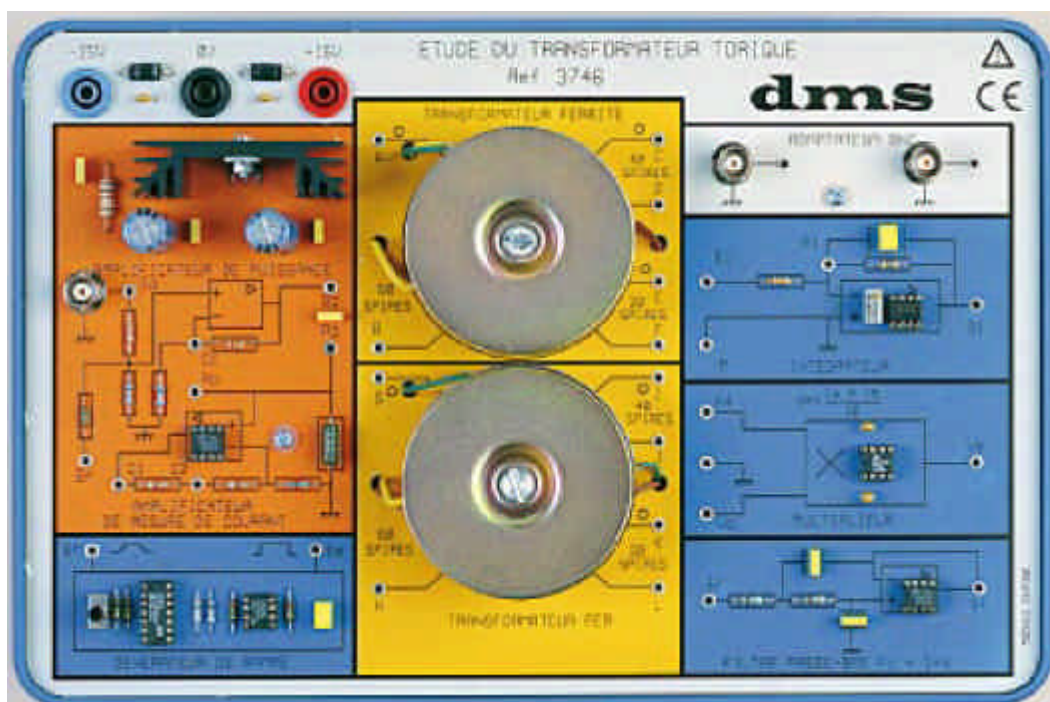


PED037460

Transformateurs Toriques

Marc DEMONCHY et Robert LE GOFF
Professeurs
L.S.I Gustave EIFFEL - CACHAN

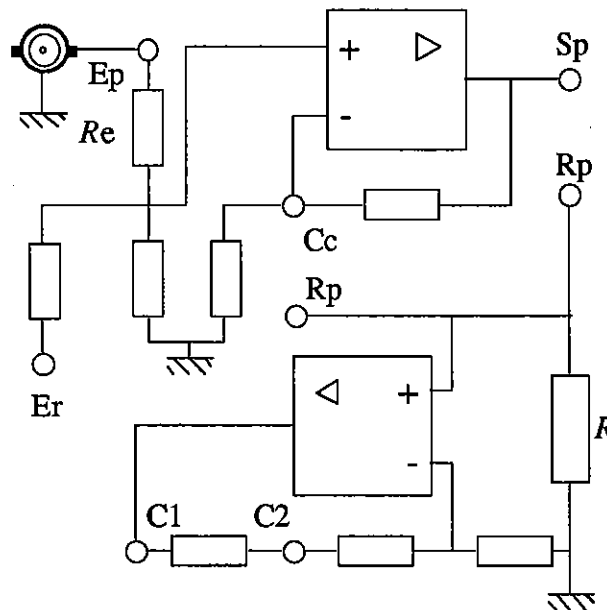


TRAVAUX PRATIQUES

TRANSFORMATEURS TORIQUES

A. PRESENTATION DE LA MAQUETTE

• AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE



Placer entre Sp et Rp un rhéostat de résistance réglable entre 0 et 120 Ω associé en série avec un ampèremètre.

