

Figure 15 : Réponse d'un transformateur à des créneaux de tension de valeur moyenne nulle

qu'il faudra ensuite prévoir la décroissance de i_m .

4/ Pratiquement le courant i_1 sera limité par la résistance de l'enroulement primaire.

12/ REPONSE D'UN TRANSFORMATEUR A DES CRENEAUX DE TENSION

12-1/ Créniaux à valeur moyenne nulle

Tant qu'on n'atteint pas la saturation le courant magnétisant croît puis décroît linéairement et présente donc l'allure de triangles. Le courant dans r a l'allure de carrés $\pm E/r$. On en déduit la forme de i_1 . La figure 15a est tracée dans le cas où $t = 0$ correspond au flanc montant avec $i_m(0) = 0$

Si les créniaux durent suffisamment longtemps, i_m atteint la valeur i_{ms} correspondant à la saturation ; les formes deviennent celles de la figure 15b avec une pointe sur i_m que l'on retrouve au primaire sur i_1 .

Le fait d'avoir une moyenne nulle permet un fonctionnement périodique stable, le courant magnétisant redescendant exactement à zéro à la fin de chaque période.

NB : on obtient un résultat analogue avec des créniaux d'amplitude positive E_1 et négative E_2 différentes, si leurs durée t_1 et t_2 sont telles que $E_1 t_1 = E_2 t_2$ (fig. 15c et 15d)

12-2/ Créniaux à valeur moyenne non nulle

D'après le principe de superposition, on peut décomposer ces créniaux en :

- une composante continue $v_{1c} = v_{moy}$ qui donne un courant magnétisant croissant linéairement
- une composante alternative de valeur moyenne nulle v_{1a} , qui donnera un courant magnétisant

triangulaire (fig. 16)

Le courant magnétisant résultant est la somme d'une rampe et de triangles jusqu'au moment où se manifeste la saturation.

Remarque : comme dans le cas d'un échelon, le fonctionnement d'un transformateur attaqué par des créniaux possédant une composante continue ne peut avoir lieu que sur une durée limitée. La fabrication de créniaux à valeur moyenne nulle est difficile à réaliser. Ce problème se pose en particulier dans le cas des montages Push Pull série et parallèle. L'emploi d'un point milieu capacitif pour le Push Pull série résout le problème, le point milieu se décalant légèrement s'il existe une dissymétrie. Dans le cas d'un Push Pull parallèle le problème est plus délicat. Pratiquement c'est la chute de tension due à la résistance série des enroulements primaires qui réduira la dissymétrie.

