 et reportée sur le *tableau XVIII (figure 7)* ; la fréquence  $f$  est de 50 Hz ;  $R_o \approx 3.333 \Omega$  et  $n = 1$  ; le produit sera donc :

$$\frac{n R_o f C}{1.000.000} = \frac{1 \times 3.333 \times 50 \times 60}{1.000.000} = 9,999.$$

Ce chiffre étant la valeur la plus grande, soit de 1,6, soit de 8, les calculs exécutés jusqu'à présent peuvent être considérés comme étant valables.

Si l'expression  $\frac{n R_o f C}{1.000.000}$  était inférieure à 1,6, il serait nécessaire :

TABLEAU XVII				
Tube redresseur	Capacité de Filtrage	Tension anodique (Eac) et Résistances de protection (Rt)		
TYPE EUROPEEN	EY82	60 $\mu$ F	$E_{ac} = 250 V_{eff}$ $R_t = 75 \Omega$	$E_{ac} = 300 V_{eff}$ $R_t = 110 \Omega$
	EZ40	50 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 250 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 300 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 350 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 400 \Omega$
	EZ80	50 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 250 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 300 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 350 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 400 \Omega$
	EZ81	50 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 250 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 190 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 400 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 270 \Omega$
	GZ34	60 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 300 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 75 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 350 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 100 \Omega$
	PY82	60 $\mu$ F	$E_{ac} = 200 V_{eff}$ $R_t = 30 \Omega$	$E_{ac} = 250 V_{eff}$ $R_t = 125 \Omega$
	UY41	50 $\mu$ F	$E_{ac} = 230 V_{eff}$ $R_t = 160 \Omega$	$E_{ac} = 250 V_{eff}$ $R_t = 210 \Omega$
	UY82	60 $\mu$ F	$E_{ac} = 200 V_{eff}$ $R_t = 30 \Omega$	$E_{ac} = 250 V_{eff}$ $R_t = 125 \Omega$
	UY85	100 $\mu$ F	$E_{ac} = 220 V_{eff}$ $R_t = 90 \Omega$	$E_{ac} = 250 V_{eff}$ $R_t = 100 \Omega$
	UY88	50 $\mu$ F	$E_{ac} = 230 V_{eff}$ $R_t = 160 \Omega$	$E_{ac} = 250 V_{eff}$ $R_t = 210 \Omega$
	UY92	100 $\mu$ F	$E_{ac} = 110 V_{eff}$ $R_t = 0 \Omega$	$E_{ac} = 145 V_{eff}$ $R_t = 0 \Omega$
TYPE AMERICAIN	9R4GV	4 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 750 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 125 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 1000 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 375 \Omega$
	504G	10 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 450 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 170 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 550 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 230 \Omega$
	5V4G	10 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 300 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 80 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 375 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 100 \Omega$
	5X40	10 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 450 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 170 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 550 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 230 \Omega$
	5Y3G/GT	20 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 350 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 50 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 460 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 110 \Omega$
	5Z3	30 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 450 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 170 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 550 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 230 \Omega$
	6V4	50 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 250 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 300 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 350 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 400 \Omega$
	6X4	10 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 240 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 215 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 370 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 400 \Omega$
	6X5	4 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 370 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 100 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 650 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 150 \Omega$
	18Z3	10 $\mu$ F	$E_{ac} = 150 V_{eff}$ $R_t = 30 \Omega$	-
	25Z5	16 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 125 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 100 \Omega$	-
	25Z6	16 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 235 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 100 \Omega$	-
	35Z4GT	60 $\mu$ F	$E_{ac} = 235 V_{eff}$ $R_t = 300 \Omega$	-
	35Z5	40 $\mu$ F	$E_{ac} = 235 V_{eff}$ $R_t = 100 \Omega$	-
80	20 $\mu$ F	$E_{ac} = 2 \times 350 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 50 \Omega$	$E_{ac} = 2 \times 460 V_{eff}$ $R_t = 2 \times 110 \Omega$	

Capacité de filtrage, tension anodique et résistances de protection des tubes redresseurs à vide

Figure 7

d'augmenter la capacité de filtrage pour obtenir  $\frac{n R_o f C}{1.000.000} = 1,6$  éventuellement jusqu'à la limite maximum indiquée par le constructeur de la diode. Par contre, si la capacité maximum admise pour la diode choisie n'était pas encore suffisante, on devrait utiliser une autre diode, adaptée pour une capacité plus élevée.

On procède d'une façon analogue quand l'expression  $\frac{n R_o f C}{1.000.000}$  doit être plus grande ou au moins égale à 8. Dans ce cas, on devra augmenter la *capacité de filtrage* jusqu'à rendre l'expression  $\frac{n R_o f C}{1.000.000}$  au moins égale au nombre choisi.