* Fonctionnement en source de tension

Alimenter le montage entre Ep et la masse par un GBF délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude 2 V et de fréquence 100 Hz.

Visualiser :

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

Ajuster la résistance du rhéostat à une valeur permettant l'obtention d'une intensité de sortie de valeur maximale 0,5 A (soit 0,35 A de valeur efficace).

Que vaut la valeur maximale de la tension de sortie disponible à la borne Sp ? Le montage est-il amplificateur de tension ?

Déterminer la puissance disponible en sortie.

Sans modifier les réglages du rhéostat et du GBF, 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, replacer 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 Cc.

Par action des touches INV et ADD de l'oscilloscope visualiser la tension disponible aux bornes de la résistance Re. En utilisant le code des couleurs, déterminer la valeur de cette résistance.

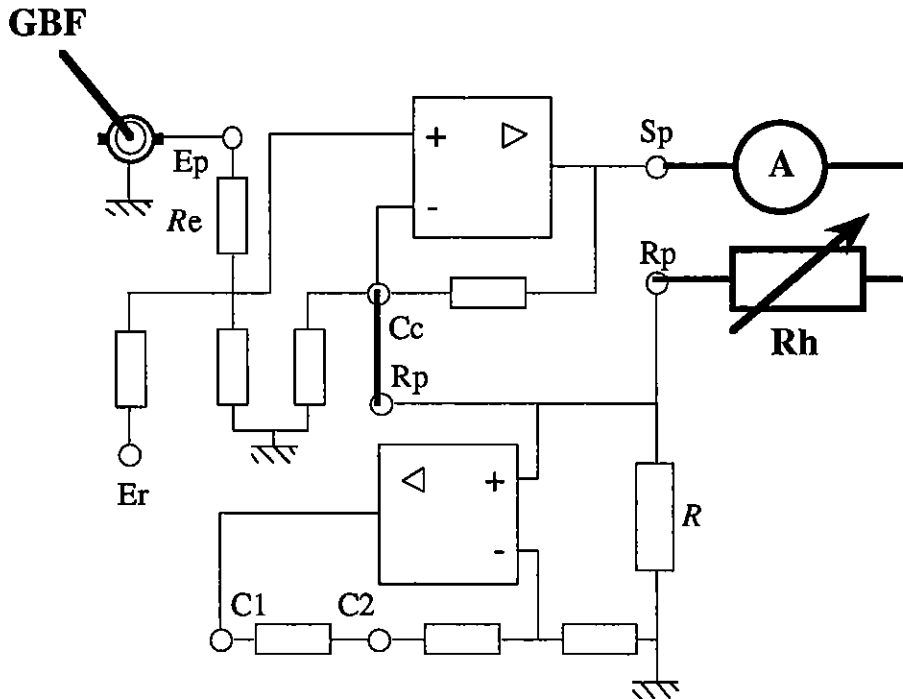
En déduire la valeur maximale de l'intensité du courant d'entrée, la comparer à celle du courant de sortie. Le montage est-il amplificateur de courant ?

Calculer la puissance disponible à l'entrée et vérifier que le montage est amplificateur de puissance.

Modifier la valeur Rh du rhéostat de charge et vérifier que la tension disponible en Sp reste constante quelle que soit la valeur de Rh (sur une plage importante de variation de Rh).

* Fonctionnement en source de courant

Sans modifier au montage précédent, relier la borne Rp à Cc par un court-circuit.

