

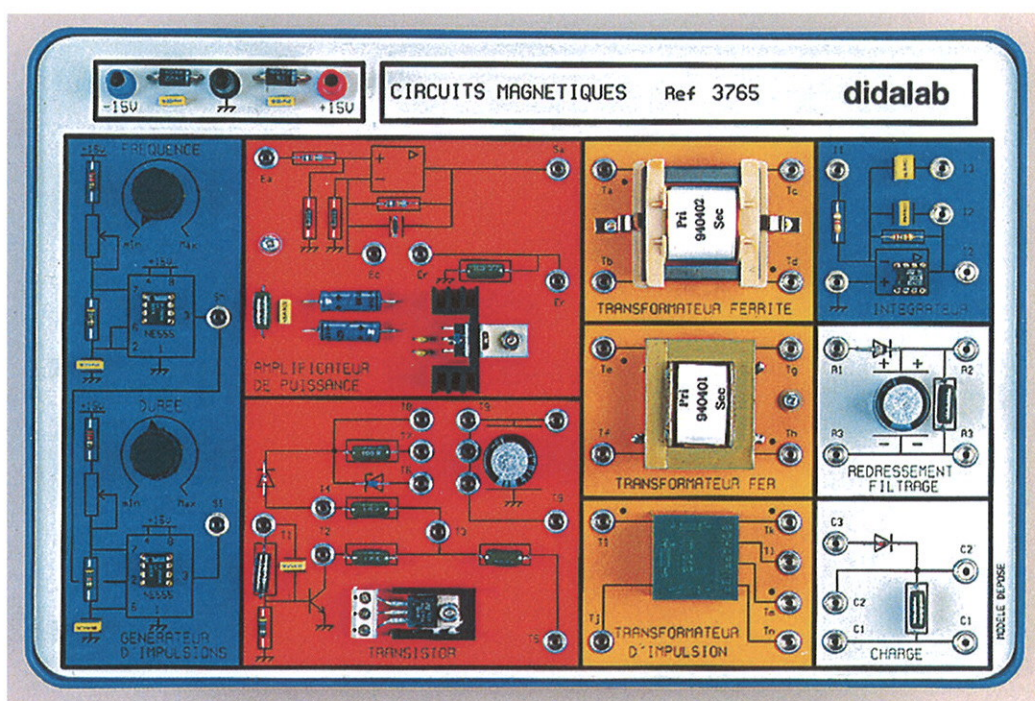
EPD037650

ETUDE DES CIRCUITS MAGNETIQUES

Marc DEMONCHY et Robert LE GOFF

Professeurs

LSI Gustave Eiffel - CACHAN



TRAVAUX PRATIQUES



Z.A. de la Clé St Pierre - 5, rue du Groupe Manoukian
78990 Elancourt FRANCE

Tél. : (33) 01 30 66 08 88 - Fax : (33) 01 30 66 72 20

e-mail : ge@didalab.fr – Web : www.didalab.fr

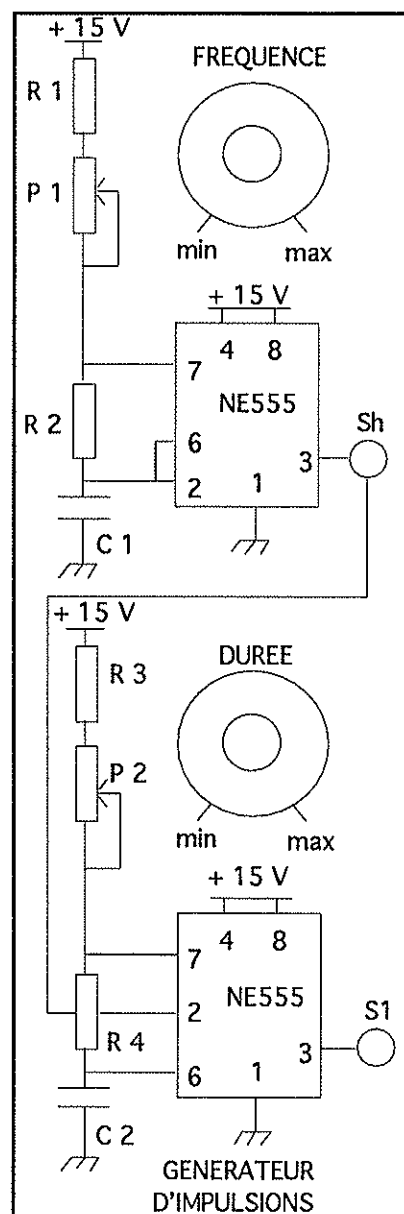
Date de révision: 10/03/08

Réf. : EPD037650

COURS ET TRAVAUX PRATIQUES SUR LES CIRCUITS MAGNETIQUES

A. PRESENTATION DE LA MAQUETTE

• GENERATEUR D'IMPULSIONS



Le NE 555 situé dans la partie supérieure du module "Générateur d'impulsions", est monté en multivibrateur astable. Sa fréquence d'oscillation est réglable par le potentiomètre P_1 .

Le second NE 555 est monté en monostable commandé par la tension de sortie de l'oscillateur astable.

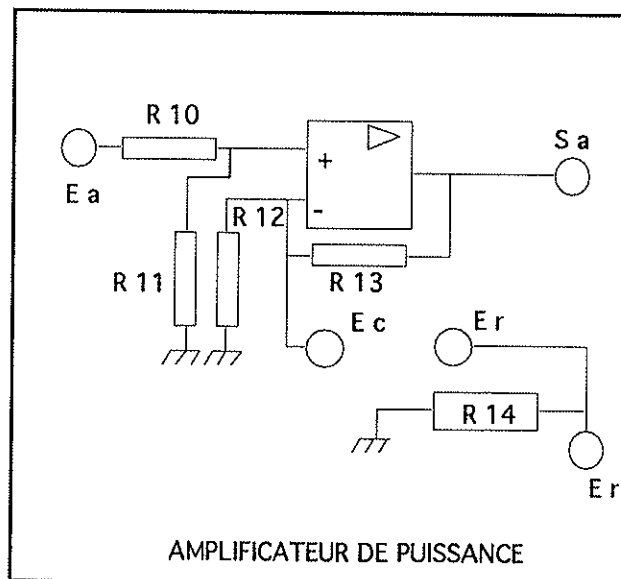
Alimenter la maquette en ± 15 V.

Visualiser la tension disponible à la borne Sh. Mesurer la plage de variation de la fréquence de cette tension (entre 1200 Hz et 5000 Hz environ).

Visualiser la tension disponible à la borne S1. Mesurer la plage de variation de la durée des impulsions de sortie (entre 10 μ s et 50 μ s environ).

Relever les tensions précédentes en concordance des temps afin de détecter les instants de basculement des tensions de sortie des deux multivibrateurs.

• AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE



Placer entre S_a et E_r un rhéostat de résistance réglable entre 0 et 120 Ω .

Alimenter le montage entre Ea et la masse par un GBF délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude 10 V et de fréquence 50 Hz.

Visualiser :

- sur la voie 1 d'un oscilloscope, la tension disponible à la sortie Sa de l'amplificateur,
- sur la voie 2 la tension aux bornes de la résistance R14 (1 Ω).

Ajuster la résistance du rhéostat à une valeur permettant l'obtention d'une intensité de sortie de valeur maximale 1 A ($R = 10 \Omega$).

Que vaut la valeur maximale de la tension de sortie ? Le montage est-il amplificateur de tension ?

A partir des chronogrammes, déterminer la puissance disponible en sortie (on trouve 5 W).

Sans modifier les réglages, alimenter directement le rhéostat : quelle est la valeur maximale de la tension aux bornes du rhéostat ? Justifier le nom d'adaptateur d'impédance que l'on peut donner à ce montage.

Toujours sans modifier les réglages, remplacer le rhéostat en sortie du montage.

Modifier le branchement de l'oscilloscope en visualisant :

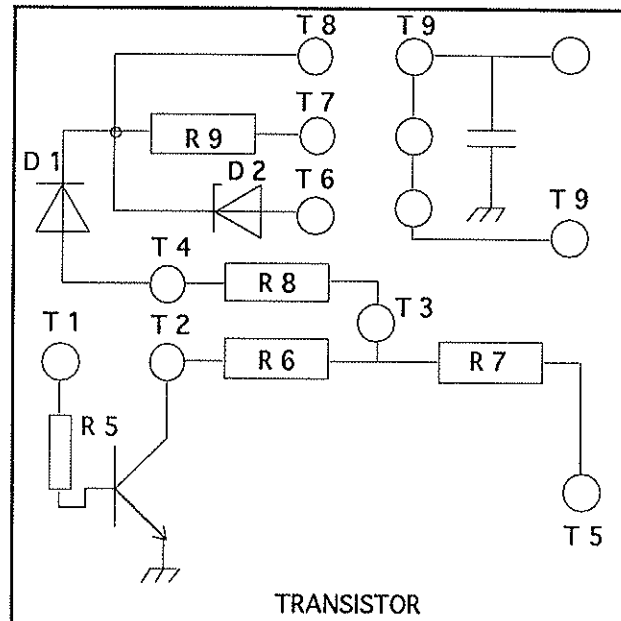
- sur la voie 1 la tension délivrée par le GBF.
- sur la voie 2 la tension disponible en Ec.

Par action des touches INV et ADD de l'oscilloscope visualiser la tension disponible aux bornes de la résistance R10 (10 k Ω).

En déduire la valeur maximale de l'intensité du courant d'entrée. Le montage est-il amplificateur de courant ?

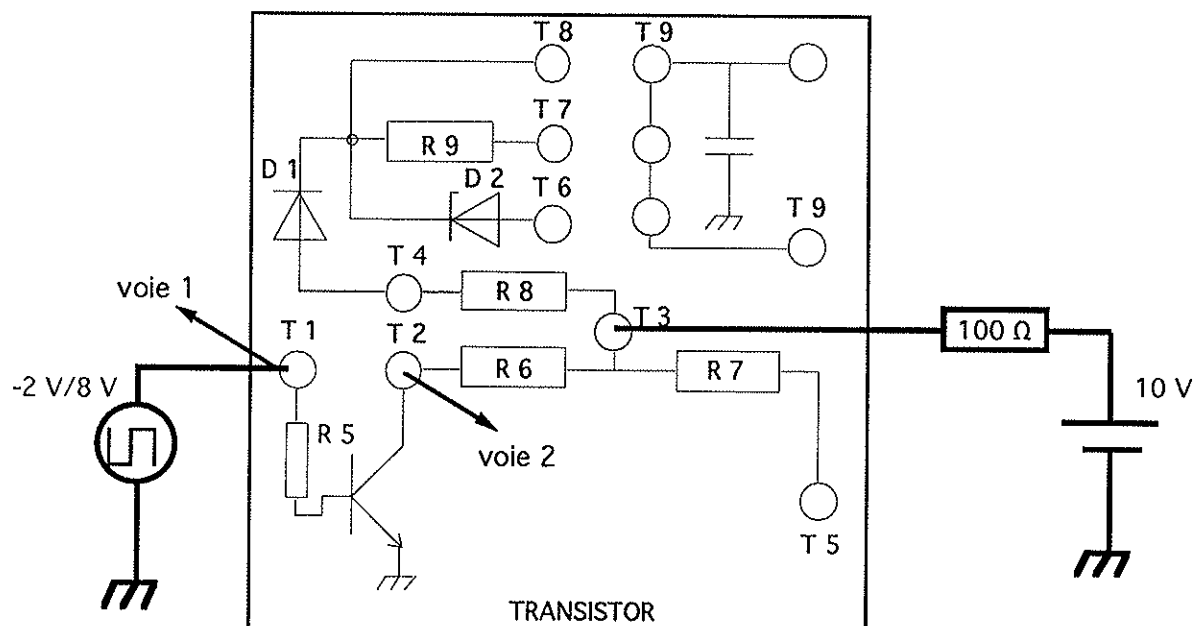
Calculer la puissance disponible à l'entrée (on trouve 4,5 mW environ).

• TRANSISTOR DE COMMANDE



Le transistor de commande est utilisé en commutation. la diode D1 et la diode Zéner D2 sont des diodes utilisées pour aider à la démagnétisation des circuits magnétiques.

Pour observer la commutation du transistor sur charge résistive, réaliser le montage suivant (la commutation du transistor sur charge inductive se fera ultérieurement) :



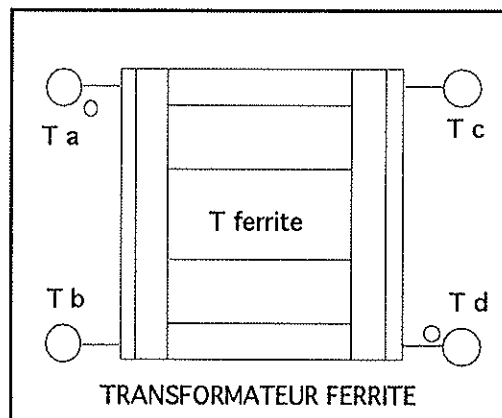
Visualiser la tension délivrée par le GBF et la tension V_{CE} pour une fréquence de 100 Hz.

Modifier la fréquence et justifier l'évolution de la forme de la tension V_{CE} .

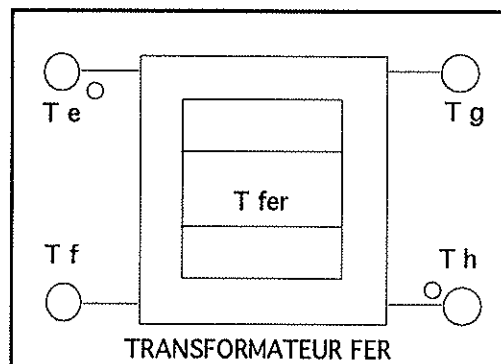
• TRANSFORMATEURS

Sur la maquette trois transformateurs sont proposés :

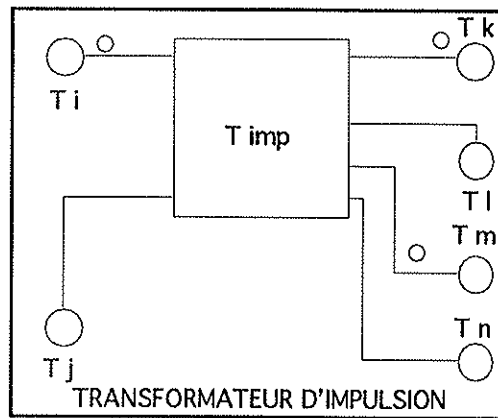
- l'un avec deux enroulements montés sur un circuit magnétique en ferrite avec entrefer réglable :



- un autre avec deux enroulements sur un circuit magnétique en tôle feuilletée :



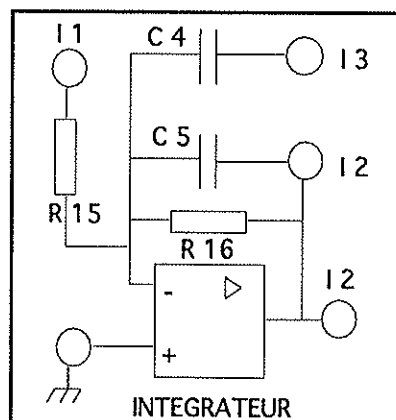
- un troisième, plus complexe, avec un enroulement au primaire et deux enroulements au secondaire sur un circuit magnétique en ferrite pour la transmission d'impulsions avec isolation galvanique :

**Attention :**

L'un des enroulements du secondaire se trouve entre les bornes Tk et Tn, l'autre étant entre les bornes Tl et Tm.

Remarque : Données du constructeur du transformateur d'impulsions IT 312 de chez SCHAFFNER :

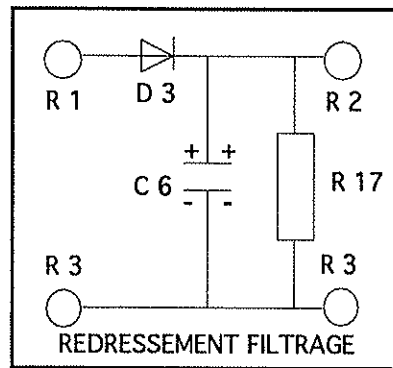
- Rapport de transformation : 1:1:1
- Produit E.t : 1200 V μ s
- Temps de montée : 1 μ s
- Inductance L : 21 mH
- Résistance de l'enroulement du primaire r_1 : 1 Ω
- Résistance de l'enroulement d'un secondaire r_2 : 2 Ω

• **INTEGRATEUR**

$R_{15} = 9,1 \text{ k}\Omega$, $R_{16} = 1 \text{ M}\Omega$, $C_4 = 330 \text{ nF}$, $C_5 = 33 \text{ nF}$.

La maquette étant alimentée en $\pm 15 \text{ V}$, appliquer une tension en créniaux $\pm 4 \text{ V}$, 100 Hz à l'entrée du montage. Relever les tensions d'entrée et de sortie. Vérifier, qu'à une constante près, la tension de sortie est l'intégrale de la tension d'entrée. Calculer cette constante (expérimentalement et théoriquement).

- REDRESSEMENT FILTRAGE

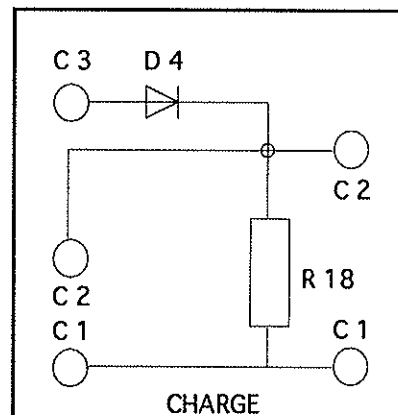


Appliquer entre R1 et R3 une tension sinusoïdale d'amplitude 12 V et de fréquence 50 Hz. Visualiser la tension aux bornes de la résistance R17 (1 k Ω) et vérifier que cette tension est pratiquement continue.

Justifier les rôles de la diode D3 et du condensateur chimique C6.

Cette fonction "redressement filtrage" sera utilisée pour la charge d'une alimentation à découpage FLYBACK.