#### 5 - DETERMINATION DE LA VALEUR EFFICACE DE LA TENSION ALTERNATIVE D'ENTREE ( $E_{ac}$ )

Pour déterminer la valeur efficace de la tension d'entrée  $E_{ac}$  d'un redresseur à une alternance, nous utiliserons le graphique du *tableau XVIII (figure 8)*. Pour un calcul analogue, relatif au redresseur à double alternance, nous utiliserons ensuite le graphique du *tableau XIX (figure 9)*.

Ces deux graphiques représentent la forme du rapport  $V_o/E_{ac}$ , soit la forme de la valeur qui s'obtient en divisant la tension continue  $V_o$  par la valeur efficace de la tension alternative  $E_{ac}$ .

Nous observons en outre, que dans ces graphiques existent les mêmes limitations relatives à la valeur de l'expression  $\frac{n R_o f C}{1.000.000}$ , déjà considérée lors de l'examen du *tableau XVI* pour la vérification du courant de pointe  $I_p$ .

Puisque pour la progression des calculs, nous avons pu nous assurer que  $\frac{n R_o f C}{1.000.000}$  était supérieure à 1,6 (nous avons déterminé qu'elle était égale à 9,999) il est donc inutile de recommencer ici ce contrôle.

En considérant l'allure du rapport  $V_o/E_{ac}$ , nous notons qu'elle dépend

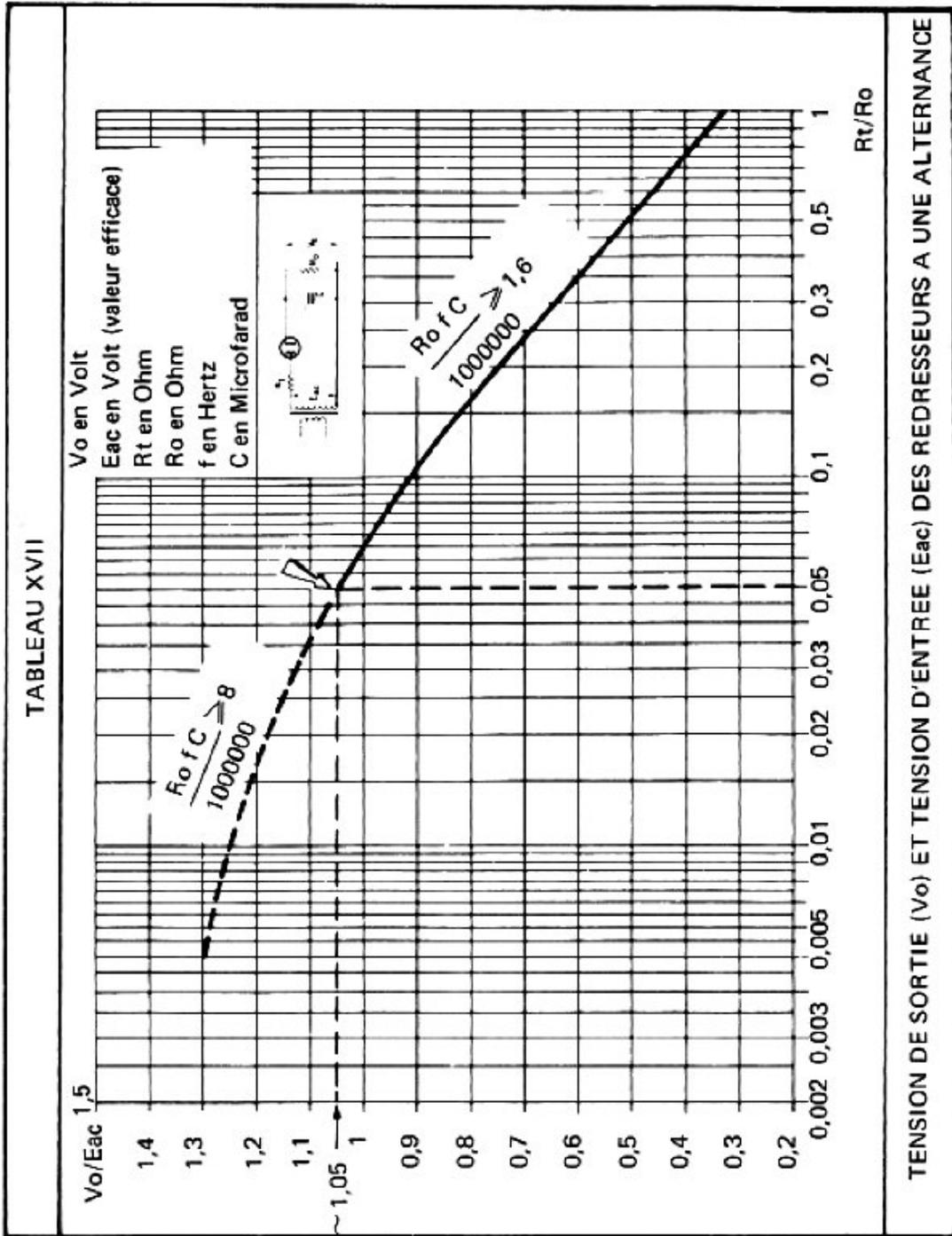


Figure 8

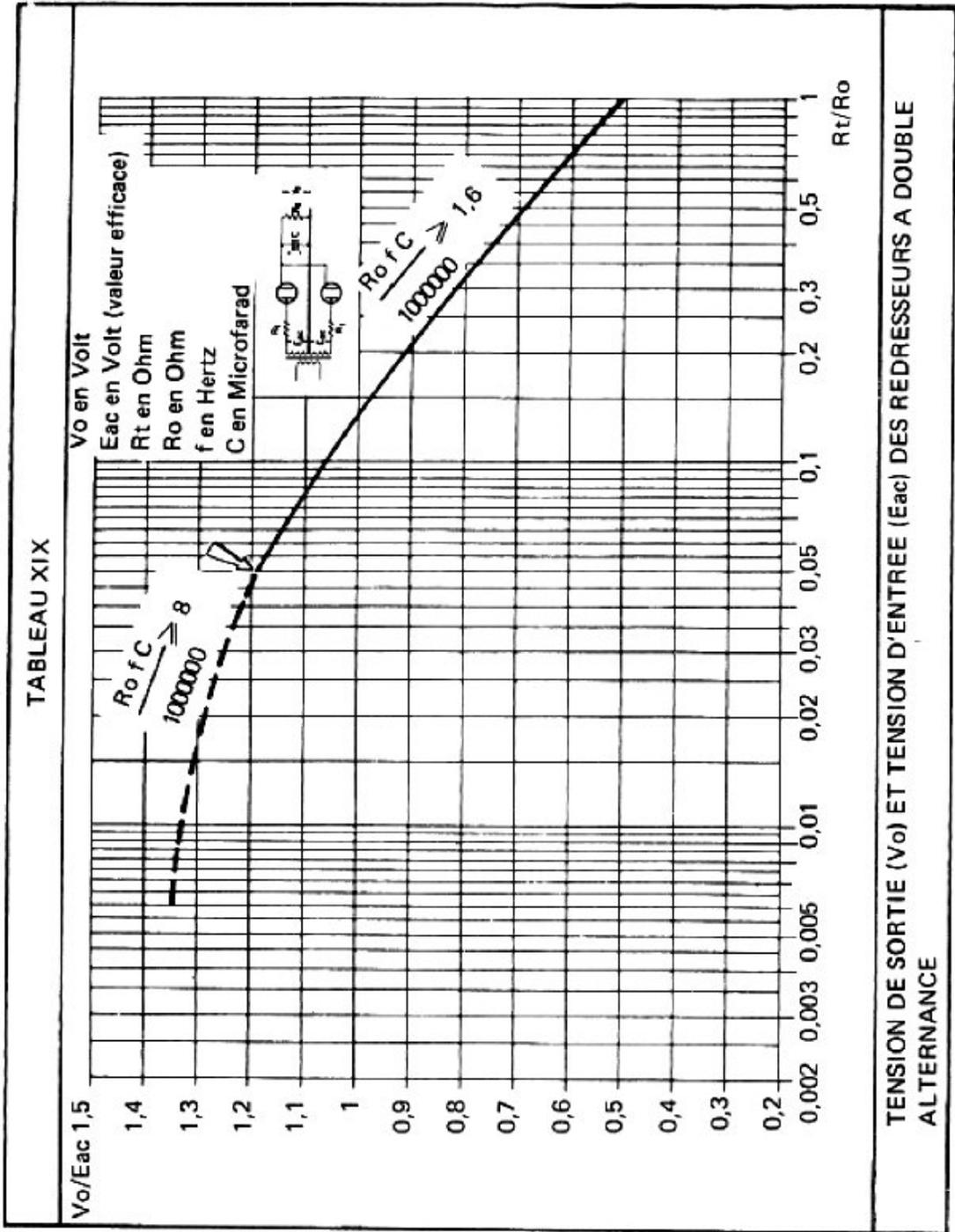


Figure 9

des valeurs du rapport  $R_t/R_o$ . Nous avons déjà établi que, dans le cas de notre exemple, le rapport  $R_t/R_o$  est égal à la valeur qui s'obtient en divisant 168 par 3.333, soit à 0,05 (valeur arrondie).