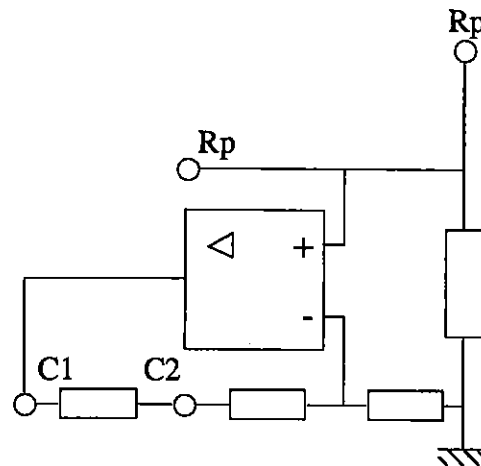


Il est possible de mener une série d'expériences semblables aux précédentes et de vérifier ainsi que le montage fonctionne encore en amplificateur de puissance.

Vérifier qu'à $f = 100 \text{ Hz}$ et $\hat{u}_e = 2 \text{ V}$, l'intensité efficace I du courant débité par l'amplificateur de puissance (et luë sur l'ampèremètre) reste constante quelle que soit la valeur de R_h .

Recommencer la manipulation à f réglable (de 0 Hz à 5 kHz) et $\hat{u}_e = 2 \text{ V}$. Le montage fonctionne-t-il toujours en générateur de courant ?

• **AMPLIFICATEUR DE MESURE DU COURANT**

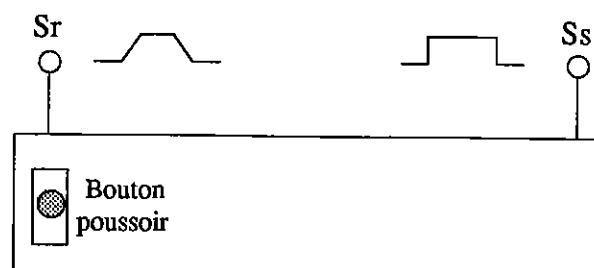


Alimenter le montage entre Rp et la masse par un GBF délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude 0,1 V et de fréquence 100 Hz ou utiliser l'un des montages précédents.

Vérifier que montage est amplificateur non inverseur avec une amplification :

- de 10 lorsqu'un court-circuit est placé entre les bornes C1 et C2,
- de 100 lorsque le court-circuit est enlevé.

• **GENERATEUR DE RAMPE**



Générateur de rampe

Alimenter la maquette et visualiser :

- sur la voie 1 d'un oscilloscope, la tension disponible à la sortie Sr,

- sur la voie 2 la tension disponible à la sortie Ss,

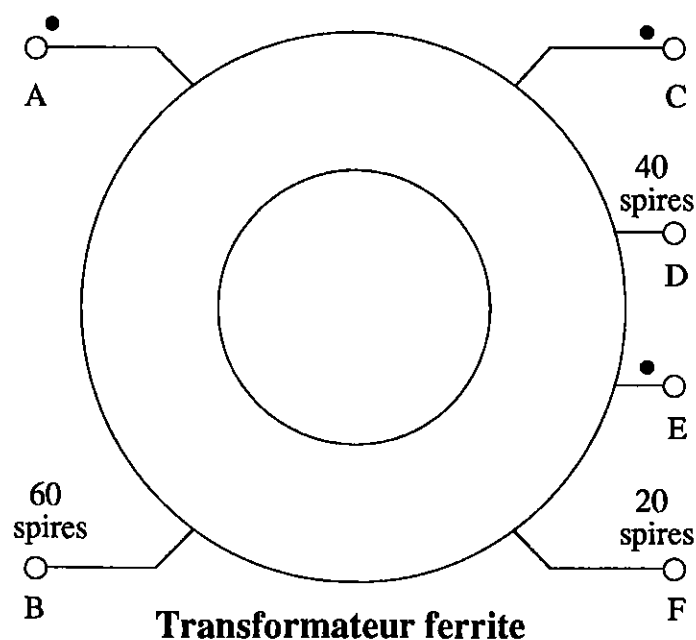
lorsque le bouton poussoir n'est pas actionné puis lorsqu'il est actionné.