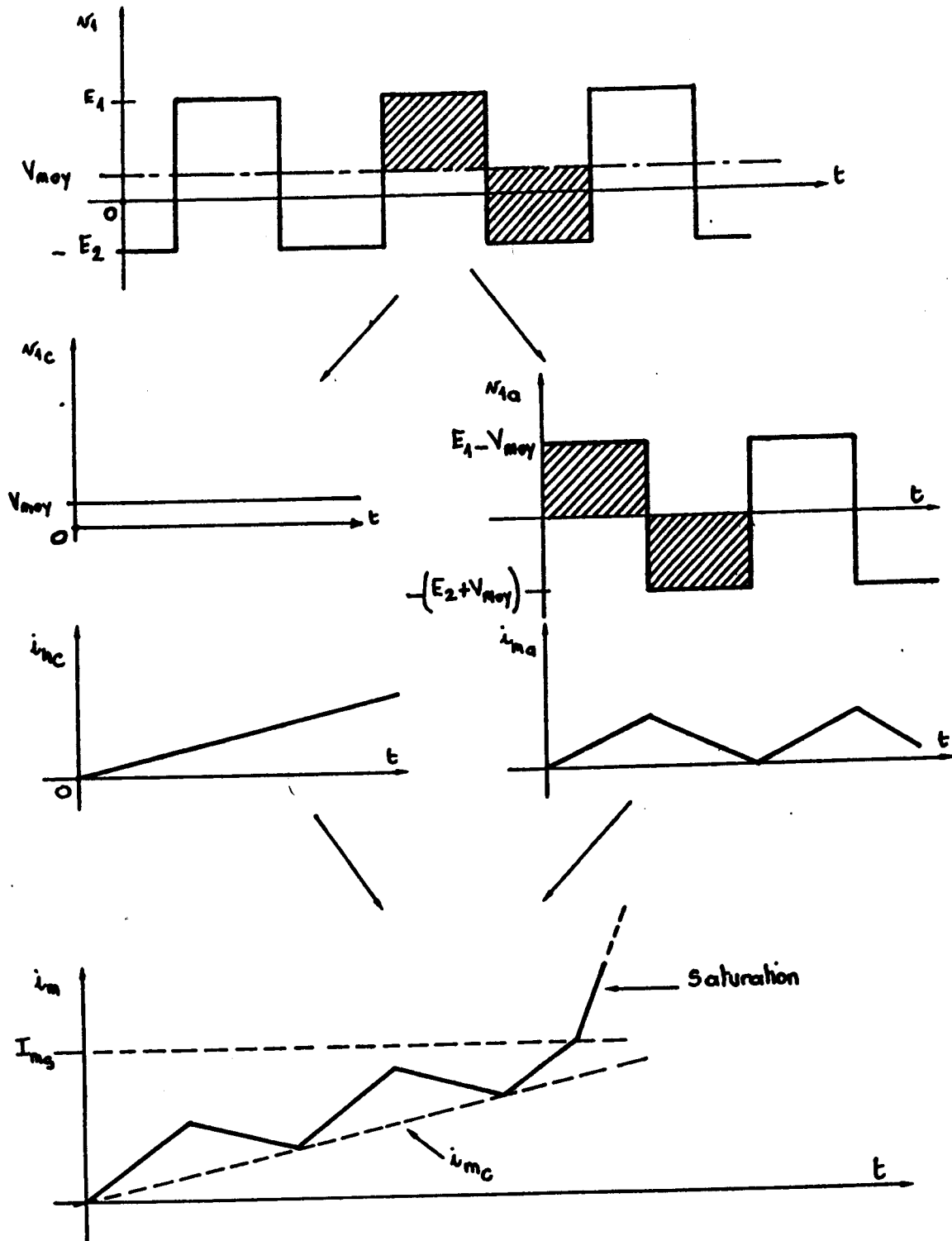


Figure 16 : Réponse d'un transformateur à des créneaux de tension de valeur moyenne non nulle

13/ LECTURE D'UN COURANT PAR TRANSFORMATEUR (T.I.)

13- 1/ Principe de la mesure

On souhaite réaliser un dispositif de lecture de courant à l'oscilloscope à l'aide d'un transformateur de courant. On attaque le primaire du transformateur par le courant à observer (fig. 17a), quelles sont les conditions à respecter pour que le courant secondaire soit une image la moins déformée possible de ce courant?

Le primaire est attaqué *en courant* : i_1 est imposé. Le secondaire se comporte donc comme une source de courant. Comme on veut observer l'image du courant à l'oscilloscope, on ferme le secondaire sur une résistance R , aux bornes de laquelle on lira $v_2 = R i_2$ (fig. 17b).

La tension v_1 au primaire sera l'image de v_2 vue à travers le transformateur : $v_1 = (N_1/N_2) v_2$.

Remarque sur la valeur moyenne du courant observé

Comme on observe la tension secondaire v_2 dont la valeur moyenne est nulle (règle N°1 du transformateur) il faut renoncer à observer une éventuelle composante continue du courant i_1 ! Par contre on peut espérer observer la *forme* du courant.

Remarque sur la valeur moyenne du courant magnétisant et les risques de saturation

En remplaçant le transformateur par son schéma équivalent simplifié, on obtient le circuit de la figure 17c ; en ramenant tout au primaire, par exemple, on aboutit au circuit de la figure 17d.