- CHARGE



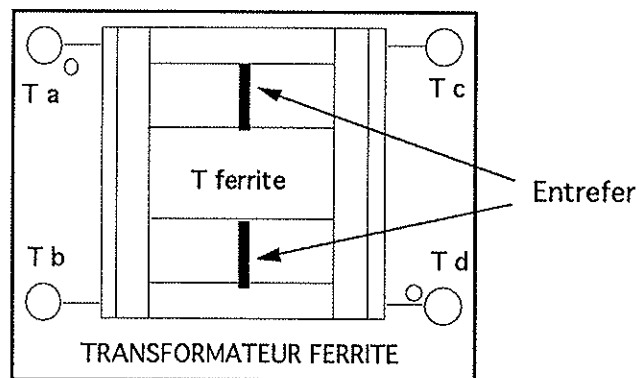
Cette charge élémentaire ne nécessite pas une étude préliminaire. Elle sera utilisée pour la charge du transformateur d'impulsions.

B) CYCLE D'HYSTERESIS D'UN CIRCUIT MAGNETIQUE

I. TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FERRITE

I.1. MAGNETISATION DU CIRCUIT MAGNETIQUE

On utilise le transformateur à noyau de ferrite :



dans lequel on réalise un entrefer en intercalant dans le circuit, des petits morceaux de transparent pour rétroprojecteur dont l'épaisseur est bien connue (100 μm).

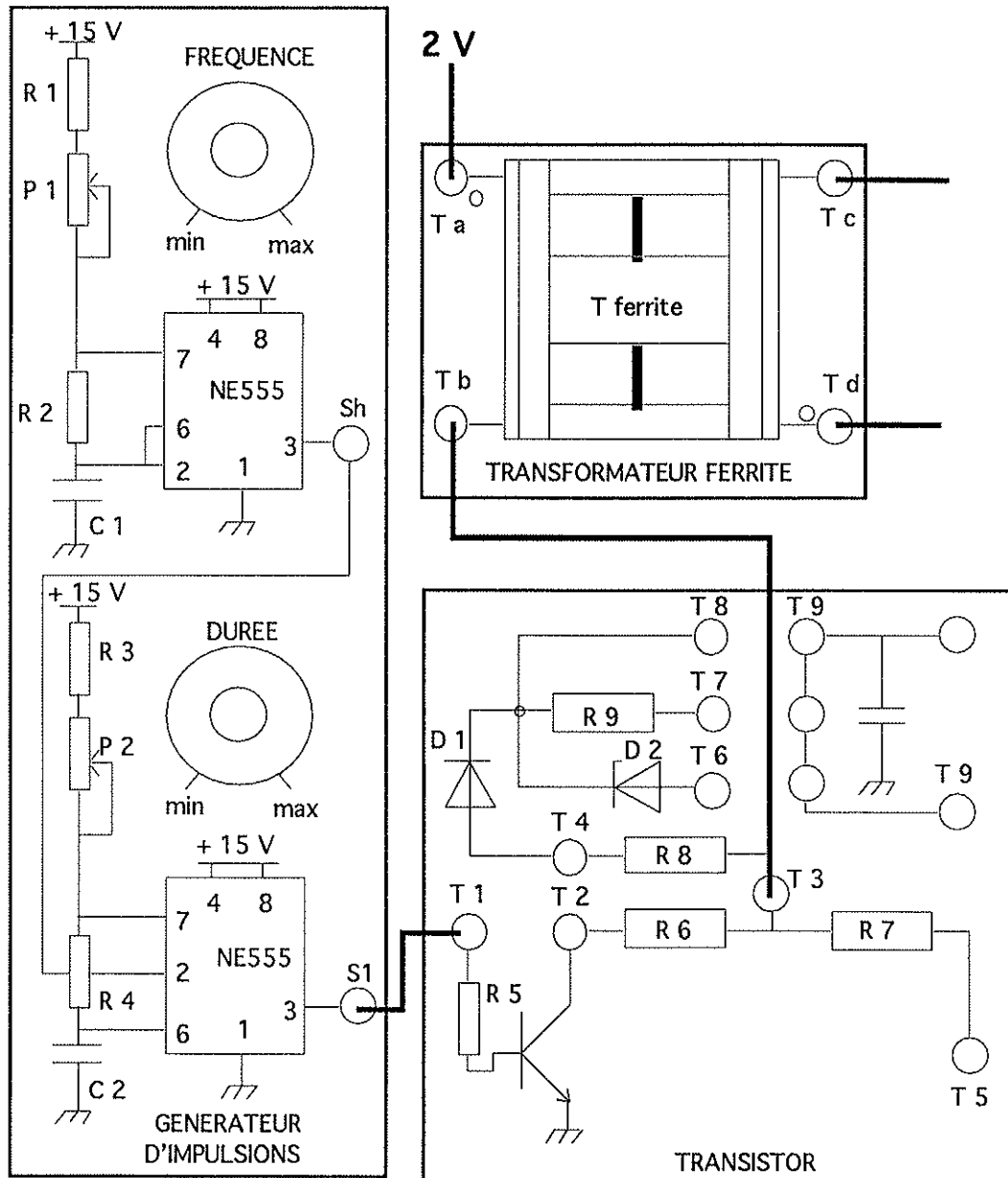
Réaliser un entrefer de 200 μm .

Réaliser le montage ci-après.

Régler le potentiomètre "fréquence" à mi-course.

La tension d'alimentation du primaire est réduite : 5 V.

La borne S_1 étant reliée à T_1 , visualiser à l'oscilloscope la tension appliquée entre la base et l'émetteur du transistor ainsi que la tension v_{CE} du même transistor (la voie 1 en S_1 , la voie 2 en T_2 et la masse de l'oscilloscope à la masse de l'alimentation).



Donner à l'impulsion la durée la plus grande possible.

Pour une visualisation confortable des signaux, charger le secondaire du transformateur par une résistance de 1 k Ω (utiliser la résistance R₁₈ par exemple du circuit de charge).

Relever en concordance des temps les tensions $v_{BE}(t)$ et $v_{CE}(t)$.

Modifier le branchement de l'oscilloscope pour visualiser simultanément $v_{CE}(t)$ et $i_p(t)$, i_p étant l'intensité du courant traversant l'enroulement du primaire du transformateur.

Placer, par exemple, la masse de l'oscilloscope à la borne T₂, la voie 1 à la borne T₃, la voie 2 à la masse de l'alimentation.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{CE}(t)$ et $i_p(t)$.
Justifier la forme du courant $i_p(t)$.

Se placer sur une période de fonctionnement.

A partir du chronogramme du courant $i_p(t)$, déterminer la valeur de L_p , inductance de l'enroulement du primaire.

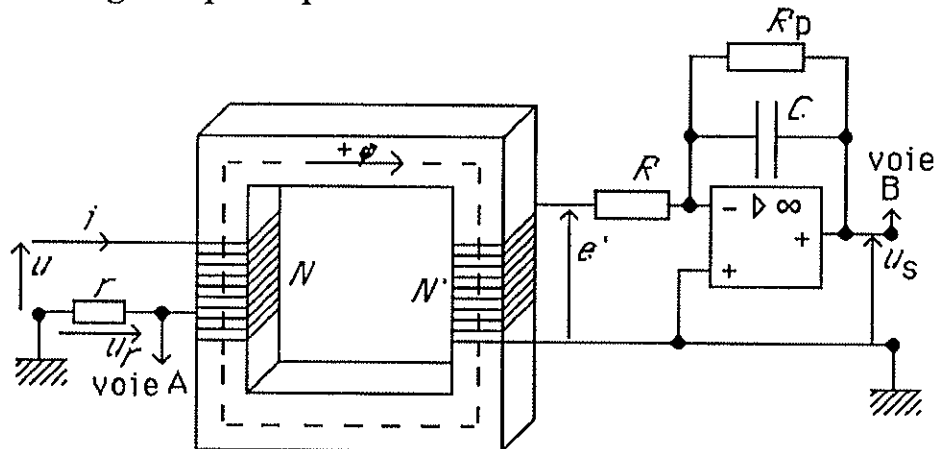
Justifier le pic de tension observé sur la tension V_{CE} .
Pourquoi serait-il dangereux, pour le montage, d'alimenter le primaire sous une tension de 15 V ?

Mesurer les valeurs de L_p pour les entrefers suivants :
100 μm , 200 μm , 300 μm et 400 μm .

Commenter les valeurs de L_p obtenues pour les différents entrefers.

I.2. CIRCUIT MAGNETIQUE EN ALTERNATIF

- Montage de principe :



La résistance r (1Ω) permet la visualisation et la mesure de l'intensité i du courant traversant le primaire (la tension a ses bornes est négligeable devant la tension d'alimentation).

L'intensité du courant fournie par le secondaire étant pratiquement nulle, l'excitation magnétique h est proportionnelle à l'intensité du courant traversant le primaire.

Sur la voie A de l'oscilloscope, on visualise les images de i et de h .

Le montage intégrateur placé en sortie donne, à une constante près, l'intégrale de la f.é.m. e' du secondaire :

$$u_s = -\frac{1}{RC} \int_0^t e' dt$$

Comme :

$$e' = -N' \frac{d\phi}{dt}$$

nous obtenons :

$$u_s = \frac{N'}{RC} \phi$$

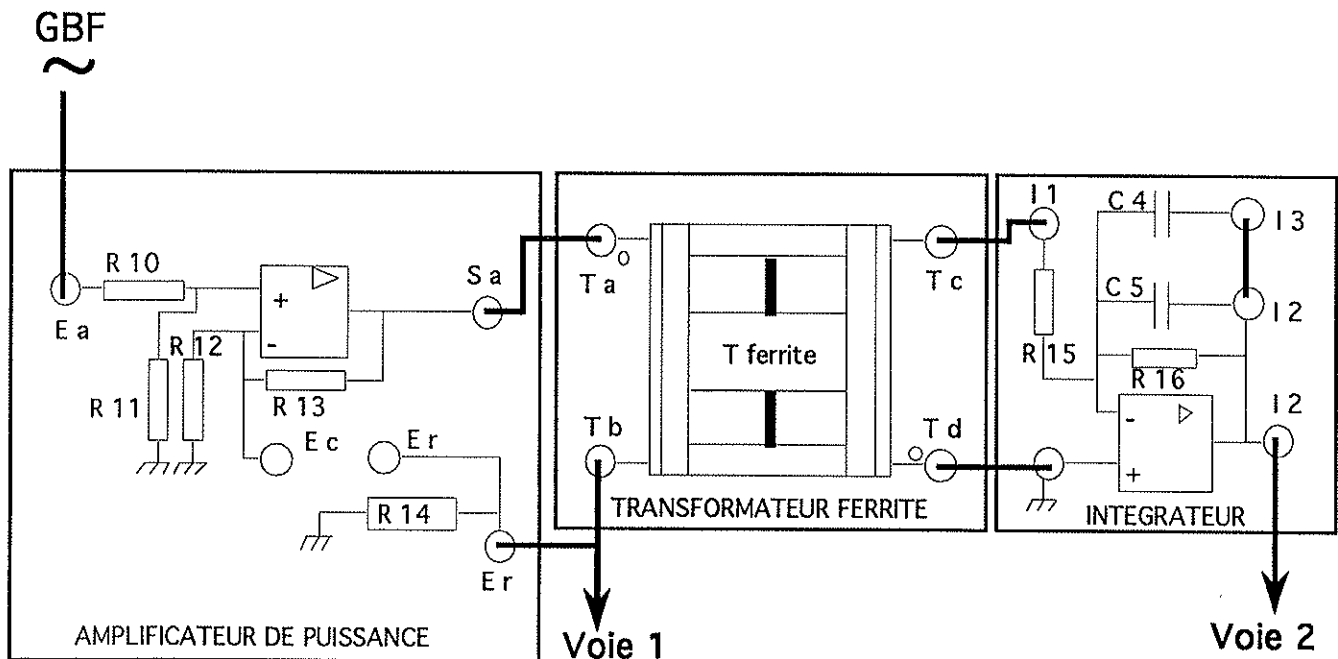
Or le flux ϕ est proportionnel au champ magnétique b :

$$\phi = bS$$

Sur la voie B de l'oscilloscope, on visualise les images de ϕ et de b .

- Expérimentation :

Réaliser le montage suivant. Vérifier qu'il est conforme au montage de principe.



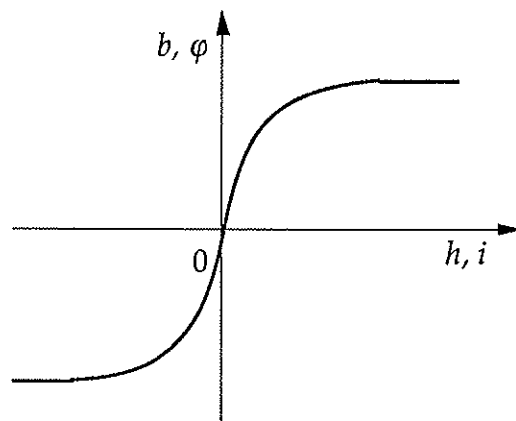
Alimenter l'amplificateur de puissance, à partir d'un G.B.F. délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude 3 V et de fréquence 100 Hz.

Visualiser l'intensité du courant traversant le primaire et la tension de sortie de l'intégrateur.

Analyser la forme du courant. Modifier la valeur de l'amplitude de la tension d'entrée. Comment évolue la forme du courant ?

Relever le décalage horaire des deux courbes : que constatez-vous ?

Placer l'oscilloscope en position XY afin de visualiser l'image de $b(h)$. Vérifier que l'on obtient une courbe analogue à la suivante :



Modifier uniquement l'entrefer du circuit magnétique (en l'augmentant par exemple). Comment évolue la courbe $b(h)$?

Vérifier la forme de l'intensité du courant traversant l'enroulement du primaire.

Justifier la phrase : "Un entrefer dans un circuit magnétique linéarise le fonctionnement du circuit".

Que peut-on dire des pertes de fer dans le circuit magnétique ?

Modifier le montage en enlevant le court-circuit entre I2 et I3. Augmenter la fréquence de la tension délivrée par le GBF. Choisir 1,5 kHz par exemple.

A partir des oscillogrammes, montrer que le champ magnétique b est proportionnel à l'excitation magnétique h .

Prévoir la forme de l'intensité du courant primaire ainsi que celle de la tension à ses bornes (à vérifier expérimentalement).

La perméabilité magnétique équivalente du circuit magnétique est donnée par la relation :

$$\mu_{r\text{éq}} = \frac{\mu_r}{1 + \mu_r \frac{e}{l}}$$

e étant la longueur de l'entrefer et l la longueur du circuit magnétique.

Lorsque :

$$\mu_r \frac{e}{l} \gg 1$$

on a :

$$\mu_{r\text{éq}} \approx \frac{l}{e}$$

Dans le cas du circuit proposé : $l = 78,6 \text{ mm}$.

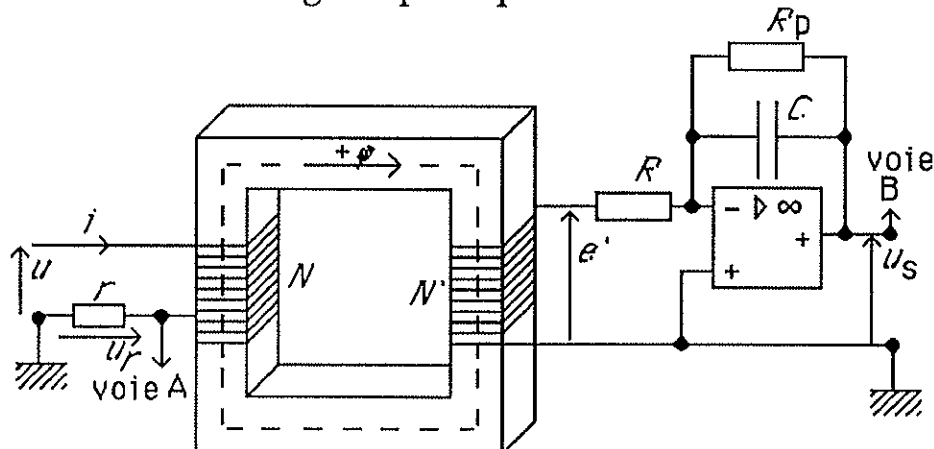
Calculer $\mu_{r\text{éq}}$ pour $e = 100 \text{ }\mu\text{m}$, $200 \text{ }\mu\text{m}$, $400 \text{ }\mu\text{m}$ et $800 \text{ }\mu\text{m}$.

$\mu_{r\text{éq}}$ est aussi proportionnel au coefficient directeur de la courbe représentative de $b(h)$ à l'oscilloscope.

Vérifier expérimentalement que lorsque e double, $\mu_{r\text{éq}}$ a diminué de moitié.

II. TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FER

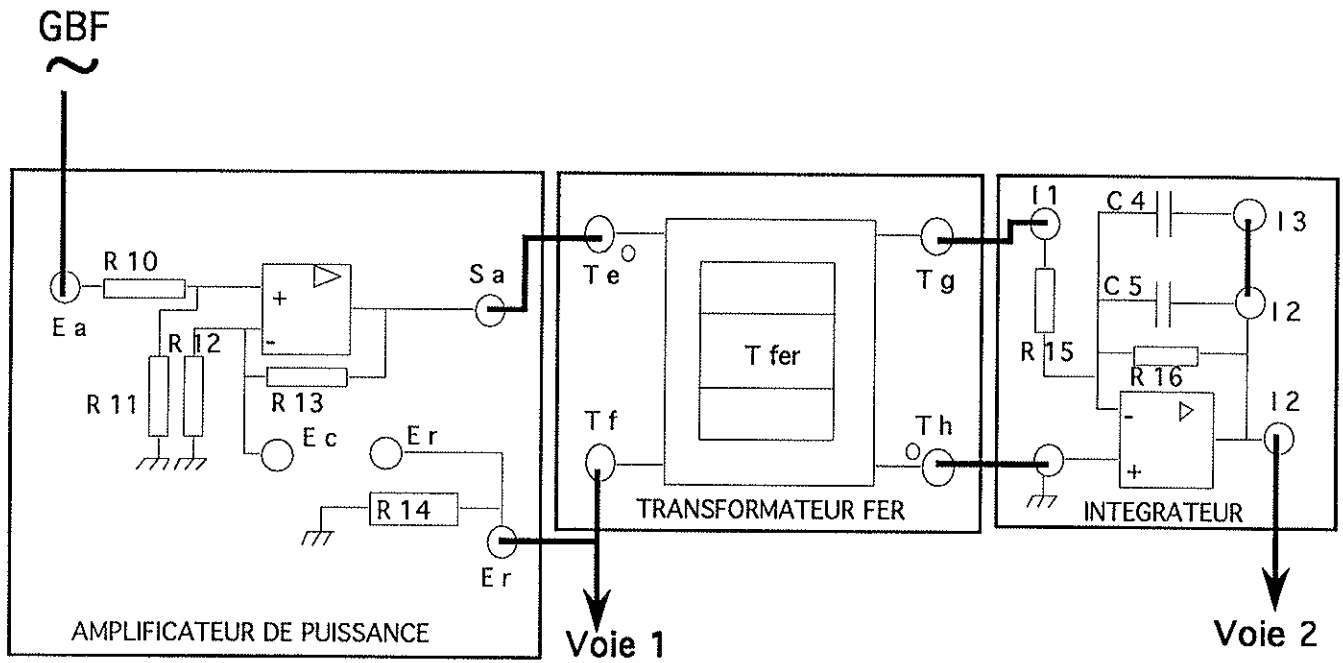
Nous reprenons le travail mené au I.2 du paragraphe précédent. Le montage de principe reste le même :



Sur la voie A de l'oscilloscope, on visualise les images de i et de h .