Vérifier que sur l'une des bornes, on dispose d'un échelon de tension et que sur l'autre une rampe de tension.

• TRANSFORMATEUR FERRITE

Le transformateur à noyau de ferrite comprend un enroulement primaire de 60 spires et deux enroulements secondaires, l'un de 40 spires et l'autre de 20 spires.

Les bornes homologues permettent de connaître le sens des enroulements afin de pouvoir savoir si l'on travaille en flux additif ou en flux soustractif lorsque l'on associe ces enroulements.



Données du constructeur du transformateur :

- Diamètre extérieur du circuit magnétique : 63 mm
- Diamètre intérieur du circuit magnétique : 38 mm
- Hauteur du circuit magnétique : 25 mm
- Section des conducteurs 80/100^{ème}

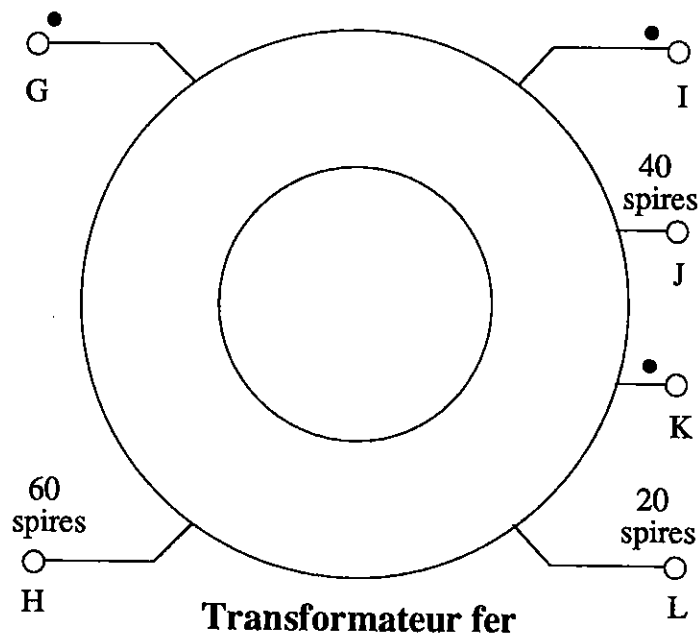
A partir de ces données on peut calculer la section S du circuit magnétique ainsi que sa longueur moyenne l .

On obtient : $S = 312,5 \text{ mm}^2$ et $l = 158,7 \text{ mm}$

• TRANSFORMATEUR FER

Le transformateur à noyau magnétique en tôle feuilletée comprend un enroulement primaire de 60 spires et deux enroulements secondaires, l'un de 40 spires et l'autre de 20 spires.

Les bornes homologues permettent de connaître le sens des enroulements afin de pouvoir savoir si l'on travaille en flux additif ou en flux soustractif lorsque l'on associe ces enroulements.



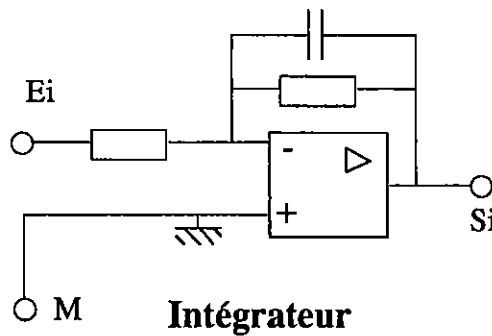
Données du constructeur du transformateur :

- Diamètre extérieur du circuit magnétique : 63 mm
- Diamètre intérieur du circuit magnétique : 38 mm
- Hauteur du circuit magnétique : 25 mm
- Section des conducteurs 80/100ème

A partir de ces données on peut calculer la section S du circuit magnétique ainsi que sa longueur moyenne l .