En correspondance avec  $\frac{R_t}{R_o} = 0,05$  sur le graphique de la *figure 8*,

on trouve que le rapport  $V_o/E_{ac}$  est égal à 1,05 (environ). On peut donc écrire sous la forme d'une expression mathématique :

$$\frac{V_o}{E_{ac}} \approx 1,05 .$$

En appliquant à cette expression les règles du calcul littéral exposées dans le fascicule de *Mathématiques 1*, et en remplaçant  $V_o$  par sa valeur (200 V), on obtient :

$$\begin{aligned} V_o &\approx 1,05 E_{ac} \\ E_{ac} &\approx \frac{V_o}{1,05} \approx \frac{200}{1,05} \approx 190 \text{ V (V. eff.)} \end{aligned}$$

## 6 - DERNIERS CONTROLES RELATIFS AU CHOIX DU TUBE REDRESSEUR

Une fois déterminée la valeur efficace de la tension alternative  $E_{ac}$  au secondaire de haute tension du transformateur, il reste à effectuer deux contrôles pour s'assurer que la diode choisie a toutes les caractéristiques électriques requises, pour une utilisation normale dans le circuit.

En premier lieu, il faut s'assurer que la tension  $E_{ac}$  ne dépasse pas une certaine valeur limite indiquée par le constructeur de la diode. Ensuite, on procèdera à la vérification finale de la résistance totale  $R_t$  de la diode et du transformateur, dont dépend la protection du tube, dans des conditions normales de fonctionnement.

La valeur limite de la tension  $E_{ac}$  que l'on peut appliquer à la diode PY 82 est égale à 250 V<sub>eff</sub>.  $E_{ac}$  ayant été calculée précédemment et étant

égale à  $190 V_{\text{eff}}$ , on peut considérer la diode choisie comme adaptée pour l'utilisation prévue, tout au moins en ce qui concerne les valeurs de tension.

Notons cependant que la valeur limite de la tension alternative d'entrée ( $E_{ac}$ ) n'est pas toujours mentionnée dans les lexiques de tubes. Dans ce cas, l'amplitude maximum de la tension inverse de crête est alors indiquée, c'est-à-dire la valeur de crête à crête, admise pour la tension fournie par le transformateur. Connaissant la valeur efficace de la tension  $E_{ac}$  au secondaire haute tension, on peut calculer facilement la valeur correspondante de crête à crête, en appliquant la *formule 146 (Formulaire 3)*. La valeur ainsi trouvée devra être inférieure ou au plus égale à la valeur maximum de la tension inverse de crête, indiquée par le constructeur de la diode.

Le dernier contrôle à exécuter, concerne la résistance totale  $R_t$  de la diode et du transformateur.

Pour ce contrôle, il faut confronter la valeur de  $R_t$  calculée précédemment, avec la valeur reportée au *tableau XVII*.

Si la résistance  $R_t$  calculée précédemment est plus grande ou égale à la valeur reportée au *tableau XVII*, la diode pourra être utilisée dans le circuit sans protections supplémentaires. Par contre, si elle est plus petite, il faudra insérer entre la plaque de la diode et l'enroulement du transformateur, une résistance de protection de valeur égale (ou légèrement supérieure) à la différence entre la résistance  $R_t$  reportée dans le *tableau XVII* et la résistance  $R_t$  calculée.

Pour la vérification de nos calculs, cherchons dans le *tableau XVII*, la valeur de  $R_t$  indiquée en correspondance avec la diode PY 82 et avec la tension  $E_{ac} = 200 V$  (valeur légèrement supérieure à celle calculée,  $E_{ac} \approx 190 V$ ). Dans ce tableau, on trouve que la résistance nécessaire pour la protection de la diode, est  $R_t = 30 \Omega$ . Puisque la valeur de  $R_t$  déterminée précédemment est de  $168 \Omega$ , nous pouvons être certains que la protection de la diode sera toujours assurée dans des conditions normales de fonctionnement.

### 7 - DETERMINATION DU COURANT EFFICACE (I)

Pour calculer la valeur efficace du courant alternatif qui parcourt le secondaire haute tension du transformateur, nous utiliserons le graphique du tableau XX (figure 10).

Dans ce diagramme, comme dans celui du tableau XVI (figure 6), on note la présence du rapport  $R_t/n R_o$  et du produit  $n R_o f C$ . Pour ces deux rapports, les mêmes considérations faites précédemment pendant la vérification du courant de pointe restent valables. Naturellement, il ne faudra pas refaire les calculs déjà exécutés.