Sur la voie B de l'oscilloscope, on visualise les images de φ et de b .

Réaliser le montage suivant. Vérifier qu'il est conforme au montage de principe.



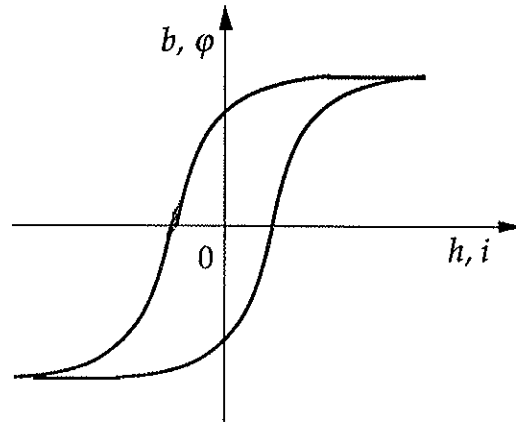
Alimenter l'amplificateur de puissance, à partir d'un G.B.F. délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude 3 V et de fréquence 100 Hz.

Visualiser l'intensité du courant traversant le primaire et la tension de sortie de l'intégrateur.

Analyser la forme du courant. Modifier la valeur de l'amplitude de la tension d'entrée. Comment évolue la forme du courant ?

Relever le décalage horaire des deux courbes : que constatez-vous (à comparer avec le circuit magnétique en ferrite) ?

Placer l'oscilloscope en position XY afin de visualiser l'image de $b(h)$. Vérifier que l'on obtient une courbe analogue à la suivante :



Que représente l'aire du cycle d'hystérésis obtenu ?

Comparer les pertes de fer dans le circuit magnétique à noyau de fer à celle dans le circuit magnétique à noyau de ferrite (les dimensions des circuits magnétiques sont pratiquement les mêmes).

Modifier le montage en enlevant le court-circuit entre I2 et I3.
Augmenter la fréquence de la tension délivrée par le GBF.
Choisir 1,5 kHz par exemple.

Vérifier que circuit magnétique ne se sature plus et qu'il est assimilable à une ellipse.

Justifier alors que dans ces conditions, la relation liant b à h peut s'exprimer de la façon suivante en notation complexe :

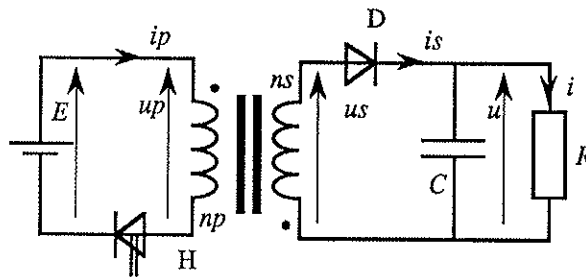
$$\overline{B} = \overline{\mu} \overline{H}$$

Prévoir la forme de l'intensité du courant primaire ainsi que celle de la tension à ses bornes (à vérifier expérimentalement).

C) EXEMPLE D'UTILISATION D'UN TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FERRITE : ALIMENTATION FLYBACK

I. PRESENTATION

I.1 MONTAGE DE PRINCIPE



Deux bobines de nombre de spires n_p et n_s , d'inductances L_p et L_s , de résistances négligeables, sont placées sur un même circuit magnétique ayant un entrefer e . Cet entrefer évite une saturation magnétique du circuit dans les conditions normales de fonctionnement. Un interrupteur H (un transistor par exemple) est commandé par un générateur délivrant des signaux rectangulaires de rapport cyclique α réglable et de période T . Entre 0 et αT , l'interrupteur H est fermé. Entre αT et T , il est ouvert.

Le branchement des bobines est tel que le flux qu'elles créent s'ajoute quand les intensités qui les traversent ont le même signe.

La charge est constituée d'un circuit RC, le condensateur ayant une capacité suffisante pour que la tension à ses bornes soit pratiquement constante.

I.2 FONCTIONNEMENT

- Lorsque l'interrupteur H conduit, on a :

$$E = L_p \frac{di_p}{dt}$$

Soit :

$$\frac{di_p}{dt} = \frac{E}{L_p}$$

Ce qui donne entre 0 et αT :

$$i_p = \frac{E}{L_p} t$$

Cette intensité est maximale à l'instant αT :

$$i_{pmax} = \frac{E}{L_p} \alpha T$$

Avec les conventions du schéma, nous pouvons écrire :

$$u_p = E = n_p \frac{d\phi}{dt}$$

et :

$$u_s = - n_s \frac{d\phi}{dt}$$

Soit :

$$u_s = - \frac{n_s}{n_p} E$$

La tension appliquée aux bornes de la diode est alors égale à :

$$- \frac{n_s}{n_p} E - u$$

Cette tension est négative : ce qui bloque la diode et qui fait que l'intensité du courant qui traverse l'enroulement du secondaire est nulle.

- Lorsque l'interrupteur H cesse de conduire, l'intensité i_s , qui était nulle, passe instantanément à une valeur maximale puis décroît linéairement jusqu'à s'annuler. Durant cette décroissance :

$$u_s = - n_s \frac{d\phi}{dt} = u$$

Le condensateur a une capacité C suffisamment importante pour que la tension u soit pratiquement constante.

L'intensité du courant traversant le primaire étant nulle, le flux ϕ traversant le circuit magnétique est dû au courant traversant l'enroulement du secondaire. Donc :

$$n_s \phi = L_s i_s$$

D'où :

$$\frac{di_s}{dt} = - \frac{u}{L_s}$$

Soit :

$$i_s = - \frac{u}{L_s} t + i_{smax}$$

- Juste avant l'ouverture de l'interrupteur H, le circuit du primaire fonctionne seul et on a :

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{E}{n_p}$$

Juste après l'ouverture de l'interrupteur H, le circuit du secondaire fonctionne seul et on a :

$$\frac{d\phi}{dt} = - \frac{u}{n_s}$$

$d\phi/dt$ étant une grandeur finie, le flux ϕ ne peut varier instantanément : au moment de la commutation de l'interrupteur H, il conserve la même valeur. Ce sont les ampères tours qui créent le flux : il y a conservation des ampères tours au moment de la commutation.

Donc :

$$n_p i_{pmax} = n_s i_{smax}$$

- Juste avant l'ouverture de l'interrupteur H, le circuit du primaire a accumulé de l'énergie :

$$\frac{1}{2} L_p i_{pmax}^2$$

Cette énergie est intégralement transmise au secondaire juste après l'ouverture de l'interrupteur H. Elle s'écrit alors :

$$\frac{1}{2} L_s i_{smax}^2$$

Et l'on a :

$$\frac{1}{2} L_p i_{pmax}^2 = \frac{1}{2} L_s i_{smax}^2$$

Comme :

$$n_p i_{pmax} = n_s i_{smax}$$

Nous obtenons :

$$\frac{L_p}{n_p^2} = \frac{L_s}{n_s^2}$$

C'est l'alimentation qui fournit cette énergie pendant qu'elle débite un courant.

Comme :

$$i_{pmax} = \frac{E}{L_p} \alpha T$$

On obtient :

$$\frac{1}{2} L_p i_{p\max}^2 = \frac{(E \alpha T)^2}{2 L_p}$$

Avec une fréquence de fonctionnement $f = 1/T$, cela correspond à une puissance transmise ($P=W/T$) :

$$\frac{(E \alpha)^2 T}{2 L_p}$$

Elle est dissipée dans la résistance de charge ; donc :

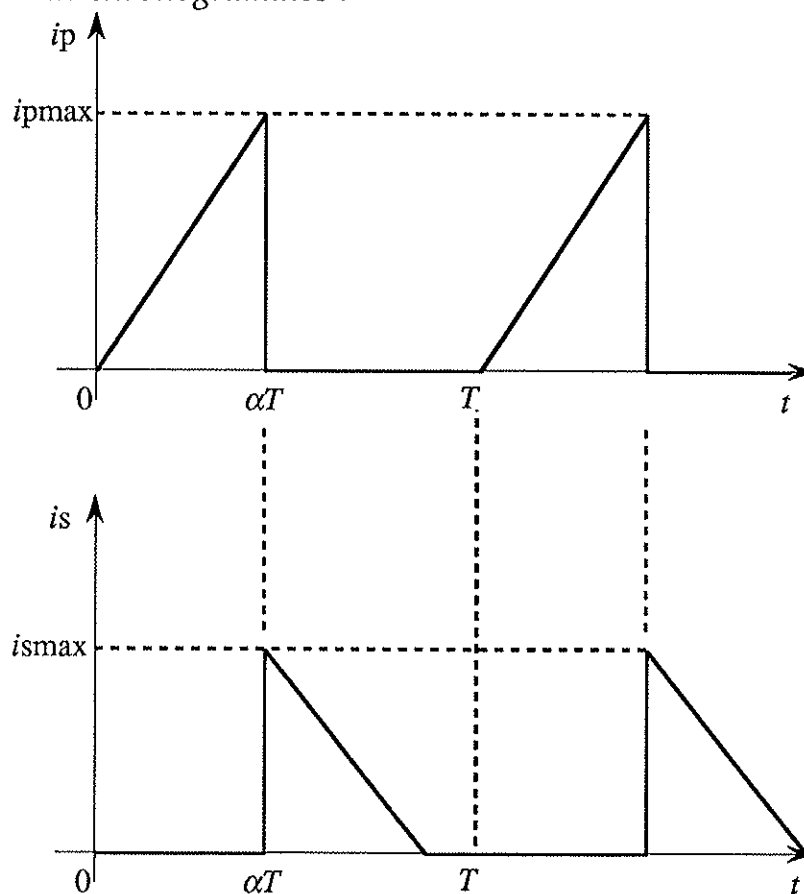
$$\frac{u^2}{R} = \frac{(E \alpha)^2 T}{2 L_p}$$

Et :

$$u = \alpha E \sqrt{\frac{R T}{2 L_p}}$$

C'est l'expression de la tension de sortie de l'alimentation à découpage.

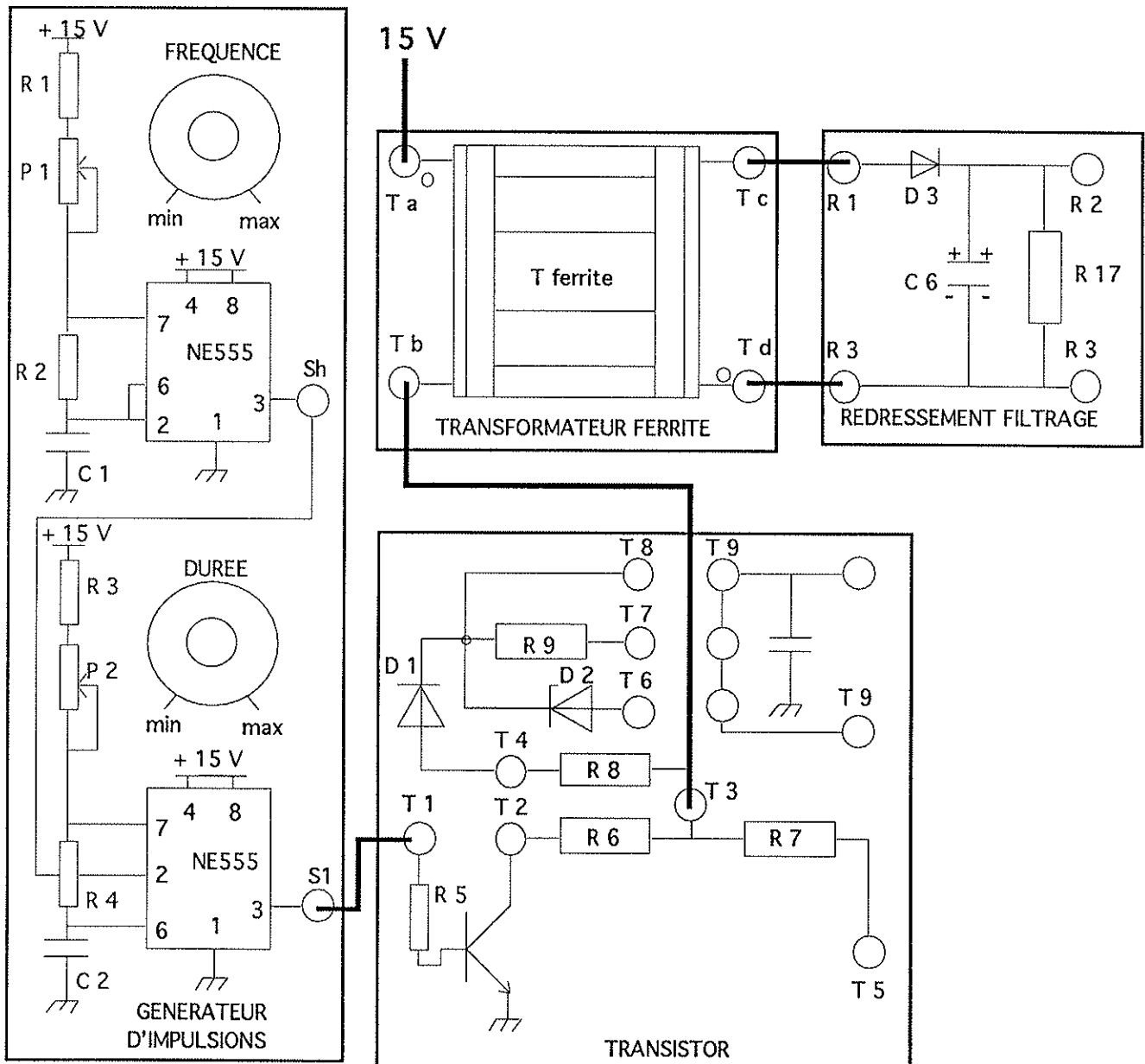
Exemple de chronogrammes :



II. EXPERIMENTATION

II.1 MONTAGE

Réaliser le montage suivant :



La maquette est alimentée en ± 15 V.

II.2 ETUDE EXPERIMENTALE

Placer entre les bornes R2 et R3 un rhéostat de 120Ω . Le régler à 50Ω environ.

Ouvrir le circuit magnétique et créer un entrefer à l'aide d'un morceau de papier.

Régler le potentiomètre "fréquence" à mi-course.

La borne S_1 étant reliée à T_1 , visualiser à l'oscilloscope la tension appliquée entre la base et l'émetteur du transistor ainsi que la tension v_{CE} du même transistor (la voie 1 en S_1 , la voie 2 en T_2 et la masse de l'oscilloscope à la masse de l'alimentation).

Donner à l'impulsion la durée la plus grande possible.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{BE}(t)$ et $v_{CE}(t)$.

Modifier le branchement de l'oscilloscope pour visualiser simultanément $v_{CE}(t)$ et $i_p(t)$, i_p étant l'intensité du courant traversant l'enroulement du primaire du transformateur.

Placer, par exemple, la masse de l'oscilloscope à la borne T_2 , la voie 1 à la borne T_3 , la voie 2 à la masse de l'alimentation.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{CE}(t)$ et $i_p(t)$.

Justifier la forme du courant $i_p(t)$.

i_s étant l'intensité du courant traversant le secondaire, relever en concordance des temps $i_p(t)$ et $i_s(t)$.

Les enroulements du primaire et du secondaire sont-ils traversés par un courant en même temps ?

Justifier la forme de $i_s(t)$.

Se placer sur une période de fonctionnement.

Prenons pour instant $t = 0$, l'instant correspondant au début d'un établissement du courant dans le primaire.

L'instant $t = T$ est alors l'instant de début de l'établissement du courant dans le primaire de l'alternance suivante consécutive.

Montrer qu'il existe une relation simple entre les valeurs maximales des intensités i_p et i_s et les nombres de spires n_p et n_s respectivement des enroulements du primaire et du secondaire.

Montrer qu'il y a conservation des "ampères-tours" lors du changement de régime.

Sachant que $n_p = 100$ spires, en déduire le nombre de spires de l'enroulement du secondaire.

En utilisant le T.P. B, effectuer les mesures permettant le calcul de l'inductance L_p du primaire.

Agir sur les potentiomètres de réglages de fréquence et de durée afin de donner à la tension de commande du transistor un rapport cyclique $\alpha = 1/4$.

Régler la résistance de charge à $R = 50 \Omega$, la tension d'alimentation à $E = 15 \text{ V}$.