On obtient : $S = 312,5 \text{ mm}^2$ et $l = 158,7 \text{ mm}$

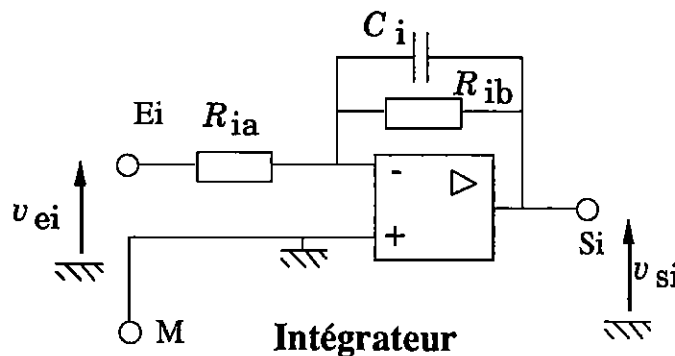
• INTEGRATEUR



$$R_{ia} = 2,7 \text{ k}\Omega, R_{ib} = 10 \text{ M}\Omega, C_i = 1 \mu\text{F}.$$

Mise en équation

Nous travaillons à partir des notations ci-après :



En appliquant la loi d'additivité des courants, on trouve :

$$C_i \frac{dv_{si}}{dt} + \frac{v_{si}}{R_{ib}} = - \frac{v_{ei}}{R_{ia}}$$

ou :

$$R_{ia}C_i \frac{dv_{si}}{dt} + \frac{R_{ia}}{R_{ib}}v_{si} = -v_{ei}$$

Pour simplifier les calculs, nous allons considérer un fonctionnement en sinusoïdal.

Nous obtenons en notation complexe :

$$\frac{v_{si}}{v_{ei}} = - \frac{\frac{R_{ib}}{R_{ia}}}{1 + jR_{ib}C_i\omega}$$

Pour des pulsations telles que $\omega \gg 1/R_{ib}C_i$, il est possible de considérer un fonctionnement en intégrateur parfait dont la fonction de transfert serait :

$$\frac{v_{si}}{v_{ei}} = - \frac{1}{jR_{ia}C_i\omega} = - \frac{A_i}{\omega}$$

Expérimentation

L'intégrateur possède un réglage de décalage d'offset. Pour effectuer ce réglage, on peut par exemple court-circuiter les entrées E_i et M . On mesure à l'oscilloscope la tension en S_i et on agit délicatement sur le potentiomètre de réglage pour annuler cette tension de sortie.

En alimentant l'intégrateur de la maquette par un générateur B.F., délivrant une tension en créneaux symétriques (attention à la tension d'offset qui doit être nulle), vérifier que la tension de sortie est triangulaire sur une plage de fréquences large.

• MULTIPLIEUR

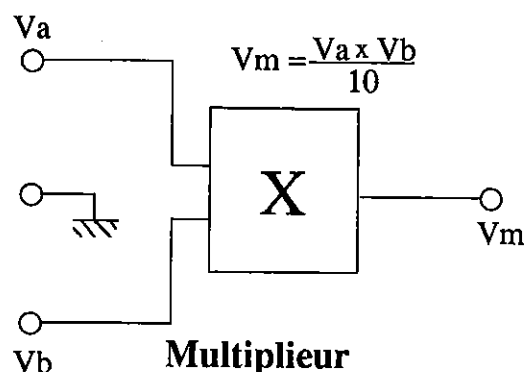
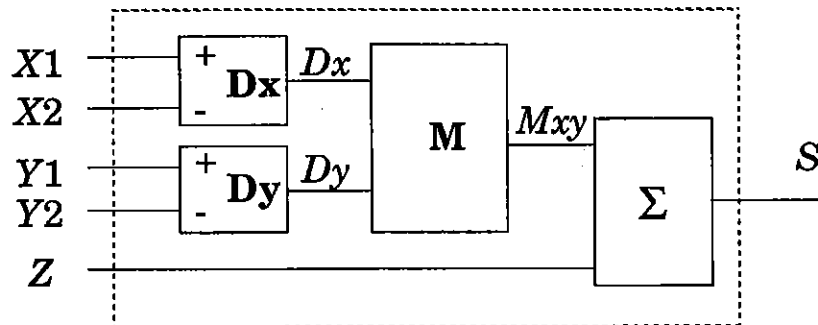


Schéma de principe de la structure interne du multiplieur choisi (AD633 JN) :



Le multiplieur universel **AD633 JN** présente deux entrées doubles : X_1 et X_2 , Y_1 et Y_2 , et une entrée simple Z .