De ce qui précède, on déduit que la valeur moyenne du courant magnétisant i_m est égale à celle de i_1 .

La valeur crête de i_m sera encore supérieure à cette valeur. Or c'est ce courant magnétisant qui fixe le flux dans le circuit magnétique. Il faudra prendre soin de choisir le circuit magnétique et le nombre de spires au primaire de façon à ne pas saturer lorsque le courant magnétisant atteint sa valeur crête, ce qui entraînerait une déformation importante du courant secondaire.

Pour la valeur crête de i_m , et un circuit magnétique de longueur ℓ , le théorème d'Ampère s'écrit :

$$N_1 i_{m \max} = H_{\max} \ell = B_{\max} \ell / \mu$$

N_1 étant le nombre de spires au primaire, au moins égal à 1.

B_{\max} et μ étant imposés par le choix du matériau magnétique, on voit que plus la valeur moyenne du courant à observer sera élevée, plus la taille du circuit magnétique devra être grande. (ℓ grand)

Expression de i_2

On peut écrire le courant vu au secondaire :

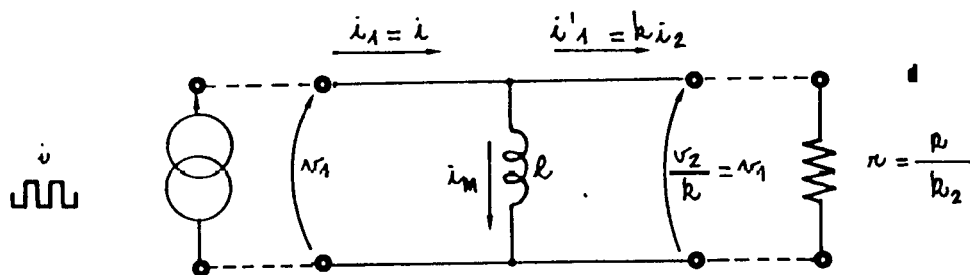
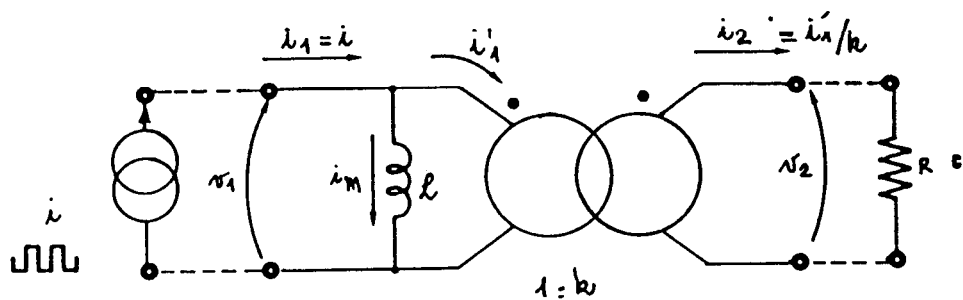
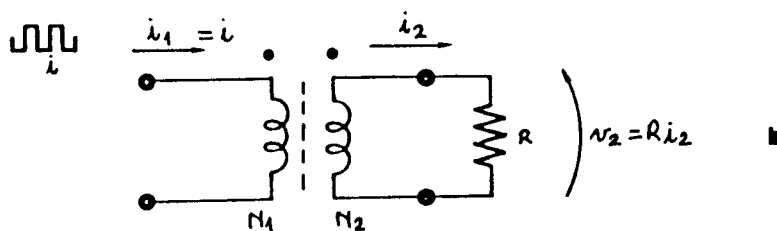
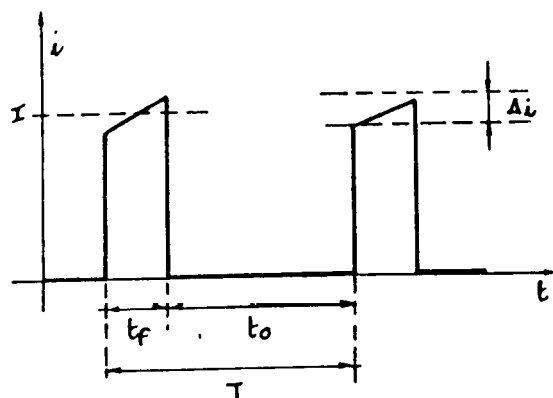