En reprenant la valeur  $\frac{R_t}{n R_o} \approx 0,05$  (valeur arrondie), on détermine sur l'axe vertical du diagramme la valeur du rapport entre le courant efficace (I) et le courant continu redressé ( $I_o$ ), valeur qui est égale à environ 2,25.

Ecrivons maintenant le résultat de ce rapport sous forme d'une expression mathématique :

$$\frac{I}{I_o} \approx 2,25 .$$

En appliquant à cette expression, les règles du calcul littéral exposées dans le fascicule de "Mathématiques 1", et en remplaçant  $I_o$  par la valeur de 60 mA, on obtient :

$$I \approx 2,25 I_o$$

$$I \approx 2,25 \times 60 \approx 135 \text{ mA} .$$

La valeur efficace du courant sert aux calculs de projets des transformateurs d'alimentation, pour déterminer la section du fil de l'enroulement secondaire de haute tension (Formulaire 4).

### 8 - DETERMINATION DE LA PUISSANCE ( $P_s'$ ) DU SECONDAIRE DU TRANSFORMATEUR D'ALIMENTATION

La puissance  $P_s'$  du secondaire, est une des données sur lesquelles est basé le calcul du transformateur d'alimentation qui fournit la tension  $E_{ac}$  (Formulaire 4 - Paragraphe 1).