Vérifier que la tension de sortie a une valeur comparable à celle donnée par l'expression théorique :

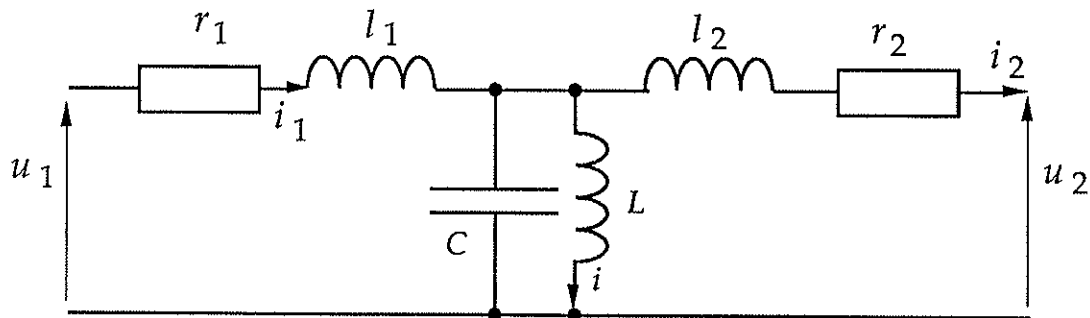
$$u = \alpha E \sqrt{\frac{RT}{2L_p}}$$

D) ETUDE D'UN TRANSFORMATEUR D'IMPULSIONS

PREMIERE PARTIE : ETUDE THEORIQUE

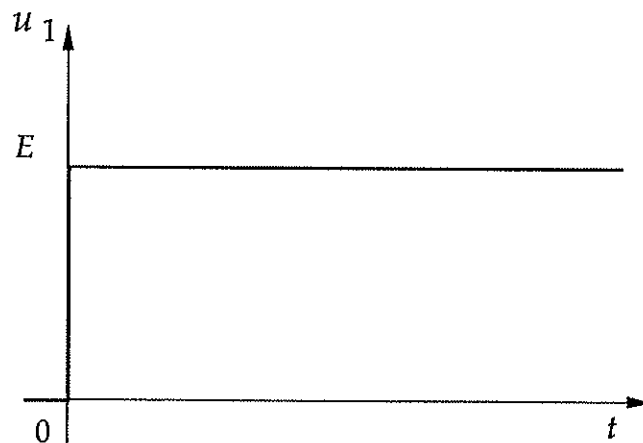
I. MODELISATION D'UN TRANSFORMATEUR D'IMPULSION

Le schéma équivalent d'un transformateur d'impulsions, dont le rapport de transformation est de 1, est le suivant :



I.1. TEMPS DE MONTEE DE LA TENSION DE SORTIE

Le primaire du transformateur est soumis à un échelon de tension :



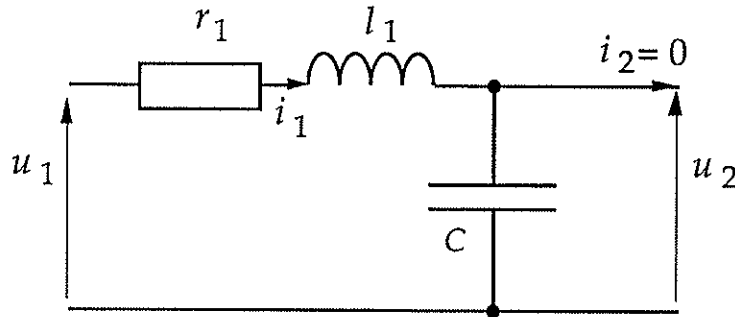
A l'instant $t = 0$, on suppose les intensités des courants et des tensions nulles.

A l'instant $t = 0^+$, l'enroulement primaire est soumis à une tension E .

I.2. MODELE SIMPLIFIE

L'inductance L ayant une valeur élevée, l'établissement de l'intensité du courant est beaucoup plus long que l'établissement de la tension u_2 .

Le schéma équivalent devient alors :



Le circuit se présente alors sous la forme d'un système du second ordre.

La loi d'additivité des tensions s'écrit :

$$E = u_{r1} + u_{l1} + u_2$$

Avec :

$$u_{r1} = r_1 i_1 \quad \text{et} \quad u_{l1} = l_1 \frac{di_1}{dt}$$

Comme :

$$i_1 = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_2}{dt}$$

Nous obtenons :

$$E = l_1 C \frac{d^2 u_2}{dt^2} + r_1 C \frac{du_2}{dt} + u_2$$

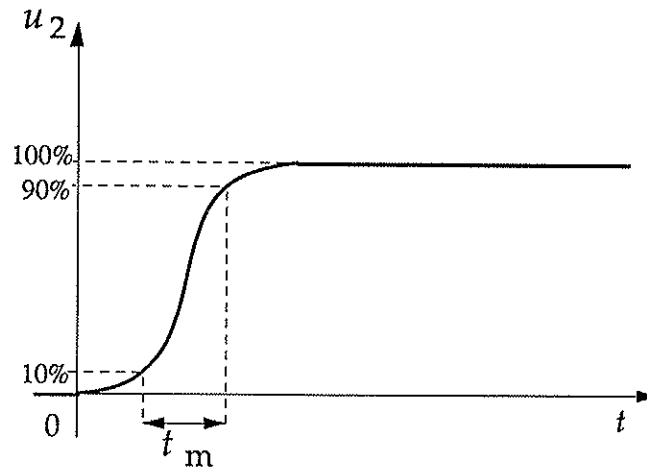
Les valeurs de r_1 , l_1 et de C sont telles que la solution de cette équation différentielle du second ordre donne pour expression de u_2 :

$$u_2 = e^{-\lambda t} (A e^{\nu t} + B e^{-\nu t}) \quad \text{avec} \quad \nu = \sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2}$$

ω_0 est la pulsation propre du circuit l_1 , C :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{l_1 C}}$$

L'allure de la tension u_2 est la suivante :



t_m est le temps de montée de la tension u_2 .

Ce temps est généralement compris entre 0,2 et 2 μ s.

A l'échelle des durées de fonctionnement que nous utiliserons ce temps de montée est négligeable.

Les inductances l_1 et l_2 sont très faibles devant l'inductance L .

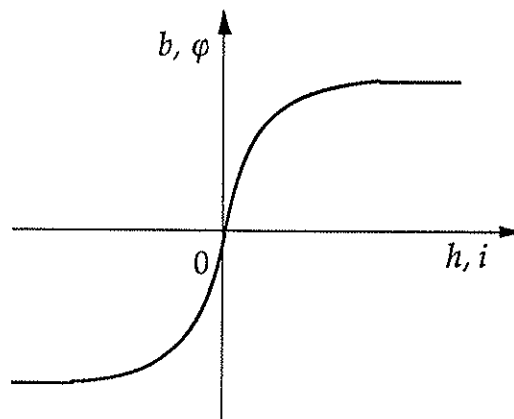
La résistance r_1 et l'intensité i_1 ont des valeurs telles que :

$$r_1 i_1 \ll E$$

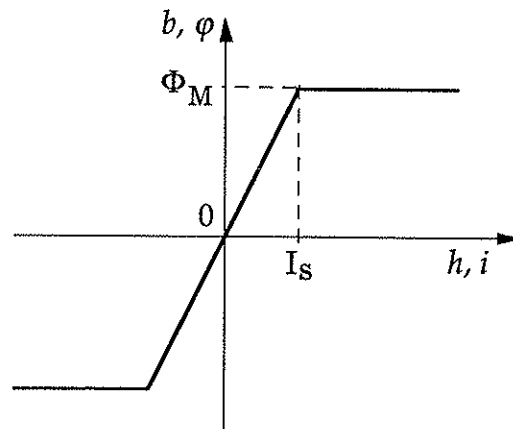
Nous ferons débiter le secondaire de telle sorte que l'on ait également $r_2 i_1 \ll E$.

Les effets de l'inductance principale L ne sont pas négligeables.

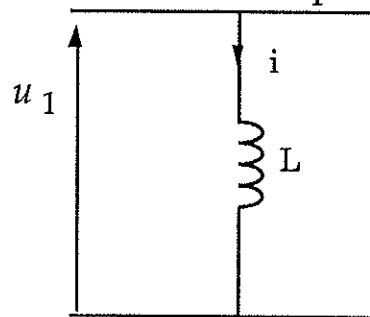
Nous devons donc faire intervenir la caractéristique magnétique du circuit dont les pertes dans le fer sont négligeables :



Pour une étude mathématique, nous pouvons simplifier la caractéristique de la façon suivante :



Le schéma équivalent du transformateur se simplifie beaucoup pour donner le modèle ci-après :



II. AIRE MAXIMALE D'UNE IMPULSION DE COMMANDE

A $t = 0$ ($i = 0$), on applique une tension E au primaire. Nous obtenons :

$$E = L \frac{di}{dt} \Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{E}{L}$$

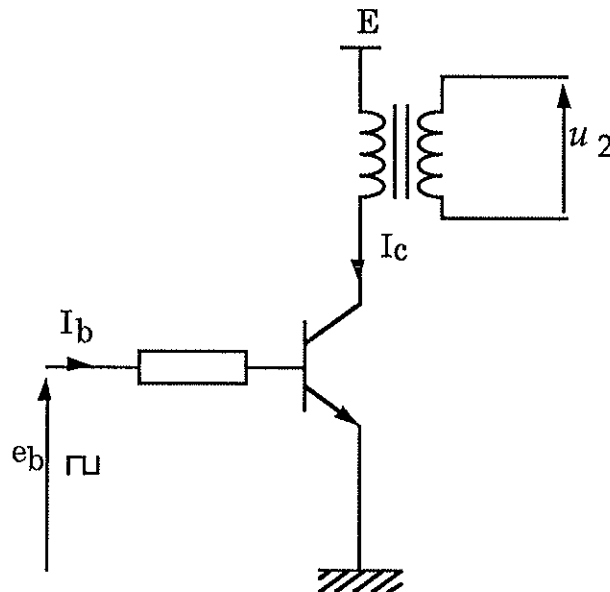
Soit :

$$I = \frac{E \cdot t}{L}$$

Quand l'intensité i atteint la valeur I_s (au bout de la durée τ_M), le circuit magnétique se sature. L'inductance L devient nulle ($L = \Delta\Phi/\Delta i$). La tension au secondaire s'annule. Le transformateur se comporte comme un court-circuit.

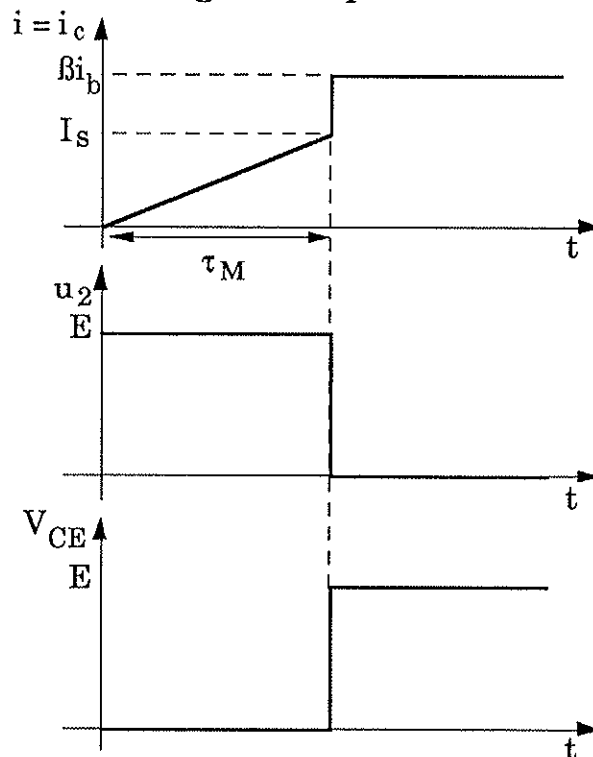
Dans le cas le plus général, le transformateur est alimenté par un transistor à collecteur ouvert (étage de sortie d'un TCA 280 ou d'un TCA 785 ou d'un NE 555 par exemple).

Raisonnons à partir du montage suivant :



Lors de la saturation du circuit magnétique, $u_1 \approx 0$ car $r_1 I_s \approx 0$ (r_1 étant négligeable). $V_{CE} = E$ et l'intensité i_c n'est plus limitée que par βi_b .

En négligeant V_{CEsat} devant E , nous obtenons les chronogrammes de la figure ci-après :



On a tout intérêt à ne pas amener le transformateur à la saturation car au delà, $u_2 = 0$: le transistor dissipe alors une puissance relativement importante en pure perte.

Le produit LI_s limite l'impulsion. Il représente le flux de saturation Φ_M dans l'enroulement sollicité. Dans le plan $\{u_2, t\}$, c'est le produit $E \cdot \tau_M$ qui représente l'aire de l'impulsion. Ce produit est déterminant dans le choix du

transformateur d'impulsions. Il se situe couramment entre 100 V. μ s et 1000 V. μ s.

Exemple :

transformateur Myrra 1010-2001 : $m = 1$, $L_p = 3$ mH,

$r_1 = r_2 = 2 \Omega$ et $E \cdot \tau_M = 300 \mu$ s.

Si $E = 15$ V, $\tau_M = 300/15 = 20 \mu$ s. La largeur de l'impulsion ne doit donc pas dépasser 20 μ s de manière à ne pas saturer le circuit magnétique (au delà de 20 μ s, $u_2 = 0$). Le courant de saturation a pour intensité :

$$I_s = \frac{E \tau_M}{L}$$

soit $I_s = 100$ mA.

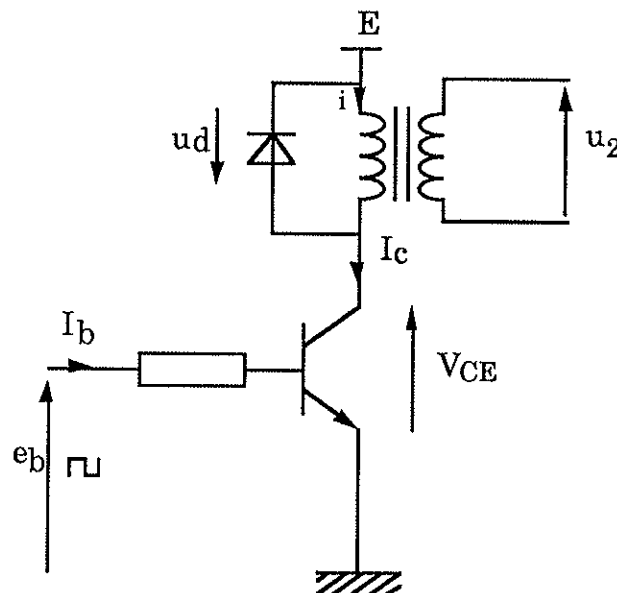
III. DEMAGNETISATION DU CIRCUIT MAGNETIQUE

Si un fonctionnement répétitif est désiré (attaque par salves d'impulsions par exemple), il est nécessaire de démagnétiser le transformateur après chaque impulsion.

Si on se contente de bloquer le transistor, l'énergie emmagasinée entraînera le transistor en avalanche. Pour éviter ce type de fonctionnement, il faut donc démagnétiser le circuit à la fin de chaque impulsion.

III.1. DEMAGNETISATION PAR DIODE DE ROUE LIBRE

Le schéma de la figure ci-après illustre un exemple de montage et celui de la figure suivante donne les chronogrammes correspondant à ce type de fonctionnement.



V_d est la tension de seuil de la diode.

Si $i_b = I_{bsat}$, $i = \frac{Et}{L}$ et $u_2 = E$ ($V_{CE} \approx 0$ tant que $t \leq \tau_M$)

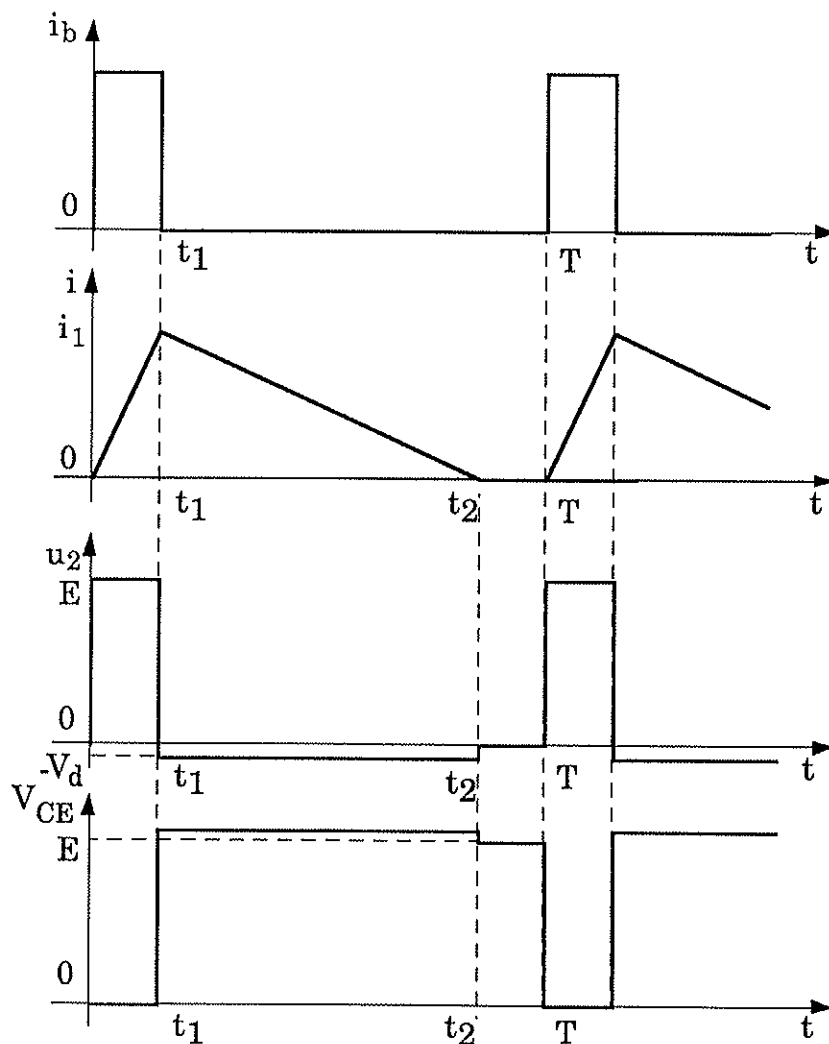
Lorsque $i_b = 0$, $i = i_1 - \frac{V_d}{L}t$ et $V_{CE} = E + V_d$.

Le circuit est démagnétisé lorsque $i_p = 0$ à l'instant t_2 :

$$0 = i_1 - \frac{V_d}{L} t_2 = \frac{E}{L} t_1 - \frac{V_d}{L} t_2$$

D'où :

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{V_d}{E}$$



Exemple :

Reprenons le transformateur Myrra 1010-2001.