Figure 17 : lecture d'un courant par transformateur

$$i_2 = i_1 / k \quad \text{avec : } k = N_2 / N_1$$

d'où :

$$i_2(t) = i_1(t) / k - i_m(t) / k$$

i_2 sera l'image de i_1 si i_m est négligeable ou si i_m varie peu (à une constante près; n'oublions pas que de toute façon, on élimine la composante continue).

Regardons comment varie i_m :

La tension aux bornes de \mathcal{L} est égale à v_2 / k , avec :

$$v_2 / k = r \cdot k i_2 = R i_2 / k$$

d'où :

$$di_m / dt = v_2 / k \mathcal{L} = (R / k \mathcal{L}) i_2$$

Si on observe le courant i_2 sur un intervalle de temps Δt , le courant i_m durant cet intervalle, varie de :

$$\Delta i_m = (R / k \mathcal{L}) i_2 \Delta t$$

Cette variation sera d'autant plus faible que :

- k sera grand ($N_2 \gg N_1$)
- \mathcal{L} sera grand
- R sera petit (résistance de charge au secondaire)
- le phénomène à observer sera bref (Δt petit)

Conclusion :

Pour une bonne lecture du courant, on réalisera donc un transformateur comportant peu de spires au primaire (pour éviter la saturation), à rapport de transformation élevé, utilisant un circuit magnétique de réluctance faible (matériau de perméabilité élevée - pas d'entrefer) et fermé au secondaire sur une résistance de faible valeur (secondaire quasiment en court-circuit).

La lecture sera d'autant meilleure que le phénomène à observer sera bref (les flancs raides seront moins déformés que les paliers à courant constant) mais on ne verra pas une éventuelle composante continue.

13-2/ Observation d'un courant rectangulaire

Dans les alimentations à découpage on doit observer souvent des courants de forme rectangulaire. La figure 17a donne le courant dans le transistor d'une alimentation de type Forward. Problème : construire la forme de la tension vue à l'oscilloscope lorsqu'on observe un courant tel que celui de la figure 17a dans lequel on suppose l'ondulation Δi , faible devant i .

Si on assimile le courant i à des carrés, le problème se ramène à l'attaque d'un circuit RL parallèle (circuit du premier ordre) par des carrés de *courant* (figure 18a). On obtiendra donc dans R et \mathcal{L} des courants présentant l'allure de portions d'exponentielles de constante de temps égale à \mathcal{L}/R .