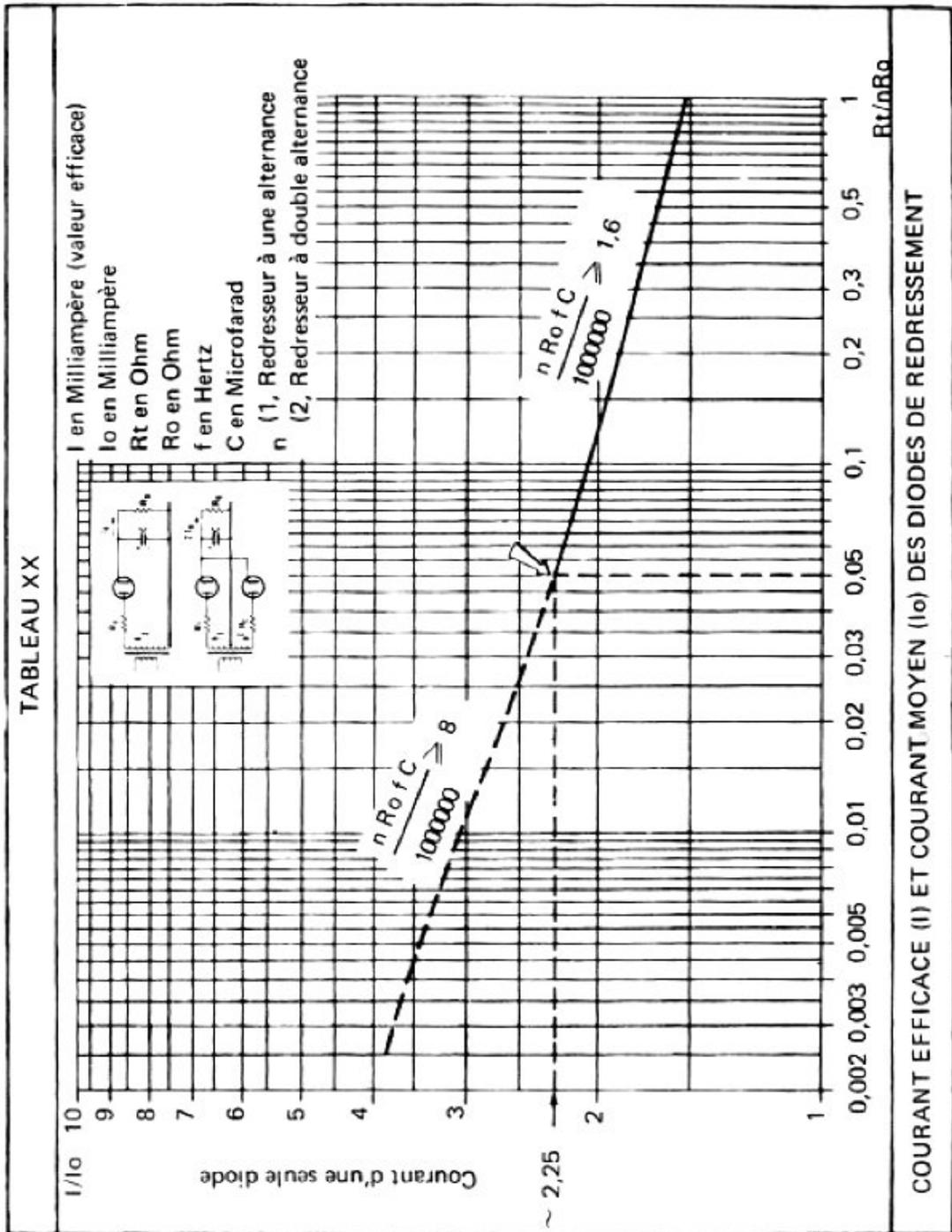


Figure 10

La valeur de  $P_s'$  dépend de la puissance électrique absorbée par la charge et de la puissance dissipée par le redresseur, c'est-à-dire qu'elle dépend en définitive de la résistance  $R_d$  de la diode, de la résistance  $R_o$  de charge et du courant  $I_o$  absorbé par la charge.

Pour déterminer la valeur de  $P_s'$ , on applique la formule suivante :

**FORMULE 186** - Calcul de la puissance secondaire  $P_s'$  du transformateur d'alimentation, connaissant la résistance moyenne  $R_d$  de la diode, la résistance  $R_o$  de la charge, et le courant continu  $I_o$  absorbé par la charge.

$$P_s' = (R_d + R_o) I_o^2$$

$P_s'$  = puissance secondaire en W (watt)  
 $R_d$  = résistance moyenne de la diode en  $\Omega$ (ohm)  
 $R_o$  = résistance de charge en  $\Omega$ (ohm)  
 $I_o$  = courant absorbé par la charge en A (ampère)

*Exemple :*

*Données :*  $R_d \approx 78 \Omega$ ,  $R_o \approx 3.333 \Omega$ ,  $I_o = 60 \text{ mA} = 0,06 \text{ A}$  .

Puissance secondaire du transformateur :  $P_s' = (78 + 3.333) \times 0,06^2 = 3.411 \times 0,0036 = 12,2796 \approx 12,28 \text{ W}$  (valeur arrondie)

## 9 - VERIFICATION EXPERIMENTALE DE LA RESISTANCE $R_{tr}$ DU TRANSFORMATEUR

Se basant sur le courant efficace ( $I$ ) et sur la puissance secondaire  $P_s'$ , on calcule et on construit le transformateur.

Il faut ensuite procéder à une vérification expérimentale de la résistance  $R_{tr}$ , déjà déterminée avec une large approximation, en utilisant les graphiques du *tableau XV*.

Dans ce but, il faut mesurer avec un ohmmètre, la résistance du secondaire  $R_s$  et celle du primaire  $R_p$  .

Quand il s'agit d'un transformateur d'alimentation pour redresseur à double alternance, la résistance du secondaire à mesurer n'est pas celle de l'enroulement complet, mais la résistance d'une seule section, c'est-à-dire entre une extrémité de l'enroulement secondaire et la prise médiane.

Une fois mesurées les résistances  $R_s$  et  $R_p$ , on peut calculer la résistance  $R_{tr}$  du transformateur en utilisant la formule suivante.

**FORMULE 187** - Calcul de la résistance ( $R_{tr}$ ) d'un transformateur, connaissant la résistance  $R_s$  du secondaire haute tension, la résistance  $R_p$  du primaire et le rapport de transformation  $n$  (formule 163 - Formulaire 4).

$$R_{tr} = R_s + n^2 R_p$$

$R_{tr}$  = résistance du transformateur en  $\Omega$ (ohm)  
 $R_s$  = résistance du secondaire en  $\Omega$ (ohm)  
 $n$  = rapport de transformation  
 $R_p$  = résistance du primaire en  $\Omega$  (ohm).

### Exemple

*Données :*  $R_s = 60 \Omega$ ,  $n \cong 1,1$ ,  $R_p = 40 \Omega$ .

Résistance du transformateur :  $R_{tr} = 60 + 1,1^2 \times 40 = 60 + 1,21 \times 40 = 60 + 48,4 = 108,4 \Omega$ .

Une fois calculée la valeur de la résistance  $R_{tr}$ , on doit confronter la valeur trouvée avec celle déterminée précédemment en utilisant les graphiques du *tableau XV*. Si la valeur de  $R_{tr}$  est supérieure ou égale à la valeur précédente, il ne faudra pas apporter de modification aux résultats obtenus.

Par contre, si la valeur de  $R_{tr}$  est inférieure à la valeur précédente, il faut que la somme de la nouvelle  $R_{tr}$  déterminée et de la résistance moyenne  $R_d$  de la diode soit encore plus grande ou au moins égale à la valeur de  $R_t$ , indiquée au *tableau XVII* (figure 7).