$V_d = 0,7 \text{ V}$, si $E = 15 \text{ V}$, on obtient avec $t_{1\max} = 20 \mu\text{s}$:

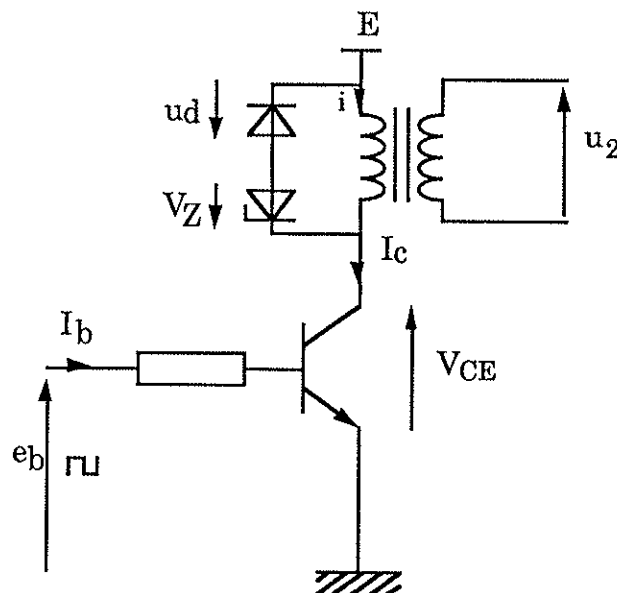
$$t_{2\max} = 20 \times 15 / 0,7 \approx 430 \mu\text{s}$$

Ainsi avec ce procédé, la démagnétisation complète du circuit magnétique est beaucoup plus longue que sa magnétisation : il n'est pas possible de travailler avec des salves d'impulsions de rapport cyclique 1/2.

III.2. DEMAGNETISATION PAR DIODE ZENER

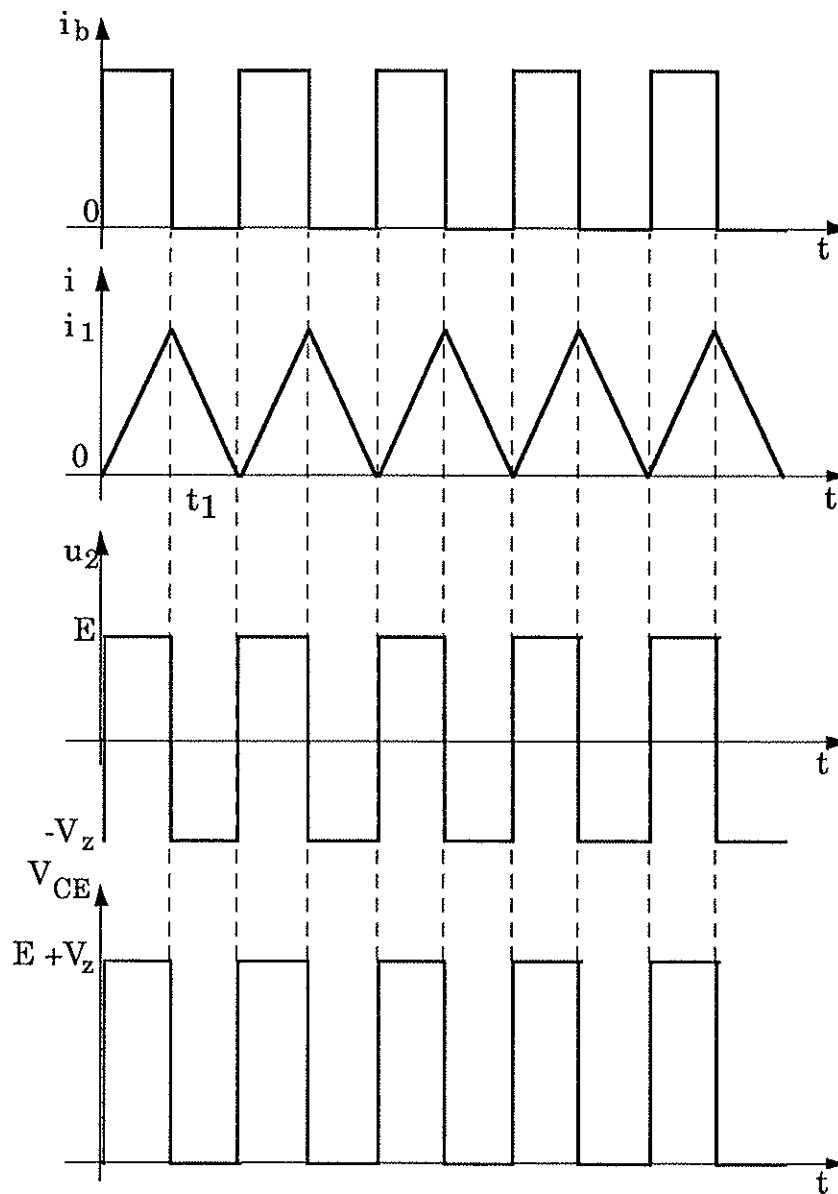
Pour diminuer la durée de la démagnétisation et assurer un rapport cyclique de 1/2, on place en série avec la diode de roue libre, une diode Zéner.

Le schéma ci-après illustre le montage et celui de la figure suivante donne les chronogrammes correspondant à ce type de fonctionnement.



V_d peut être négligé devant V_Z . Le rapport cyclique est égal à $\frac{V_Z}{2E}$. Nous avons choisi $V_Z = E$: dans ces conditions le rapport cyclique est égal à 1/2.

$V_{CEmax} \approx V_Z + E$ soit $2E$ si $V_Z = E$. Il faut donc choisir le transistor en conséquence pour qu'il supporte cette tension.

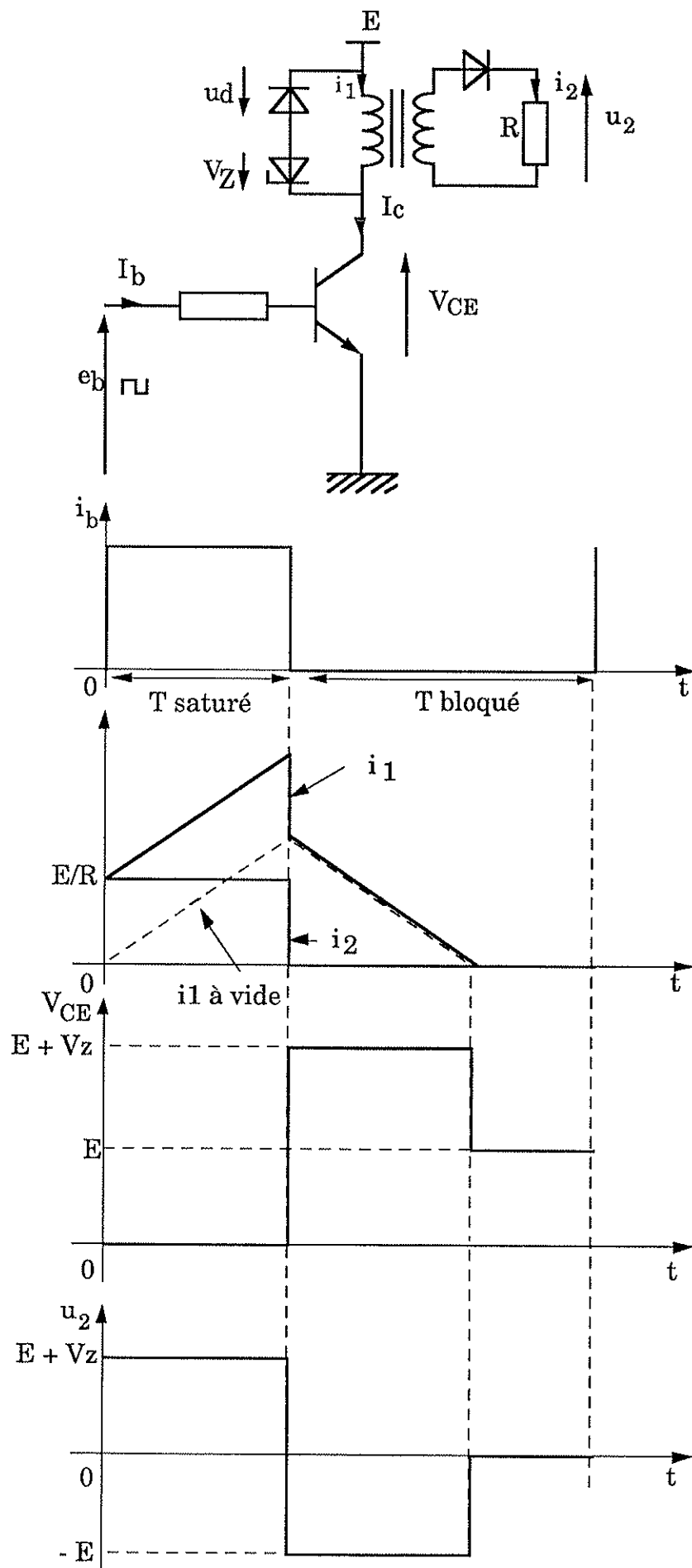


IV. UTILISATION AVEC SECONDAIRE CHARGE

Les deux figures ci-après illustrent ce type de fonctionnement.

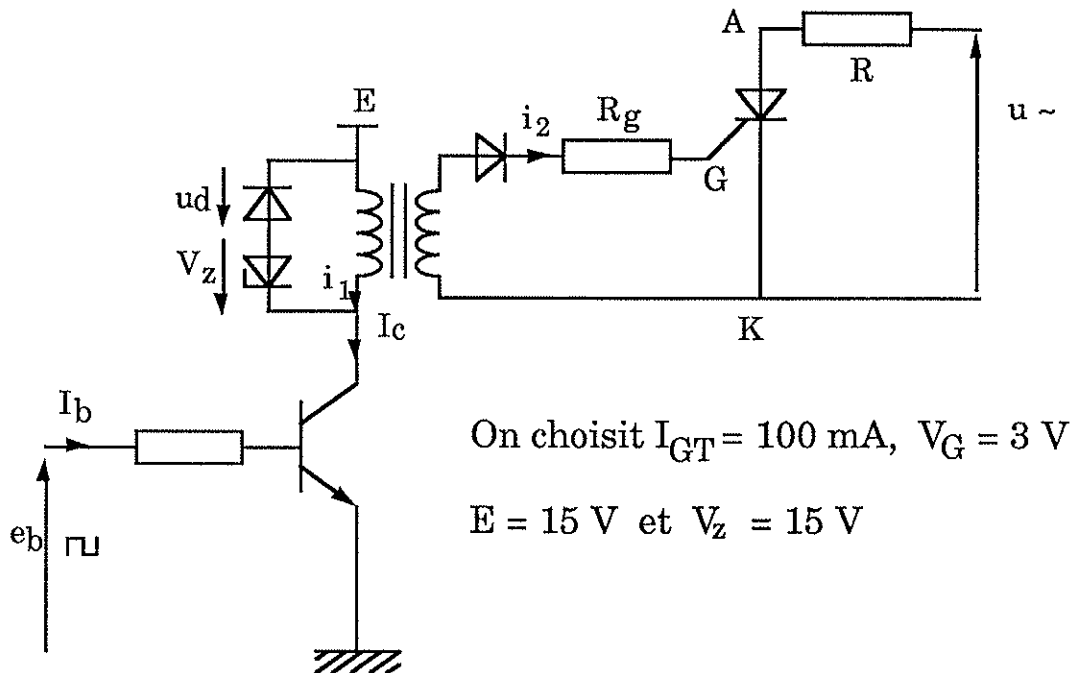
Lorsque le transistor est saturé $i_1 = i_2 + \frac{Et}{L}$ avec $i_2 = \frac{E}{R}$ si $m = 1$ (et $V_z = E$).

Lorsque le transistor est bloqué $i_1 = i'_1 - \frac{V_d}{L}t$



V. APPLICATION : COMMANDE D'UN THYRISTOR

Prenons l'exemple de la figure ci-après.



On désire faire passer à travers le transformateur une salve d'impulsions de longueur $40 \mu\text{s}$ avec un rapport cyclique de $1/2$.

Le produit $E.t_{\min}$ est donc $15 \times 40 = 600 \text{ V} \cdot \mu\text{s}$. Chez Myrra, la valeur normalisée immédiatement supérieure est 800 (1025-3008) et le transformateur supporte un courant de 100 mA à 200 mA. Il possède deux secondaires.

Si l'on désire choisir un transformateur d'impulsions au plus juste, on peut prendre le 1010-3002 à deux secondaires, son $E.t$ est égal à $300 \text{ V} \cdot \mu\text{s}$ (et $L_p = 3 \text{ mH}$). On utilise alors deux enroulements en série au primaire. Le nombre de spires étant multiplié par deux, l'inductance a alors quadruplé (L_p est proportionnelle au carré du nombre de spires). Le flux maximal à travers le bobinage a doublé (Φ est proportionnel au nombre de spires), il en est de même pour le produit $E.t$ ($600 \text{ V} \cdot \mu\text{s}$).

Son rapport de transformation (N_2/N_1) vaut maintenant 1/2.

On a alors : $V_2 = E/2 = 7,5 \text{ V}$.

Or $V_{GK} = 3 \text{ V}$, V_2 a donc une valeur suffisante.

On dispose alors d'un transformateur équivalent avec un primaire et un secondaire dont les caractéristiques sont $E.t = 600 \text{ V.}\mu\text{s}$ et $L_p = 12 \text{ mH}$.

Il est possible d'obtenir une largeur d'impulsion de $40 \mu\text{s}$ et un rapport cyclique 1/2 assuré par la diode Zéner.

Voici un exemple de calcul :

$$V_2 = \frac{E - V_{CEsat}}{2} \approx 7 \text{ V}$$

$$R_G = \frac{V_2 - V_{GK}}{I_{GT}} \approx 40 \Omega$$

$$P_{R_G} = R_G I_{GT}^2 \approx 0,4 \text{ W}$$

En cas de court-circuit, l'intensité maximale du courant traversant le primaire est (si le court-circuit a lieu quand $I_p = I_S$) :

$$i_1 = \frac{E.t}{L_p} + \frac{I_{2cc}}{m} \approx \frac{E.t}{L_p} + \frac{V_2}{2R_G}$$

$$i_1 = 138 \text{ mA}$$

La tension maximale supportée par le transistor est de 30 V.

En fonctionnement normal, le courant total au primaire a pour intensité maximale :

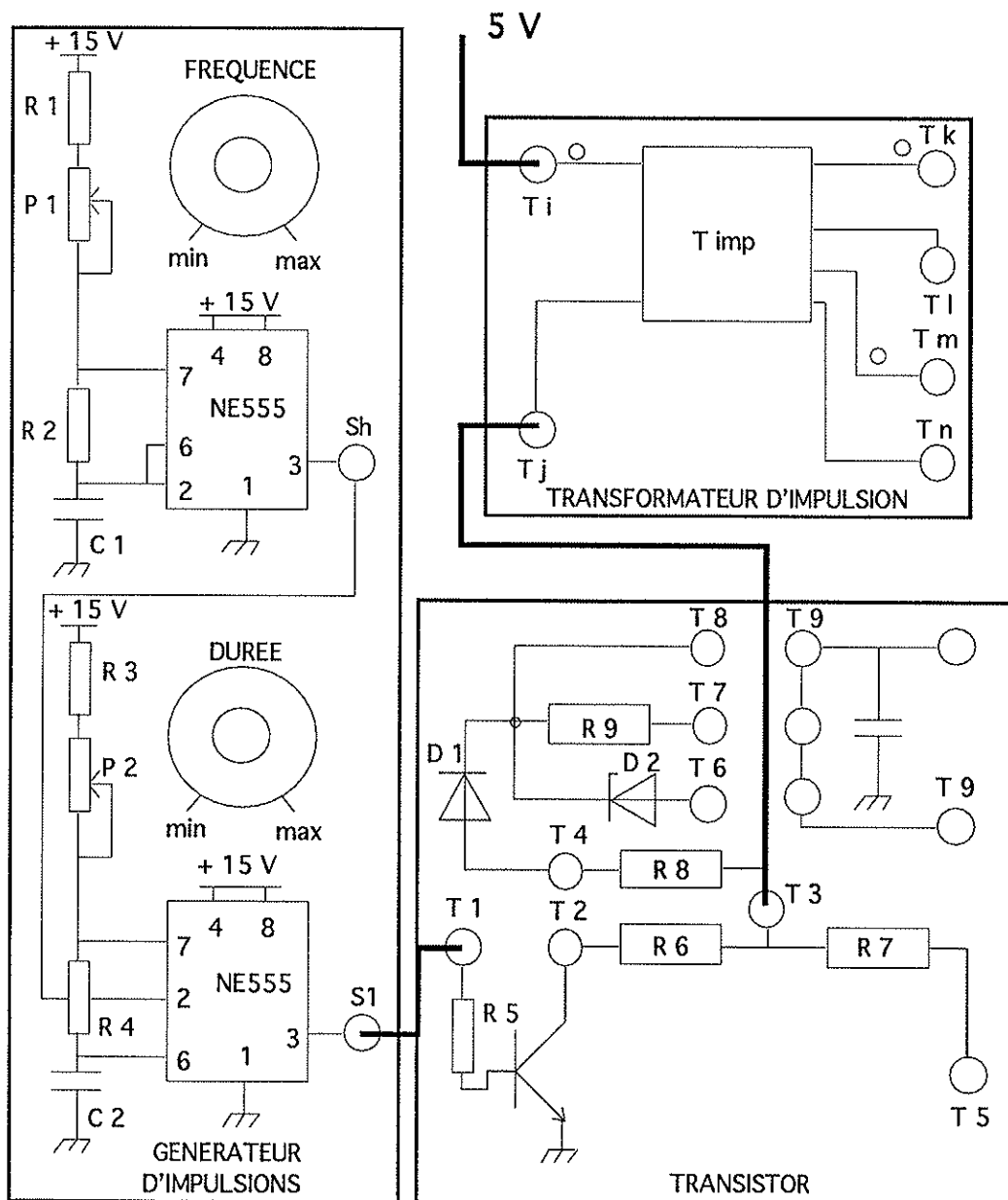
$$i_1 = \frac{E.t}{L_p} + \frac{I_2}{m} \approx 100 \text{ mA}$$

SECONDE PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

I. ETUDE A VIDE

I.1. MAGNETISATION DU CIRCUIT MAGNETIQUE

On utilise le montage suivant :



Alimenter la maquette en ± 15 V.