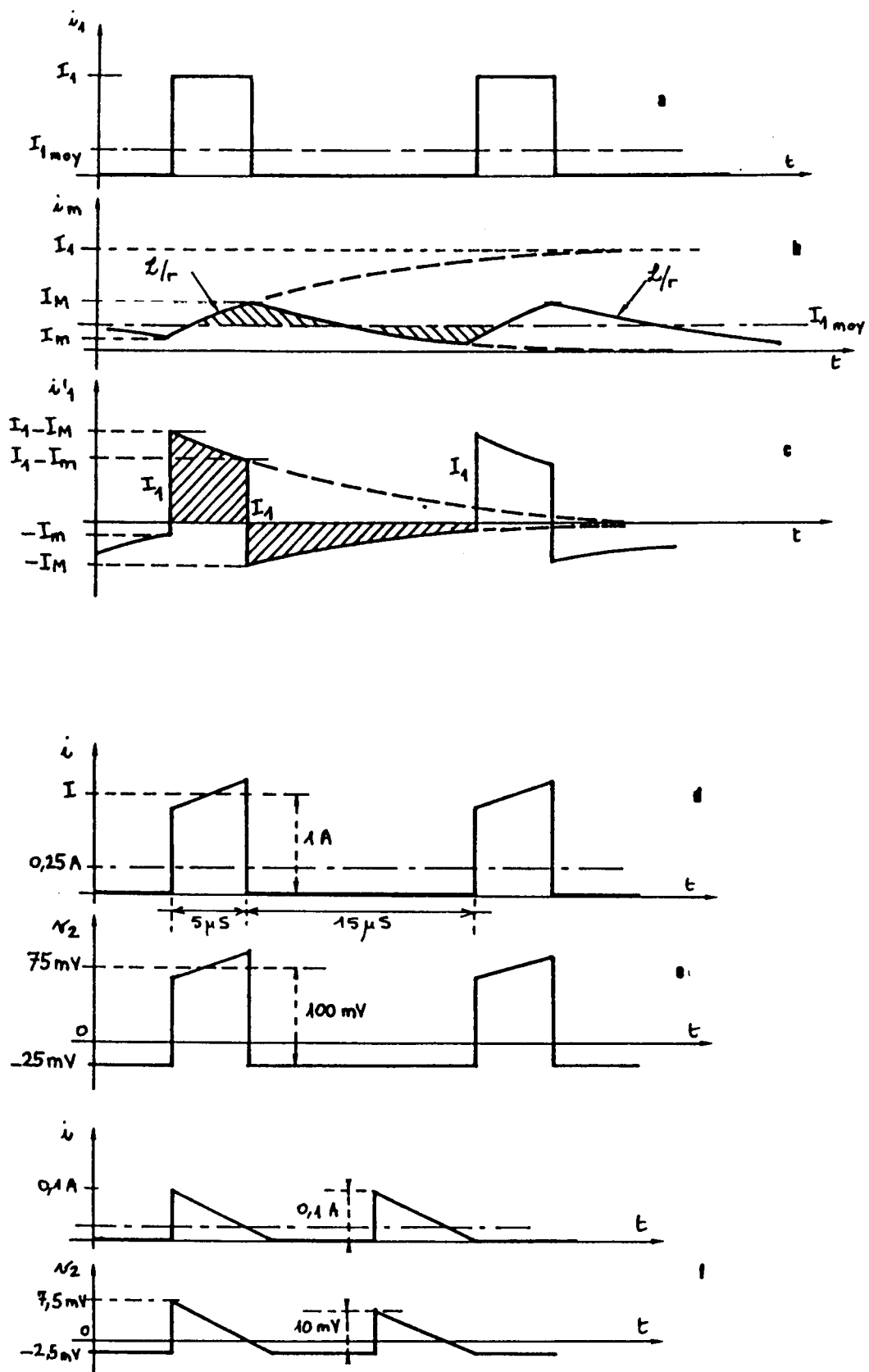


Figure 18 : Observation d'un courant rectangulaire avec un transformateur

Construction de i_m et i'_1

On a vu que la valeur moyenne de i_m est la même que celle de i_1 (fig. 18b). Les valeurs asymptotiques vers lesquelles tend i_m sont:

- a) $i_m = I$ lorsque $i_1 = I$.
- b) $i_m = 0$ lorsque $i_1 = 0$.

Ces remarques permettent de construire l'allure de $i_m(t)$, puis d'en déduire celle de $i'_1 = i_1 - i_m$ (fig. 18c).

On voit que i'_1 est un courant de valeur moyenne nulle, constitué de portions d'exponentielles qui tendent vers zéro. On notera que *les amplitudes des flancs sont conservés*, ce qui permet leur mesure.