Dans ce cas, cette somme étant inférieure à la valeur de  $R_t$  indiquée au *tableau XVII* pour la tension  $E_{ac}$  immédiatement supérieure à celle adoptée dans les calculs précédents ; il faudra insérer entre l'enroulement du secondaire

du transformateur et la plaque de la diode, une résistance de protection de valeur égale à la différence entre la nouvelle  $R_t$  trouvée en se basant sur la *formule 187* et la  $R_t$  indiquée au *tableau XVII (figure 7)*.

### Calcul simplifié d'un circuit redresseur à double alternance avec tube électronique à vide

Le procédé de calcul d'un circuit redresseur à double alternance est identique à celui d'un redresseur à une alternance. Pour cette raison, nous nous limiterons à indiquer sommairement les diverses opérations et les résultats respectifs.

#### 1 - DONNEES

- Courant continu redressé par une seule diode,  $I_o = 50 \text{ mA}$ .
- Courant continu redressé par les deux diodes,  $2 I_o = 100 \text{ mA} = 0,1 \text{ A}$  ; (dans le calcul du circuit redresseur à double alternance, il faudra considérer deux courants continus redressés :  $I_o$  pour l'utilisation des graphiques et de la *formule 185*, qui se réfèrent toujours à une seule diode ;  $2 I_o$  pour le calcul de la résistance de charge  $R_o$ ).
- Tension continue redressée,  $V_o = 350 \text{ V}$  ;
- La capacité du condensateur de filtrage sera indiquée par la suite, après le choix du tube redresseur à double alternance (double diode).

#### 2 - DETERMINATION DU COURANT DE POINTE DE LA DIODE ( $I_p$ )

En appliquant la *formule 185*, nous pouvons déterminer le courant de pointe.

$$I_p = k I_o = 6 \times 50 = 300 \text{ mA.}$$

#### 3 - CHOIX DE LA DIODE ET DETERMINATION DE LA RESISTANCE TOTALE ( $R_t$ ) DE LA DIODE ET DU TRANSFORMATEUR

Choisissons la double diode 5U4 G, (droite B dans le diagramme du *tableau XIV (figure 4)*).

Se référant au graphique B de ce tableau, en correspondance à  $I_p = 300 \text{ mA}$ , nous trouvons :

résistance moyenne de la diode :  $R_d \approx 280 \Omega$ .

En utilisant le *tableau XV (figure 5)*, en correspondance avec  $I_o = 50 \text{ mA}$  et en se référant au graphique relatif à  $V_o = 350 \text{ V}$ , nous trouvons :

résistance du transformateur :  $R_{tr} \approx 170 \Omega$ .

En additionnant les valeurs  $R_d$  et  $R_{tr}$ , nous obtenons :

résistance totale :  $R_t = R_d + R_{tr} \approx 280 + 170 \approx 450 \Omega$ .

#### 4 - VERIFICATION DU COURANT DE POINTE ( $I_p$ )

Calculons la valeur de la résistance de charge  $R_o$ , en tenant compte qu'elle s'obtient en divisant la tension  $V_o$  exprimée en volt, par le courant total redressé par les deux diodes  $2 I_o$ , exprimé en ampère.

résistance de la charge :  $R_o = \frac{V_o}{2 I_o} = \frac{350}{0,1} = 3.500 \Omega$ .

Connaissant les valeurs  $R_t \approx 450 \Omega$ ,  $n = 2$  (deux diodes) et  $R_o = 3.500 \Omega$ , on calcule la valeur du rapport.

$$\frac{R_t}{n R_o} = \frac{450}{2 \times 3.500} = \frac{450}{7.000} \approx 0,0642 \approx 0,065 \text{ (valeur arrondie).}$$

En correspondance avec  $\frac{R_t}{n R_o} = 0,065$  sur le *tableau XVI (figure 6)* - nous trouvons :

$$\frac{I_p}{I_o} \approx 5,7$$

En se basant sur les règles du calcul littéral exposées dans le fascicule de *Mathématiques 1*, nous pouvons écrire :

$$I_p \approx 5,7 I_o .$$

La nouvelle expression nous permet d'établir, à première vue, que le courant  $I_p$  est égal à environ 5,7 fois la valeur du courant  $I_o$ . Le facteur 5,7 est peu différent du facteur 6 utilisé précédemment avec la *formule 185*. Nous ne sommes donc pas dans l'obligation de refaire les calculs précédents.

Avant de considérer valable cette vérification du courant de pointe, il faut encore contrôler l'expression  $\frac{n R_o f C}{1.000.000}$ . Elle devra être plus grande ou au moins égale à 1,6.