A chaque entrée double est associé un opérateur de différence **D** :

D_x pour le couple X_1/X_2 et **D_y** pour le couple Y_1/Y_2 .

Les tensions de sortie de ces opérateurs sont les résultats des opérations analogiques :

$$D_x = X_1 - X_2 \text{ pour l'opérateur } \mathbf{D}_x,$$

$$D_y = Y_1 - Y_2 \text{ pour l'opérateur } \mathbf{D}_y.$$

Les tensions de sortie D_x et D_y des opérateurs **D_x** et **D_y** sont appliquées aux entrées d'un multiplieur **M** qui effectue l'opération :

$$M_{xy} = \frac{D_x D_y}{k} \quad \text{avec } k = 10 \text{ V}^{-1}.$$

La tension de sortie M_{xy} du multiplieur **M** est appliquée à l'une des deux entrées d'un sommateur Σ ; la tension d'entrée Z est appliquée à l'autre entrée du sommateur Σ .

Sa tension de sortie U_s a pour expression :

$$U_s = M_{xy} + Z$$

En remplaçant M_{xy} par son expression précédente, nous obtenons :

$$U_s = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{k} + Z$$

Les entrées X_2 , Y_2 , et Z étant reliées à la masse, nous avons :

$X_2 = Y_2 = Z = 0$, donc :

$$U_s = \frac{X_1 Y_1}{k}$$

Sur la maquette, l'entrée X_1 correspond à la borne **Va**, l'entrée Y_1 à la borne **Vb** et la sortie S à la borne **Vm**.

Comme nous avons fait $X_2 = Y_2 = Z = 0$, nous obtenons donc :

$$V_m = \frac{V_a \times V_b}{10}$$

Exemple d'utilisation

Deux tensions sinusoïdales u_1 et u_2 sont appliquées respectivement aux entrées X_1 et Y_1 du multiplieur.

u_1 est de la forme $\hat{u}_1 \cos \omega_1 t$.

u_2 est de la forme $\hat{u}_2 \cos(\omega_2 t - \varphi)$.

La tension de sortie u_s représente, à une constante près, le produit $u_1 u_2$:

$$u_s = k u_1 u_2 \text{ avec } k = 0,1 \text{ V}^{-1}$$

La tension u_s s'écrit alors :

$$u_s = k \hat{u}_1 \hat{u}_2 \cos \omega_1 t \cdot \cos(\omega_2 t - \varphi)$$

Ce qui donne par application de la relation :

$$\cos a \cdot \cos b = [\cos(a+b) + \cos(a-b)] / 2$$

$$u_s = k\hat{u}_1\hat{u}_2\{\cos[(\omega_1+\omega_2)t - \varphi] + \cos[(\omega_1-\omega_2)t + \varphi]\}$$

Nous voyons que l'opération de multiplication génère de nouvelles fréquences.

Dans le cas particulier où : $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ et $\varphi = 0$

nous obtenons : $u_s = k\hat{u}_1\hat{u}_2(\cos 2\omega t + 1)$

Effectuons une vérification expérimentale.

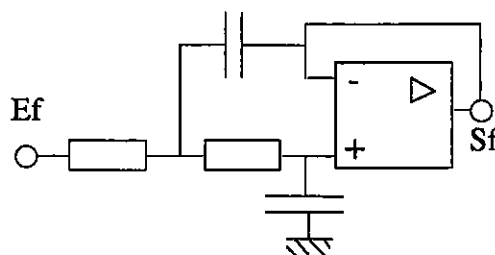
Appliquer aux entrées du multiplieur, une tension sinusoïdale d'amplitude 2 V et de fréquence 100 Hz.