Régler le potentiomètre "fréquence" à mi-course.

La tension d'alimentation du primaire est réduite : 5 V.

La borne S_1 étant reliée à T_1 , visualiser à l'oscilloscope la tension appliquée entre la base et l'émetteur du transistor ainsi que la tension v_{CE} du même transistor (la voie 1 en S_1 , la voie 2 en T_2 et la masse de l'oscilloscope à la masse de l'alimentation).

Donner à l'impulsion la durée la plus grande possible.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{BE}(t)$ et $v_{CE}(t)$.

Modifier le branchement de l'oscilloscope pour visualiser simultanément $v_{CE}(t)$ et $i_p(t)$, i_p étant l'intensité du courant traversant l'enroulement du primaire du transformateur.

Placer, par exemple, la masse de l'oscilloscope à la borne T_2 , la voie 1 à la borne T_3 , la voie 2 à la masse de l'alimentation.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{CE}(t)$ et $i_p(t)$. Justifier la forme du courant $i_p(t)$.

Se placer sur une période de fonctionnement.

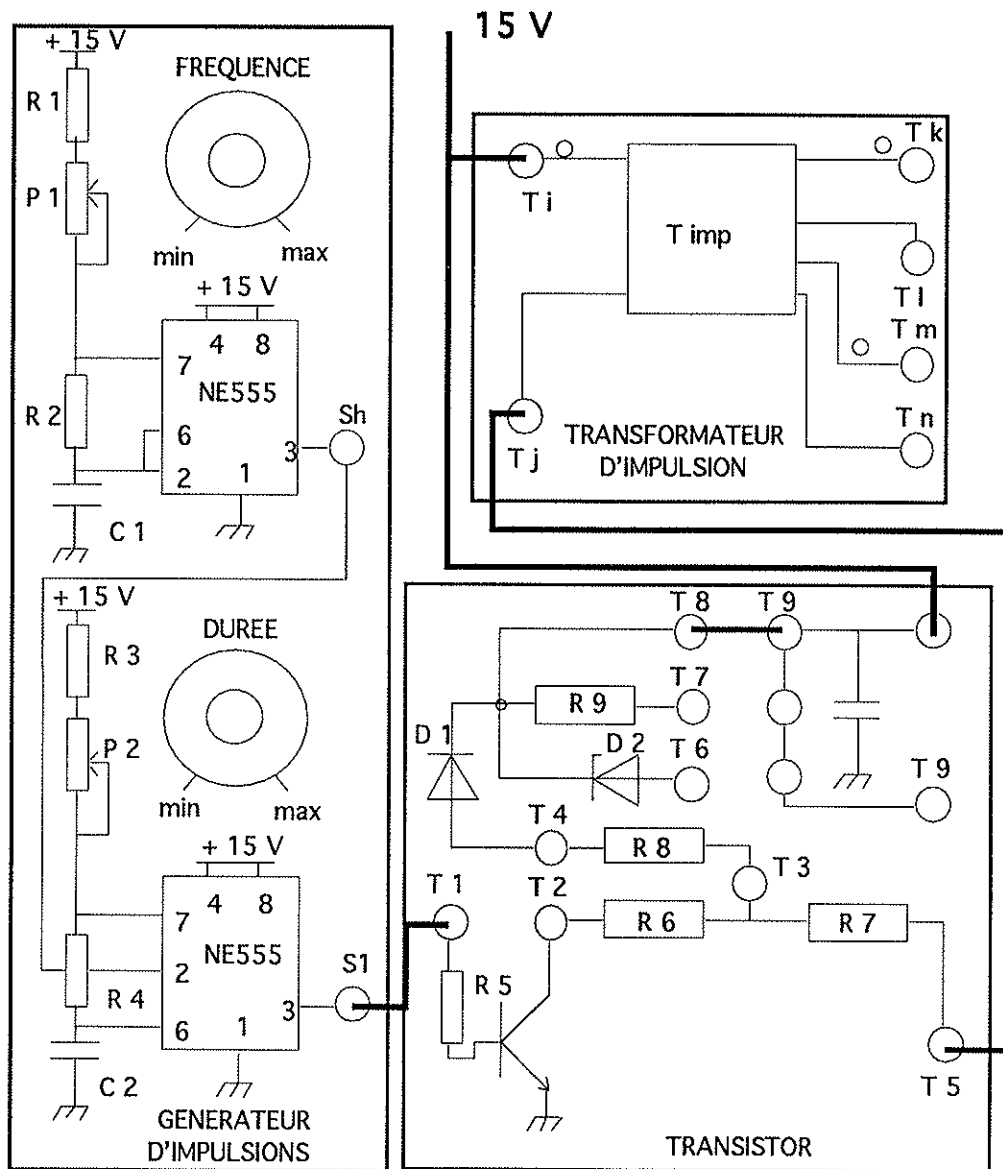
A partir du chronogramme du courant $i_p(t)$, déterminer la valeur de L_p , inductance de l'enroulement du primaire.

Justifier le pic de tension observé sur la tension $v_{CE}(t)$. Pourquoi serait-il dangereux, pour le montage, d'alimenter le primaire sous une tension de 15 V ?

I.2. DEMAGNETISATION PAR DIODE

Réaliser le montage ci-après.

Alimenter la maquette en ± 15 V.



Régler le potentiomètre "fréquence" à mi-course.

La tension d'alimentation du primaire est de 15 V.

La borne S₁ étant reliée à T₁, visualiser à l'oscilloscope la tension appliquée entre la base et l'émetteur du transistor ainsi que la tension v_{CE} du même transistor (la voie 1 en S₁, la voie 2 en T₂ et la masse de l'oscilloscope à la masse de l'alimentation).

Donner à l'impulsion la durée la plus grande possible.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{BE}(t)$ et $v_{CE}(t)$.

Modifier le branchement de l'oscilloscope pour visualiser successivement $v_{CE}(t)$, $i_c(t)$ (intensité du courant traversant le collecteur du transistor), $i_p(t)$ (intensité du courant traversant l'enroulement du primaire du transformateur) et $i_d(t)$ (intensité du courant traversant la diode).

Indiquer les branchements successifs à réaliser.

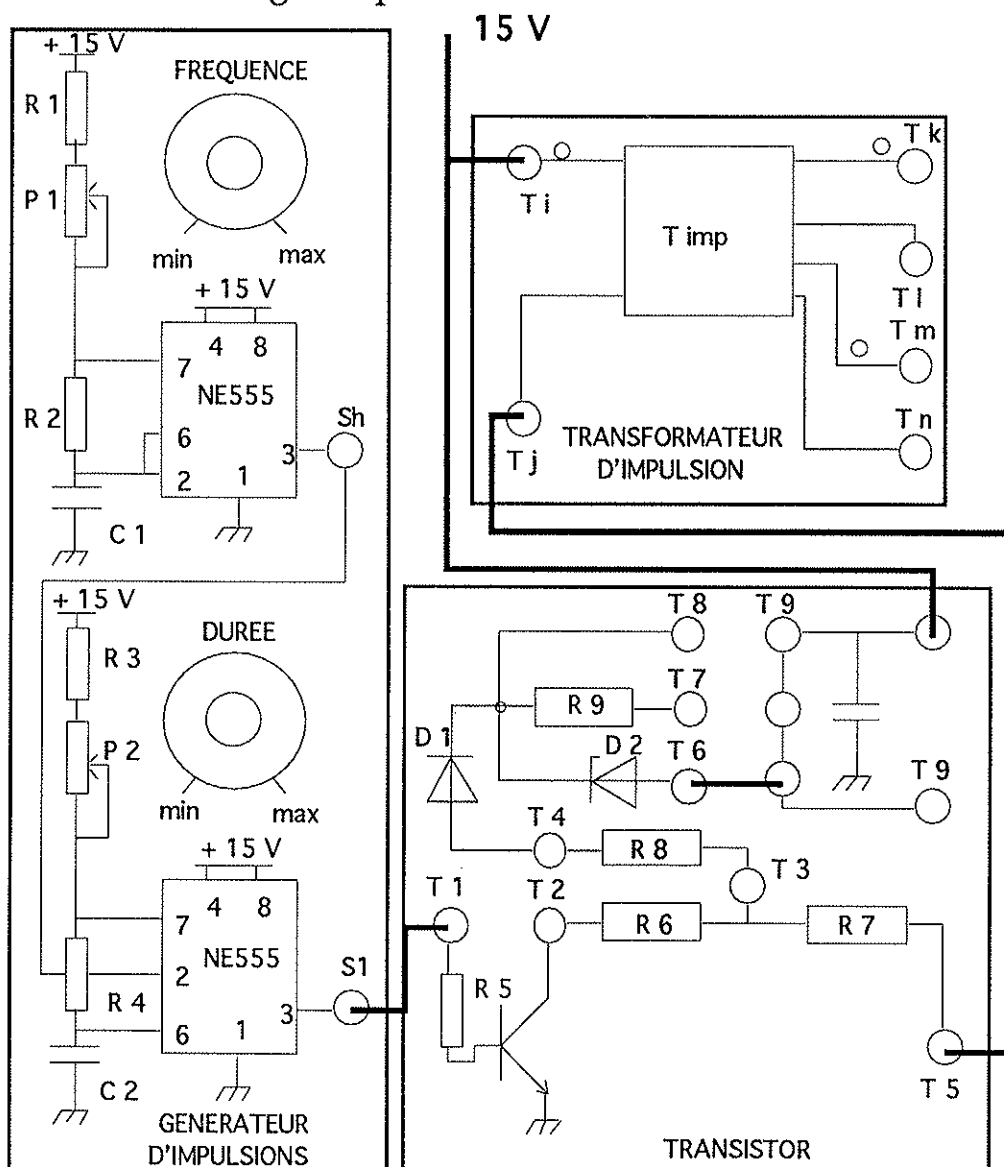
Se placer sur une période de fonctionnement.

Effectuer les relevés de $v_{CE}(t)$, $i_c(t)$, $i_p(t)$ et $i_d(t)$ en concordance des temps.

Comparer $v_{CE}(t)$ à la tension $v_{CE}(t)$ du paragraphe précédent. Justifier l'utilité et la nécessité de la diode D.

1.3. DEMAGNETISATION PAR DIODE ZENER

Réaliser le montage ci-après :



Régler le potentiomètre "fréquence" à mi-course.

La tension d'alimentation du primaire est de 15 V.

La borne S_1 étant reliée à T_1 , visualiser à l'oscilloscope la tension appliquée entre la base et l'émetteur du transistor ainsi que la tension v_{CE} du même transistor (la voie 1 en S_1 , la voie 2 en T_2 et la masse de l'oscilloscope à la masse de l'alimentation).

Donner à l'impulsion la durée la plus grande possible.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{BE}(t)$ et $v_{CE}(t)$.

Modifier le branchement de l'oscilloscope pour visualiser successivement $v_{CE}(t)$, $i_c(t)$ (intensité du courant traversant le collecteur du transistor), $i_p(t)$ (intensité du courant traversant l'enroulement du primaire du transformateur) et $i_d(t)$ (intensité du courant traversant les diodes).

Indiquer les branchements successifs à réaliser.

Se placer sur une période de fonctionnement.

Effectuer les relevés de $v_{CE}(t)$, $i_c(t)$, $i_p(t)$ et $i_d(t)$ en concordance des temps.

Comparer les durées de démagnétisations dans le cas d'une démagnétisation avec diode de commutation et dans le cas d'une démagnétisation avec diode de commutation associée à une diode Zéner.

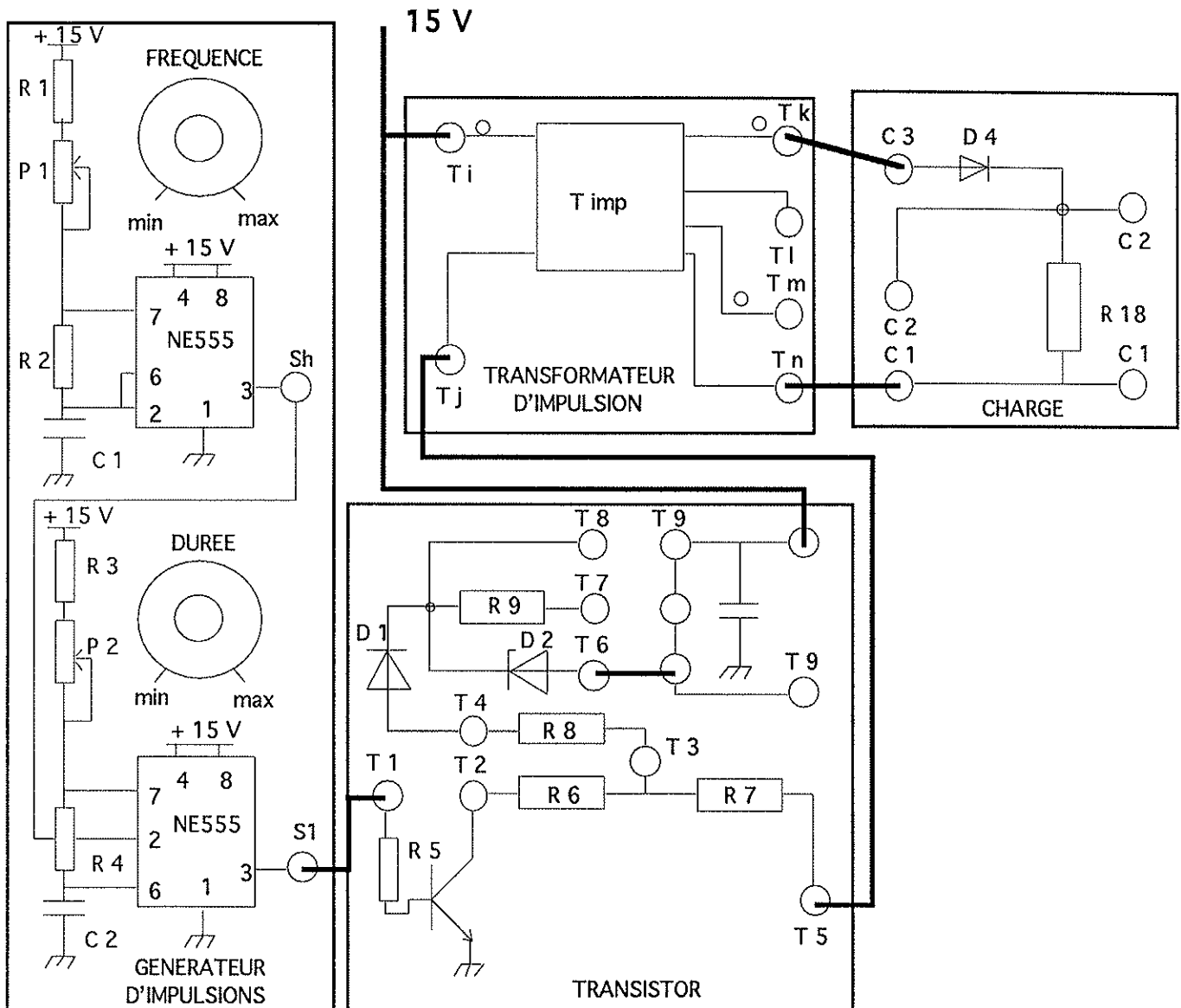
Justifier l'utilité de la diode Zéner.

II. ETUDE EN CHARGE

II.1. MONTAGE

On utilise le montage suivant.

Alimenter la maquette en ± 15 V.



II.2 EXPERIMENTATION

Régler le potentiomètre "fréquence" à mi-course.

La tension d'alimentation du primaire est de 15 V.

La borne S₁ étant reliée à T1, visualiser à l'oscilloscope la tension appliquée entre la base et l'émetteur du transistor ainsi que la tension v_{CE} du même transistor (la voie 1 en S₁, la voie 2 en T₂ et la masse de l'oscilloscope à la masse de l'alimentation).

Donner à l'impulsion la durée la plus grande possible.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{BE}(t)$ et $v_{CE}(t)$.

Relever en concordance des temps les tensions $v_{BE}(t)$ et $v_{CE}(t)$.

Modifier le branchement de l'oscilloscope pour visualiser successivement $v_{CE}(t)$, $i_c(t)$ (intensité du courant traversant le collecteur du transistor), $i_p(t)$ (intensité du courant traversant l'enroulement du primaire du transformateur), $i_s(t)$ (intensité du courant traversant l'enroulement du secondaire du transformateur) et $i_d(t)$ (intensité du courant traversant les diodes).

Indiquer les branchements successifs à réaliser.

Se placer sur une période de fonctionnement.

Effectuer les relevés de $v_{CE}(t)$, $i_c(t)$, $i_p(t)$, $i_s(t)$ et $i_d(t)$ en concordance des temps.