$n = 2$ ,  $R_o = 3.500 \Omega$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$  et  $C = 10 \mu\text{F}$  (valeur reportée sur le *tableau XVII (figure 7)*, en correspondance avec le redresseur 5U4 G, nous obtenons :

$$\frac{n R_o f C}{1.000.000} = \frac{2 \times 3.500 \times 50 \times 10}{1.000.000} = 3,5$$

La valeur trouvée est plus grande que 1,6 et pour cette raison, nous pouvons considérer comme étant valables, les calculs exécutés jusqu'à présent.

#### 5 - DETERMINATION DE LA VALEUR EFFICACE DE LA TENSION ALTERNATIVE D'ENTREE ( $E_{ac}$ )

Pour ce calcul, nous utiliserons le graphique du *tableau XIX (figure 9)*

Dans ce but, il faut calculer d'abord la valeur du rapport  $R_t/R_o$ , pour  $R_t \approx 450 \Omega$ , et  $R_o = 3.500 \Omega$  :

$$\frac{R_t}{R_o} = \frac{450}{3.500} \approx 0,128 \approx 0,13 \text{ (valeur arrondie).}$$

En correspondance avec la valeur  $\frac{R_t}{R_o} \approx 0,13$  sur le *tableau XIX*, nous trouvons :

$$\frac{V_o}{E_{ac}} \approx 1.$$

Le fait que le rapport entre la tension  $V_o$  et la tension  $E_{ac}$  soit environ

égal à 1, signifie que les valeurs des deux tensions doivent être approximativement égales et pour cette raison, on obtiendra :

$$E_{ac} \approx 350 V_{eff} \text{ (valeur efficace).}$$

## 6 - DERNIERS CONTROLES RELATIFS AU CHOIX DU TUBE REDRESSEUR

Il faut encore vérifier que la tension  $E_{ac} \approx 350 V_{eff}$ , ne soit pas supérieure à la valeur maximum indiquée par le constructeur du tube et que la résistance  $R_t = 450 \Omega$  soit suffisante pour la protection du tube, dans des conditions normales de fonctionnement.

A cet effet, on peut consulter le *tableau XVII (figure 7)*.

Pour le tube redresseur 5U4 G, on trouve des tensions  $E_{ac}$  de fonctionnement supérieures à  $350 V_{eff}$  et des résistances de protection  $R_t$  plus petites que  $450 \Omega$ . On peut donc considérer comme largement garantie, la protection du tube dans les conditions de fonctionnement qui sont prévues.

Nous observons que dans le *tableau XVII*, les valeurs  $E_{ac}$  et  $R_t$  sont précédées du symbole "2 X". Ce symbole permet de se souvenir que les valeurs se réfèrent à une double diode, ou plus précisément à une seule plaque de la double diode.

## 7 - DETERMINATION DU COURANT EFFICACE (I)

Pour ce calcul, nous utiliserons le graphique du *tableau XX* reporté à la *figure 10*.

En correspondance avec  $\frac{R_t}{n R_o} \approx 0,065$ , on détermine sur l'axe vertical du diagramme, la valeur  $\frac{I}{I_o} \approx 2,2$ .

En appliquant à cette formule les règles du calcul littéral exposées dans le fascicule de *Mathématiques 1*, et en remplaçant  $I_o$  par la valeur de 50 mA, on obtient :

$$I \approx 2,2 I_o$$

$$I \approx 2,2 \times 50 \approx 110 \text{ mA .}$$

La valeur efficace du courant alternatif que nous avons calculée, sert aux calculs de projet des transformateurs d'alimentation, pour déterminer la section du fil de l'enroulement secondaire de haute tension (*Formulaire 4*).

### **8 - DETERMINATION DE LA PUISSANCE ( $P_s'$ ) DU SECONDAIRE DU TRANSFORMATEUR D'ALIMENTATION**

En utilisant la *formule 186*, nous obtenons :

$$\begin{aligned} \text{puissance : } P_s' &= (R_d + R_o) I_o^2 = (450 + 3.500) \times 0,05^2 = \\ &= 3.950 \times 0,0025 = 9,875 \approx 9,9 \text{ W (valeur arrondie)}. \end{aligned}$$

La puissance que nous avons calculée est celle d'une seule section du secondaire haute tension du transformateur. La puissance totale de tout le secondaire haute tension est le double de  $P_s'$ , soit 19,8 W.

### **9 - VERIFICATION EXPERIMENTALE DE LA RESISTANCE $R_{tr}$ DU TRANSFORMATEUR**

Une fois construit, le transformateur d'alimentation, on peut vérifier la valeur de la résistance  $R_{tr}$  en se reportant à la *formule 187*.

Dans le prochain formulaire, nous compléterons les calculs des alimentations Haute tension.