Visualiser la tension de sortie et déterminer toutes ses caractéristiques :

- fréquence,
- valeur moyenne,
- valeur efficace,
- valeur efficace de la composante alternative,
- valeurs extrêmes.

Vérifier si ces résultats sont en accord avec ceux prévus par la théorie.

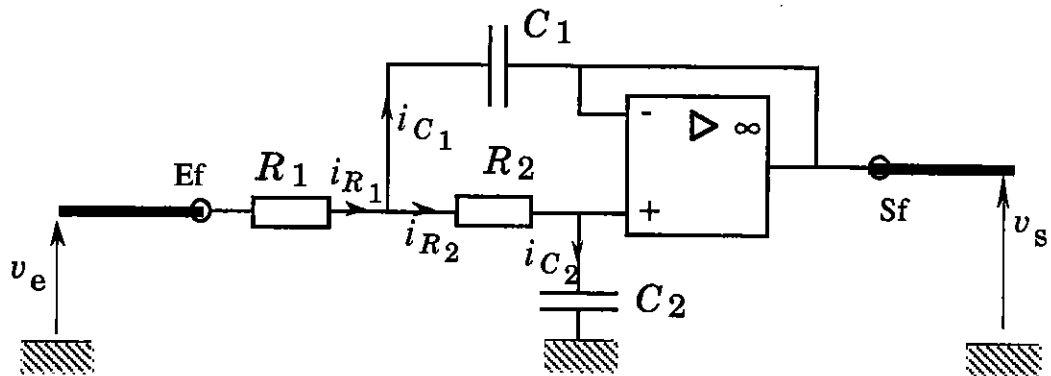
• **FILTRE PASSE-BAS**



Filtre passe-bas $f_c = 1$ Hz

Mise en équation

Nous travaillons avec les notations ci-après :



L'amplificateur opérationnel est supposé parfait.

v_e est une tension sinusoïdale, l'étude est faite en notation complexe.

Les équations des mailles et des nœuds donnent l'ensemble d'équations suivant :

$$\left. \begin{aligned} v_s &= \frac{1}{jC_2\omega} \times i_{C_2} \\ R_2 i_{R_2} &= \frac{1}{jC_1\omega} \times i_{C_1} \\ v_e &= R_1 i_{R_1} + R_2 i_{R_2} + v_s \\ i_{R_1} &= i_{C_1} + i_{R_2} \\ i_{R_2} &= i_{C_2} \end{aligned} \right\}$$

La résolution de ce système de cinq équations à cinq inconnues donne :

$$v_e = [jR_1 C_2 \omega (1 + jR_2 C_1 \omega) + jR_2 C_2 \omega + 1] v_s$$

La fonction transfert du filtre s'écrit donc :

$$T = \frac{v_s}{v_e} = \frac{1}{1 + j(R_1 + R_2)C_2\omega + j^2 R_1 R_2 C_1 C_2 \omega^2}$$

En posant :

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

nous obtenons la forme canonique :

$$T = \frac{v_s}{v_e} = \frac{1}{1 + j\sqrt{\frac{(R_1 + R_2)^2 C_2}{R_1 R_2 C_1}} \frac{\omega}{\omega_c} + j^2 \frac{\omega^2}{\omega_c^2}}$$

ou encore :

$$T = \frac{v_s}{v_e} = \frac{1}{1 + j2m \frac{\omega}{\omega_c} + j^2 \frac{\omega^2}{\omega_c^2}}$$

dans laquelle :

$$m = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(R_1 + R_2)^2 C_2}{R_1 R_2 C_1}}$$

Pour simplifier ces résultats, nous prendrons :

$$R_1 = R_2 = R$$

nous obtenons ainsi :

$$\omega_c = \frac{1}{R\sqrt{C_1 C_2}}$$

et :

$$m = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

Pour obtenir une pulsation de coupure ω_c à - 3 dB et une pente de -40 dB par décade, nous avons choisi un filtre de Butterworth du second ordre.