Si la constante de temps \mathcal{L} / R est très grande vis-à-vis des durées t_f et t_0 , les portions d'exponentielles seront assimilables à des portions de droites et le courant rectangulaire du primaire i_1 donnera une allure trapézoïdale.

Tension vue à l'oscilloscope

Aux bornes de R , on verra une tension de valeur moyenne nulle ayant l'allure de i'_1 , au rapport k près et à la valeur de R près:

$$v_2 = R i_2 = R i'_1 / k$$

13-3/ Application

Pour mesurer un courant ayant la forme de celui de la figure 18d (amplitude 1 A ; $t_f = 5 \mu s$; $t_0 = 15 \mu s$), on désire réaliser une "pince de courant" avec un noyau de ferrite constitué de deux pièces en U entourant le fil parcouru par le courant à mesurer (on a donc $N_1 = 1$). Sur une des pièces, sont bobinées 100 spires constituant le secondaire, que l'on ferme sur une résistance R de 10 ohms. L'inductance spécifique du circuit magnétique (Inverse de la réluctance) est de $1000 \mu H$.

Calculer les variations du courant magnétisant sur t_f et t_0 en admettant a priori que ses variations sont faibles devant sa valeur moyenne. En déduire la tension vue à l'oscilloscope.

Puisque l'ondulation de i_m est faible devant sa valeur moyenne, i_m est donc proche d'un courant continu égal à la valeur moyenne de i_1 .

Avec les valeurs indiquées : $i_m(t) = I_{1 \text{ moy}} = 1 A \cdot t_f / T = 1 A \cdot 5 / 20 = 0,25 A$.

D'où :

$$i'_1(t) = i_1(t) - i_m(t) = i_1(t) - 0,25 \text{ A}$$

- pendant t_f :

$$i_1 = 1 \text{ A} ; i'_1 = 0,75 \text{ A}$$

$$\text{et : } i_2 = i'_1 / k = 0,75 \text{ A} / 100 = 7,5 \text{ mA} ; v_1 = r i_1 = R / k^2 = 10 / (100)^2 = 0,75 \text{ mV.}$$

- pendant t_0 :

$$i'_1 = - 0,25 \text{ A} ; v_1 = - 0,25 \text{ mV.}$$

$$\text{Comme } N_1 = 1 : \mathcal{L} = N_1^2 A_L = A_L.$$

La variation de i_m sur l'intervalle t_f est donc :

$$\Delta i_m = (di_m/dt) \cdot t_f = (v_1 / \mathcal{L}) \cdot t_f = (0,75 \text{ mV} / 1000 \text{ nH}) \cdot 5 \mu\text{s} = 3,75 \text{ mA.}$$

On retrouve bien entendu la même valeur en effectuant le calcul sur l'intervalle t_0 .

On vérifie bien que cette ondulation du courant magnétisant (3,75 mA) est négligeable devant sa valeur moyenne (0,25 A). On pourra donc légitimement considérer que le courant magnétisant, à la fréquence considérée, est constant ; par conséquent le courant au secondaire sera bien l'image du courant primaire.

A l'oscilloscope, on lira (fig.18e) la tension $v_2 = 100 v_1$, soit :

$$\text{- pendant } t_f : v_2 = 75 \text{ mV}$$

$$\text{- pendant } t_0 : v_2 = - 25 \text{ mV}$$

La figure 18f donne les résultats pour une autre forme de courant.

REMARQUES

Le courant qui circule dans la résistance R correspond à une source de courant $i - i_m$, au rapport k près. Pour cette raison il est peu sensible aux parasites. Par contre la faible chute de tension aux bornes de R l'est beaucoup. C'est pourquoi *la meilleure lecture s'effectue en refermant le T.I. sur la résistance placée directement sur l'entrée de l'oscilloscope.*

Le courant qui circule au secondaire du T.I. est 100 fois plus faible que le courant i ; de même, les di/dt au secondaire seront 100 fois plus faibles qu'au primaire, ce qui permet de négliger la légère composante inductive de R.