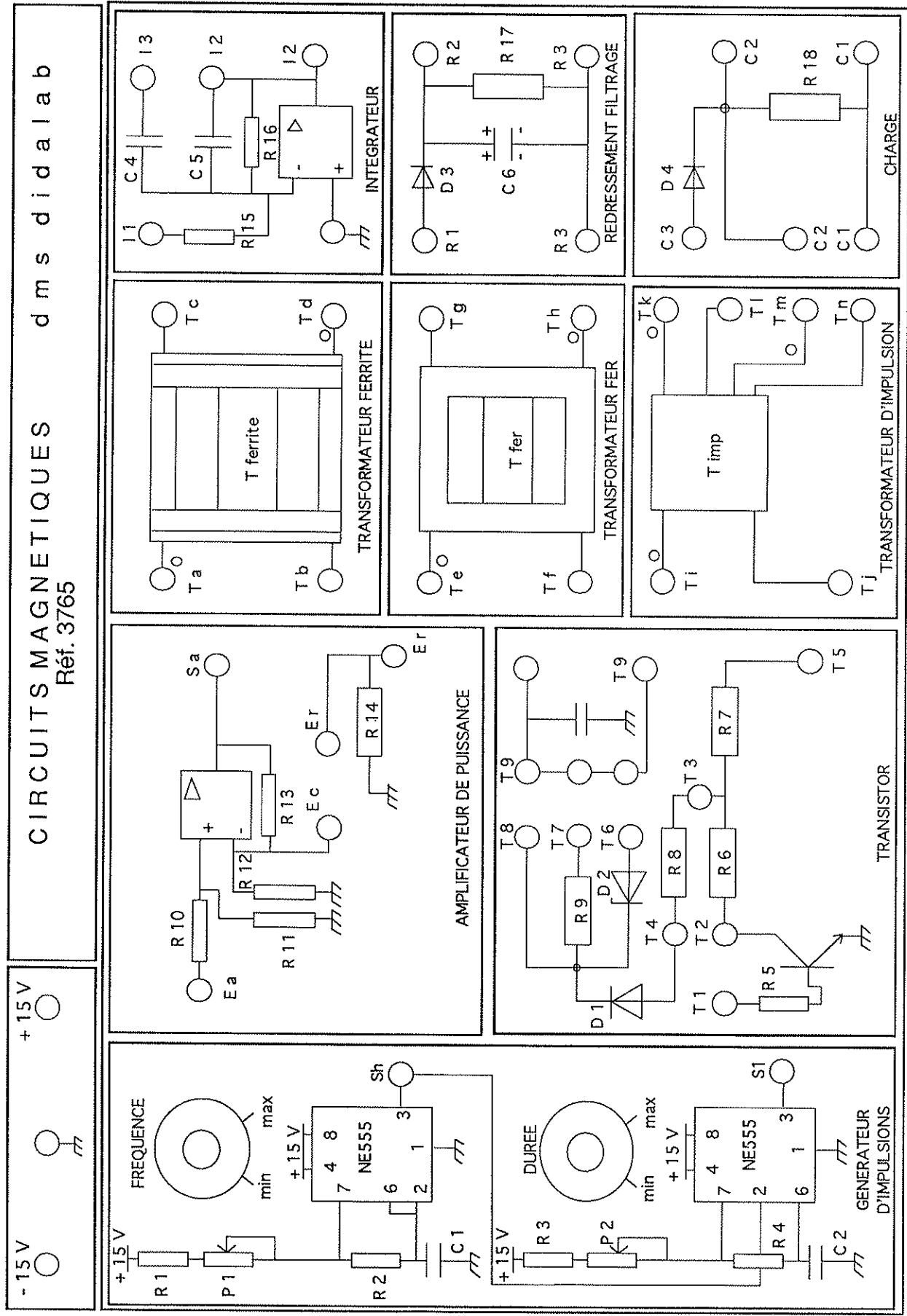
Justifier la forme des chronogrammes obtenus.

Déterminer le rapport de transformation du transformateur.

Vérifier qu'en utilisant l'autre enroulement du secondaire, on obtient les mêmes résultats.

Annexe 1

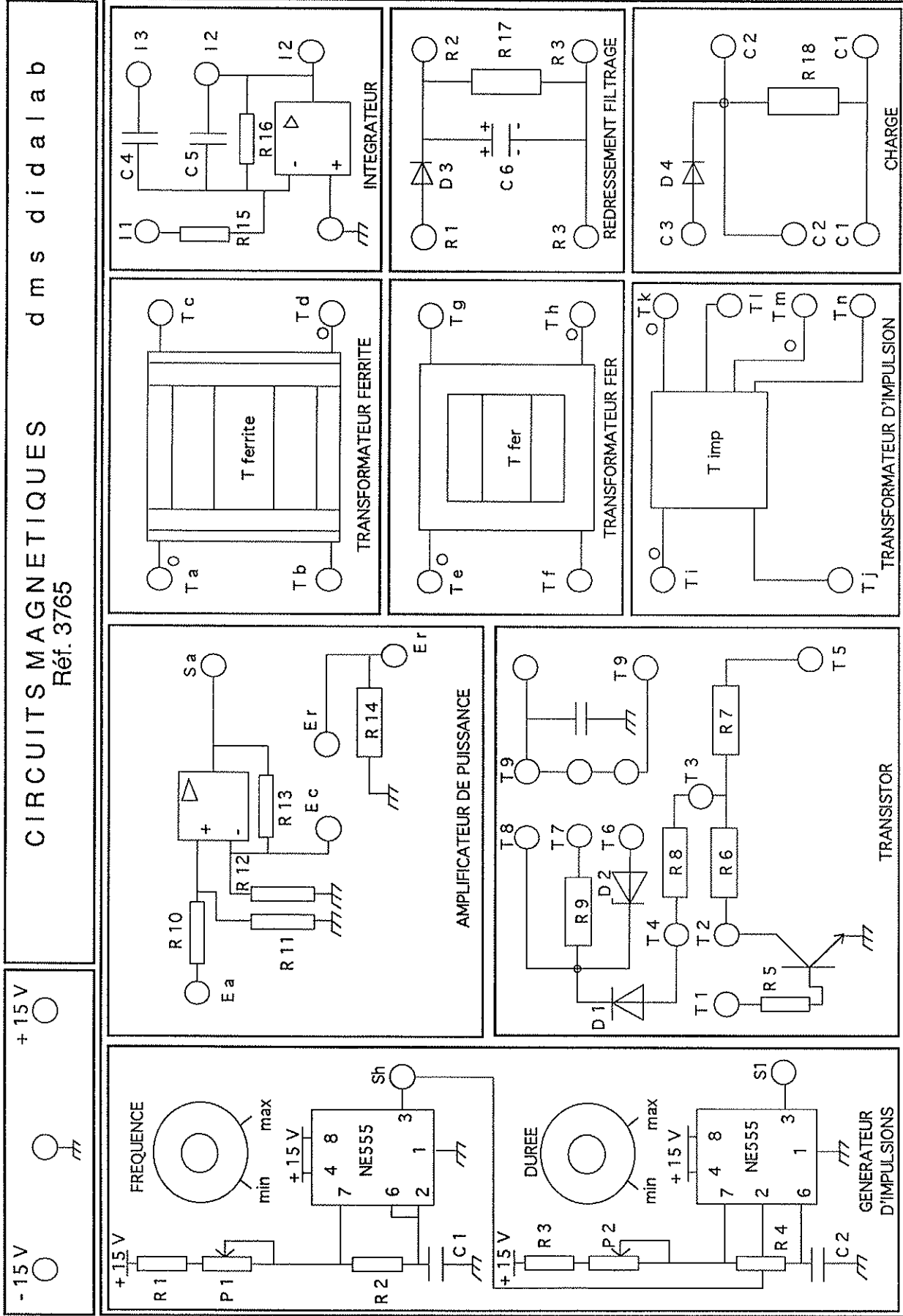
Plan de la maquette CIRCUITS MAGNETIQUES



Plan de la maquette circuit magnétique

Annexe 2

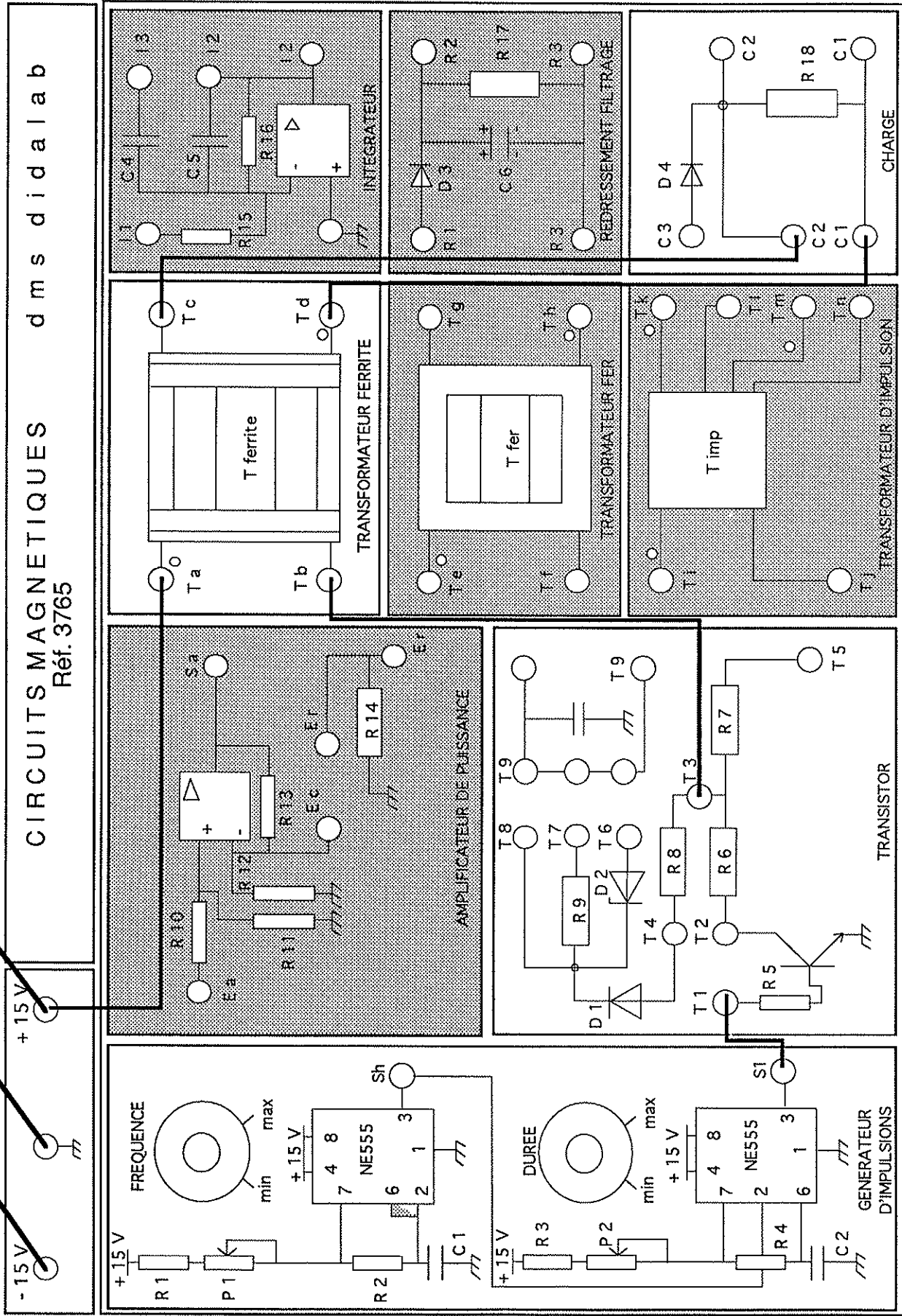
**Schéma de câblage de la maquette pour
la mesure de l'inductance d'un circuit à noyau de ferrite**



Plan de la maquette circuit magnétique

Annexe 3

**Schéma de câblage de la maquette pour
le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de ferrite**



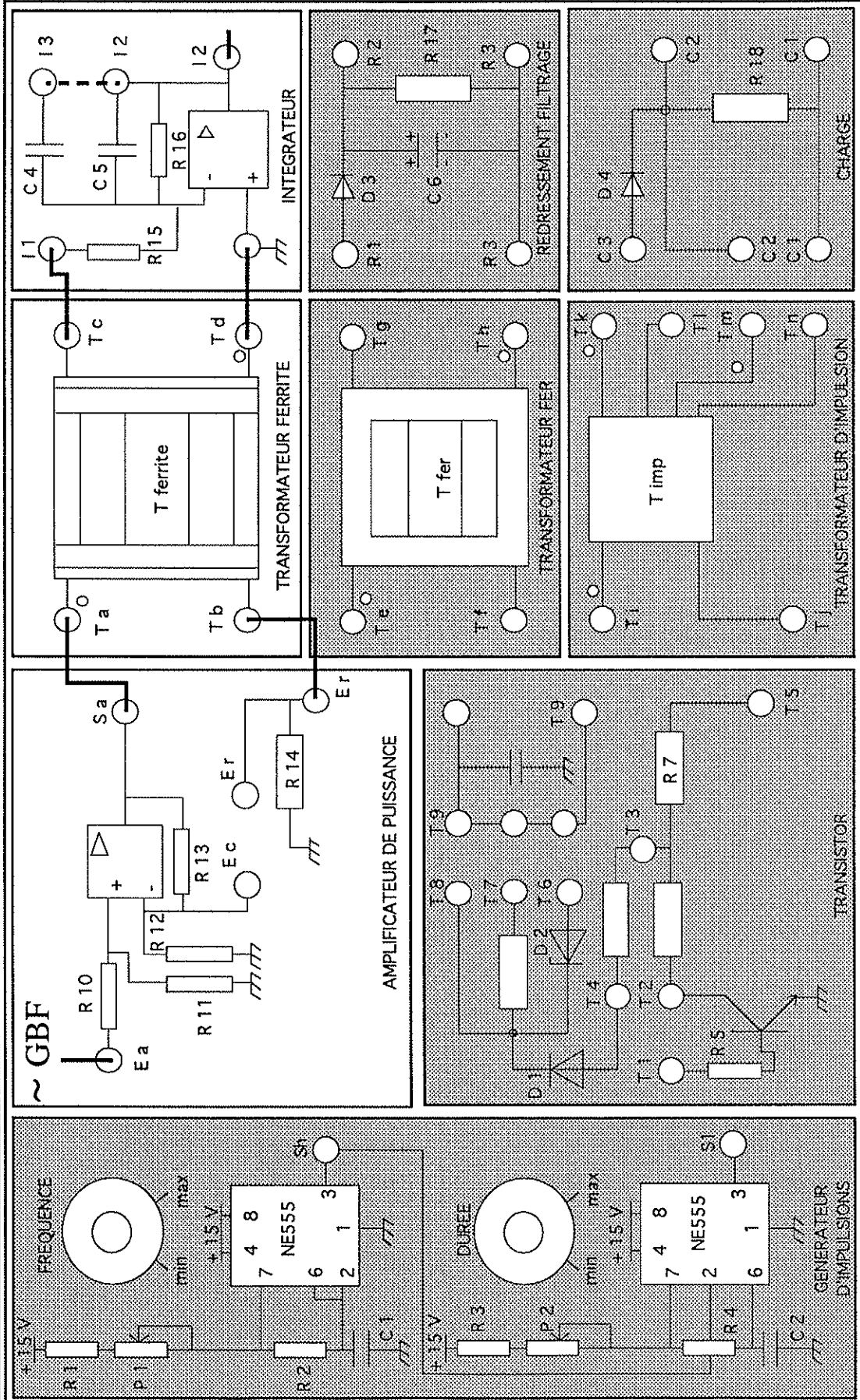
Mesure de l'inductance d'un circuit à noyau de ferrite

Annexe 4

**Schéma de câblage de la maquette pour
le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de fer**

$5 +$

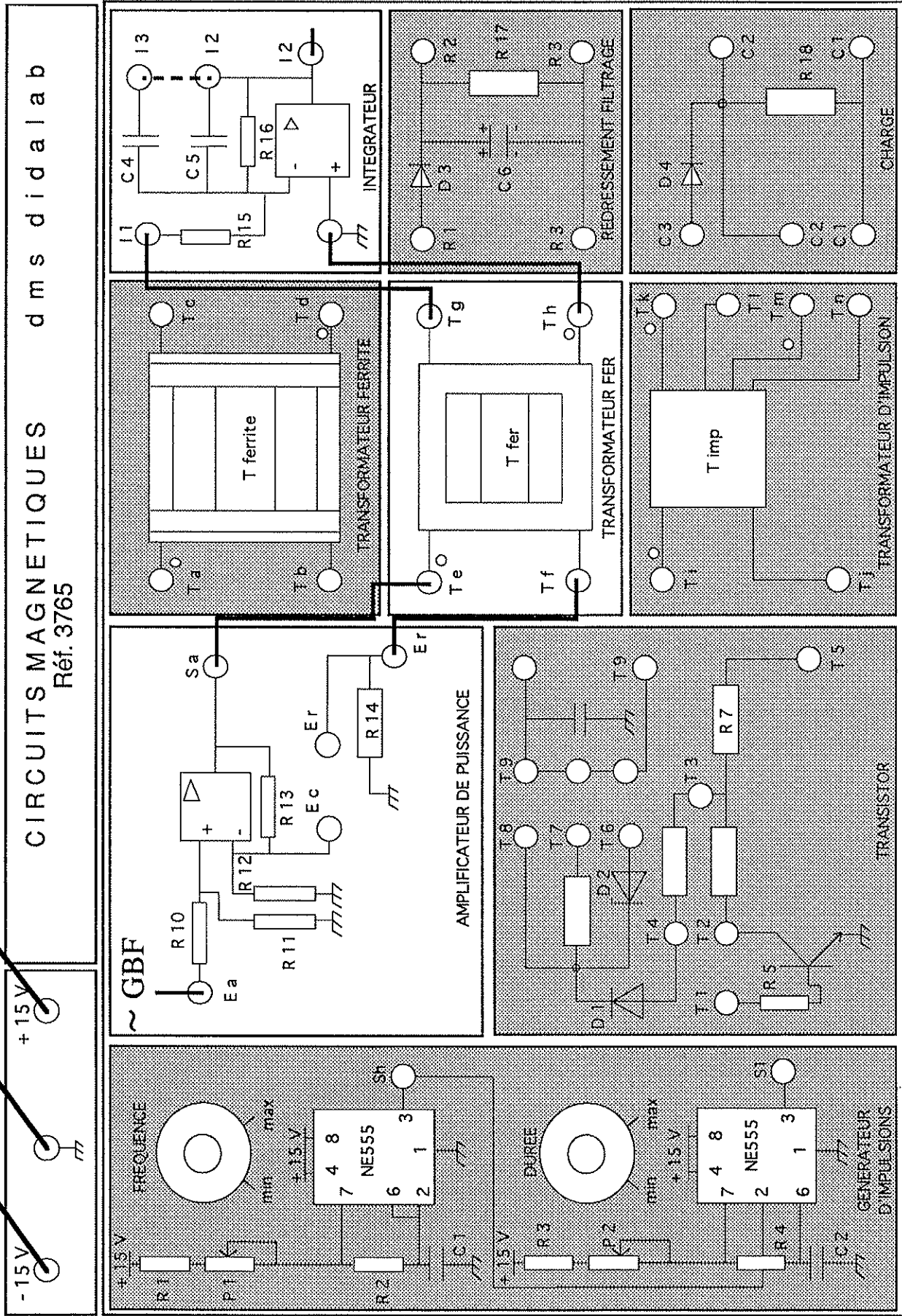
Réf. 3765



Etude du transformateur à noyau de ferrite

Annexe 5

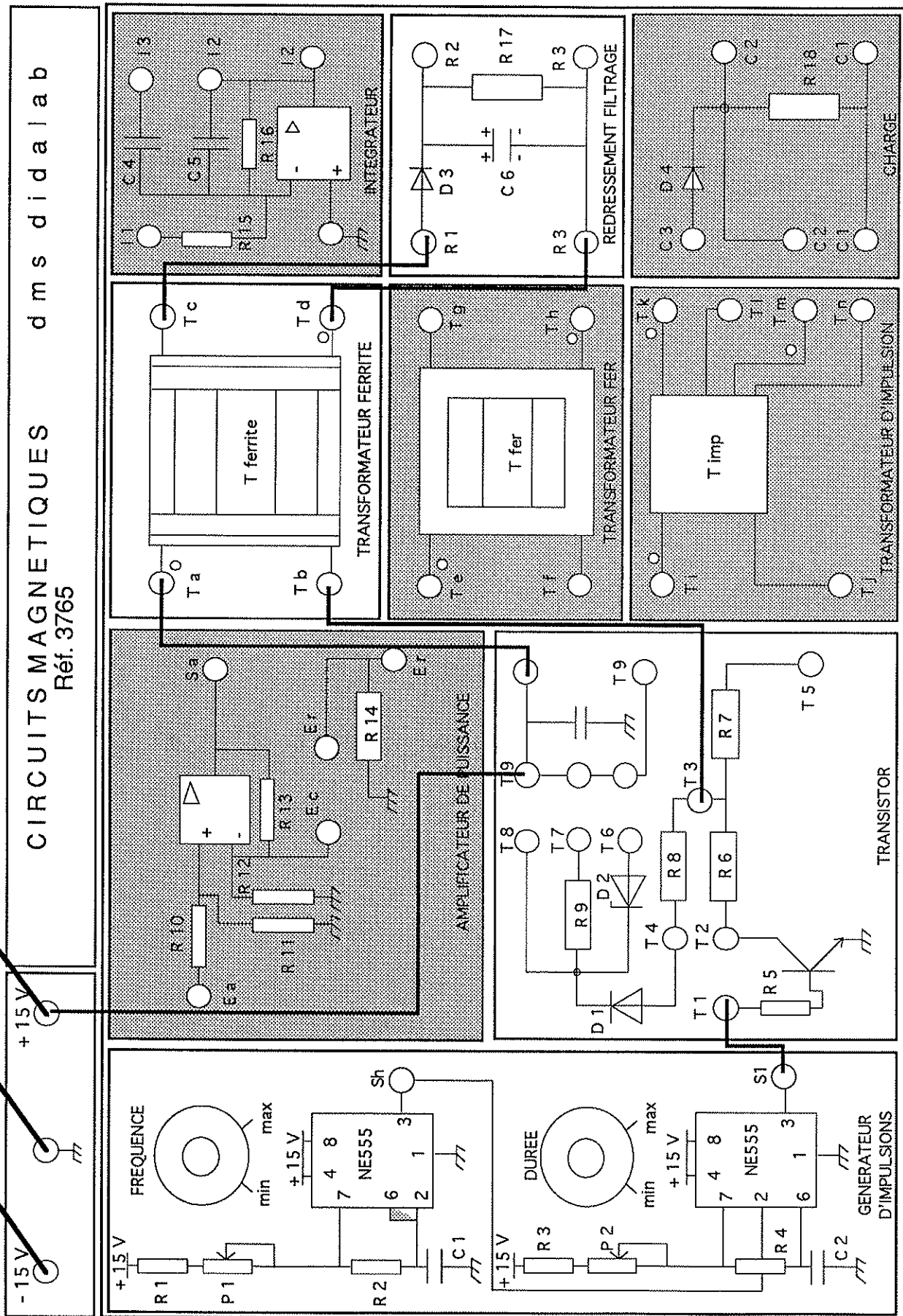
**Schéma de câblage de la maquette pour
la réalisation d'une alimentation à découpage de type FLYBACK**



Etude du transformateur à noyau de fer feuilleté

Annexe 6

**Schéma de câblage de la maquette pour
la transmission d'impulsions avec démagnétisation par diode de
commutation (fonctionnement à vide)**



Etude d'une alimentation à découpage de type FLYBACK

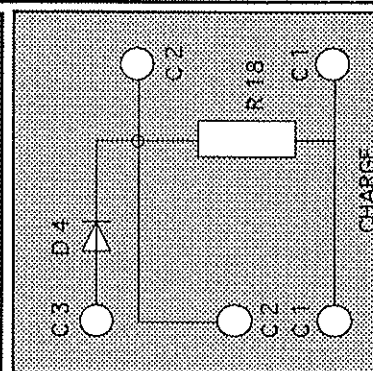
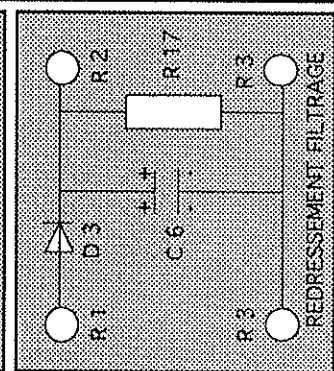
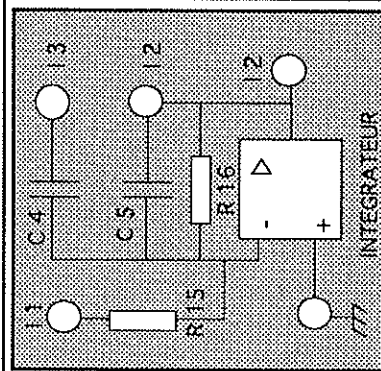
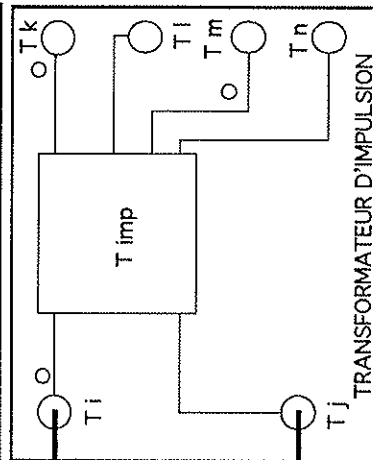
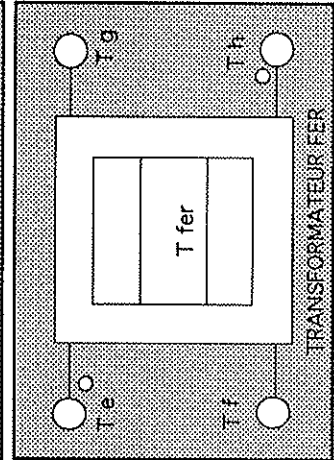
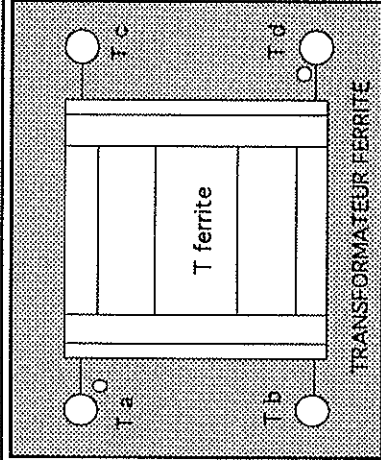
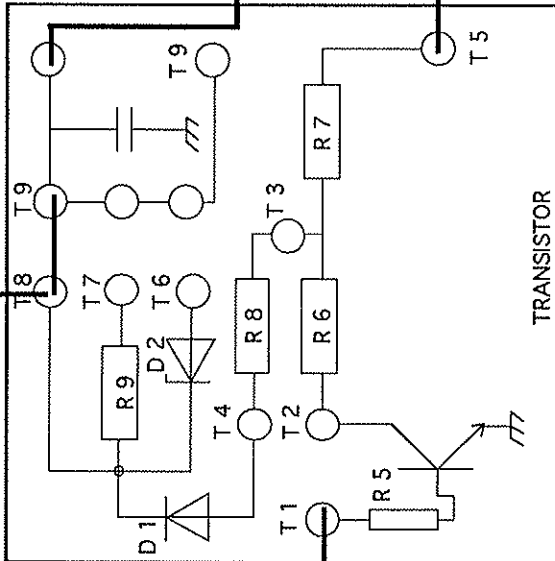
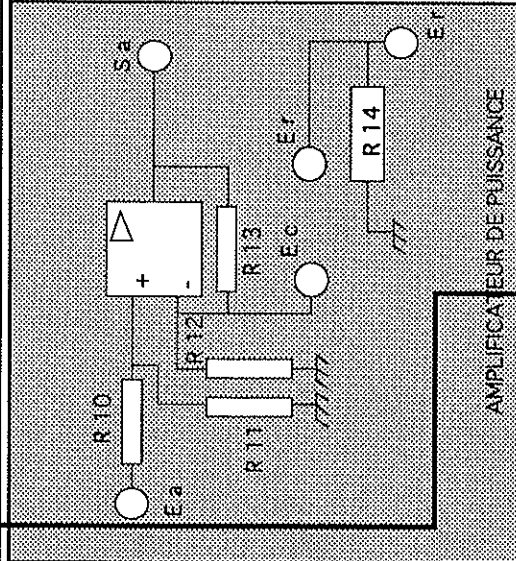
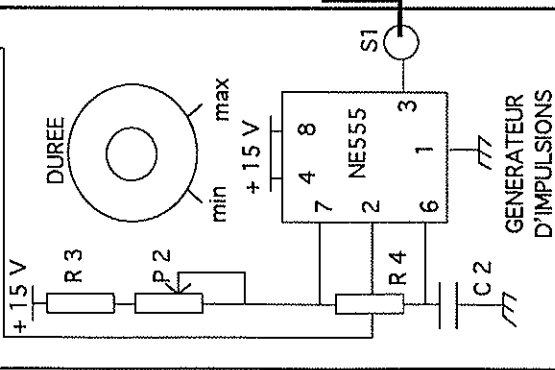
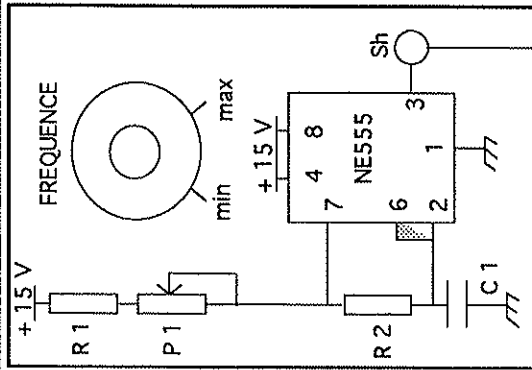
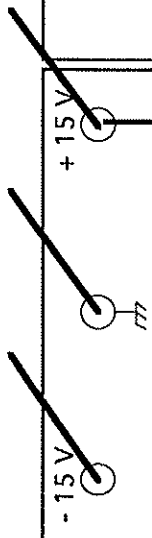
Annexe 7

**Schéma de câblage de la maquette pour
la transmission d'impulsions avec démagnétisation par diode Zéner
(fonctionnement à vide)**

CIRCUITS MAGNETIQUES

Réf. 3765

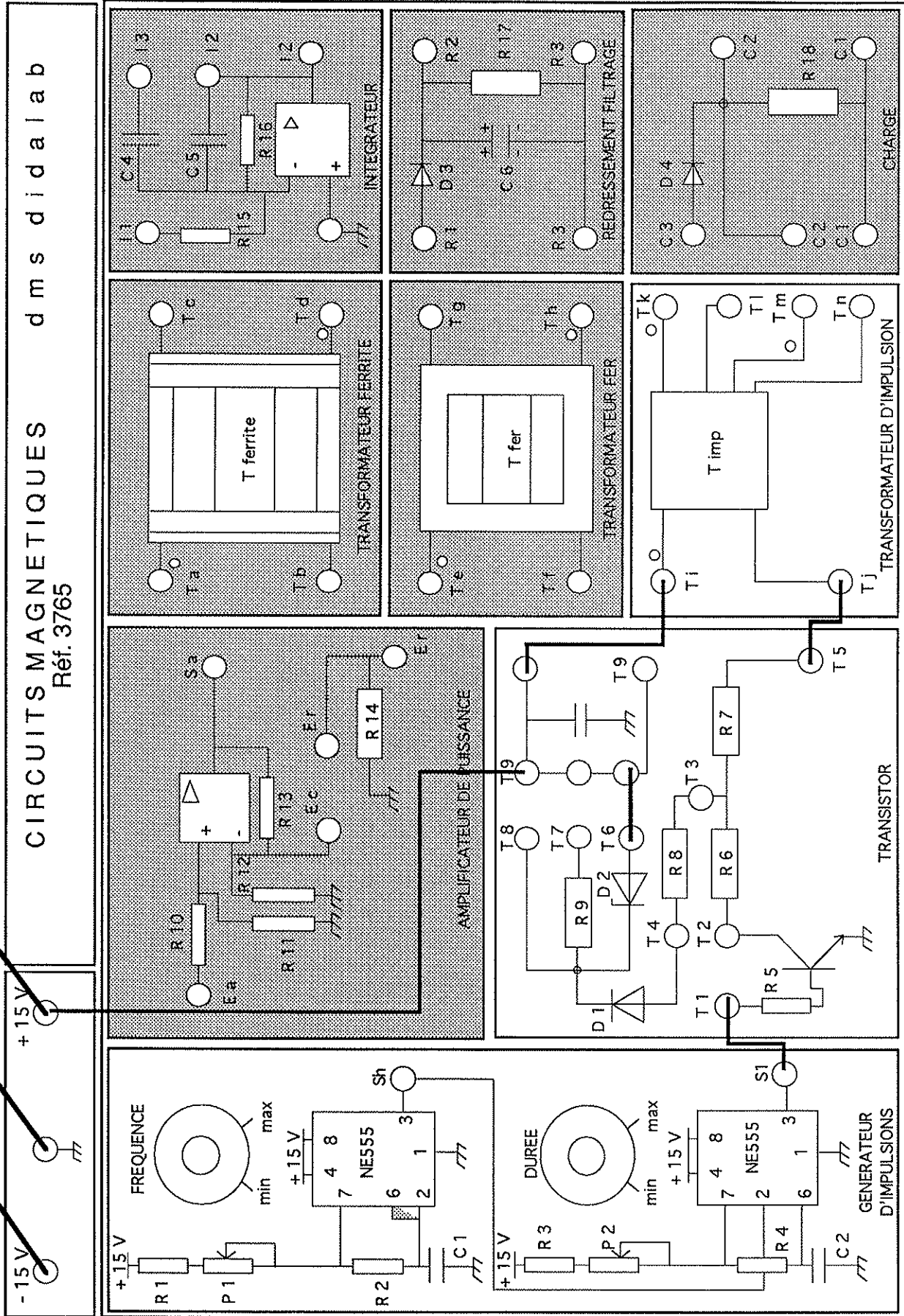
dms dida lab



Etude du transformateur d'impulsions : démagnétisation par diode et fonctionnement à vide

Annexe 8

**Schéma de câblage de la maquette pour
la transmission d'impulsions avec démagnétisation par diode Zéner
(fonctionnement en charge)**



Etude du transformateur d'impulsions : démagnétisation par diode Zéner et fonctionnement à vide

Sommaire

A) PRESENTATION DE LA MAQUETTE	p.1
B) CYCLE D'HYSTERESIS D'UN CIRCUIT MAGNETIQUE	p.8
I. TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FERRITE	p.8
I.1 MAGNETISATION DU CIRCUIT MAGNETIQUE	p.8
I.2 CIRCUIT MAGNETIQUE EN ALTERNATIF	p.10
II. TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FER	p.13
C) EXEMPLE D'UTILISATION D'UN TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FERRITE : ALIMENTATION FLYBACK	p.16
I. PRESENTATION	p.16
I.1 MONTAGE DE PRINCIPE	p.16
I.2 FONCTIONNEMENT	p.16
II. EXPERIMENTATION	p.20
II.1 MONTAGE	p.20
II.2 ETUDE EXPERIMENTALE	p.20
D) ETUDE D'UN TRANSFORMATEUR D'IMPULSIONS	p.23
PREMIERE PARTIE : ETUDE THEORIQUE	p.23
I. MODELISATION D'UN TRANSFORMATEUR D'IMPULSION	p.23
I.1 TEMPS DE MONTEE DE LA TENSION DE SORTIE	p.23
I.2 MODELE SIMPLIFIE	p.24
II. AIRE MAXIMALE D'UNE IMPULSION DE COMMANDE	p.26
III. DEMAGNETISATION DU CIRCUIT MAGNETIQUE	p.28
III.1 DEMAGNETISATION PAR DIODE DE ROUE LIBRE	p.28
III.2 DEMAGNETISATION PAR DIODE ZENER	p.30
IV. UTILISATION AVEC SECONDAIRE CHARGE	p.31
V. APPLICATION : COMMANDE D'UN THYRISTOR	p.33
SECONDE PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	p.35
I. ETUDE A VIDE	p.35
I.1. MAGNETISATION DU CIRCUIT MAGNETIQUE	p.35
I.2. DEMAGNETISATION PAR DIODE	p.36
I.3. DEMAGNETISATION PAR DIODE ZENER	p.36
II. ETUDE EN CHARGE	p.39
II.1. MONTAGE	p.39
II.2. EXPERIMENTATION	p.40

ANNEXE 1 : Plan de la maquette.....	p.41
ANNEXE 2 : Câblage de la maquette pour la mesure de l'inductance d'un circuit à noyau de ferrite.....	p.43
ANNEXE 3 : Câblage de la maquette pour le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de ferrite.....	p.43
ANNEXE 4 : Câblage de la maquette pour le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de fer.....	p.43
ANNEXE 5 : Câblage de la maquette pour la réalisation d'une alimentation à découpage de type FLYBACK.....	p.45
ANNEXE 6 : Câblage de la maquette pour la transmission d'impulsions avec démagnétisation par diode de commutation (fonctionnement à vide).....	p.47
ANNEXE 7 : Câblage de la maquette pour la transmission d'impulsions avec démagnétisation par diode Zéner (fonctionnement à vide).....	p.51
ANNEXE 8 : Câblage de la maquette pour la transmission d'impulsions avec démagnétisation par diode Zéner (fonctionnement en charge).....	p.51