Nous devons ainsi avoir :

$$m = \frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

soit : $C_1 = 2C_2$

et :

$$\omega_c = \frac{1}{R\sqrt{C_1C_2}} = \frac{1}{RC_2\sqrt{2}}$$

Expérimentation

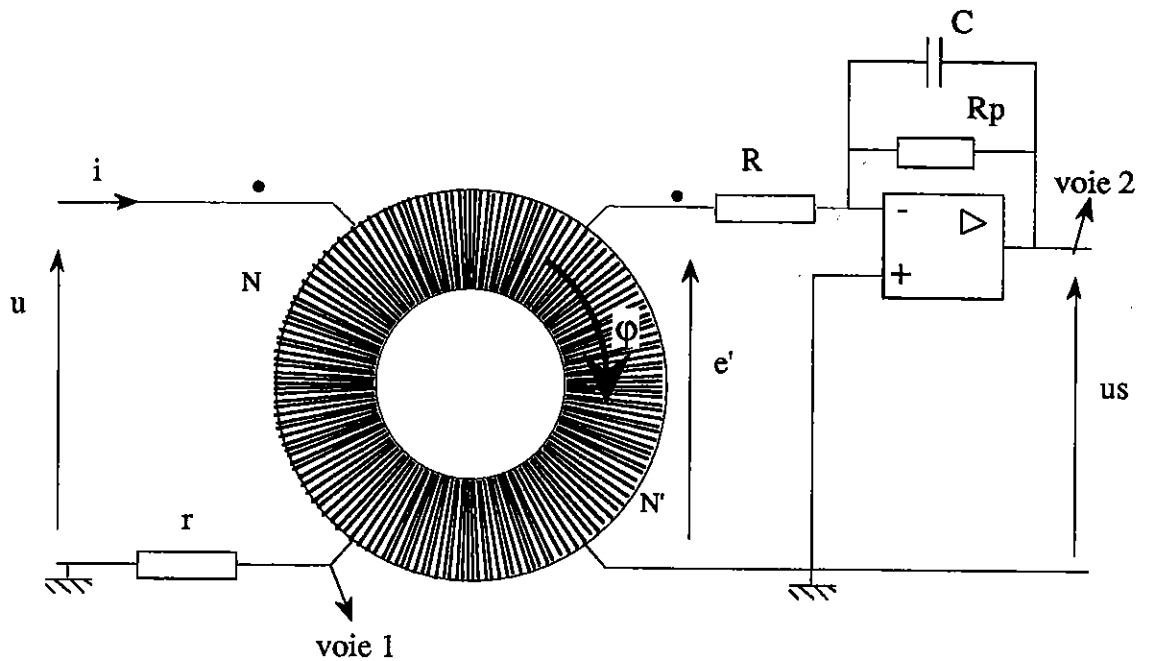
En alimentant le filtre passe-bas de la maquette par un générateur B.F., déterminer la bande passante du filtre à - 3 dB.

Pour cela on pourra par exemple alimenter le filtre sous tension sinusoïdale de valeur efficace constante. En faisant varier la fréquence, on détermine la valeur maximale que peut prendre la tension de sortie puis on détermine la valeur f_c de la fréquence f pour laquelle l'amplitude de la tension de sortie est égale à cette valeur maximale divisée par $\sqrt{2}$: on doit obtenir une fréquence f_c voisine de 1 Hz. La fréquence étant basse, cette étude doit se faire avec un oscilloscope à mémoire.

Comparer plus particulièrement les amplitudes des tensions d'entrée et de sortie du filtre, lorsque la fréquence de la tension d'entrée est :

- grande,
- nulle.

En déduire que le filtre est bien un filtre passe-bas.



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 :

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

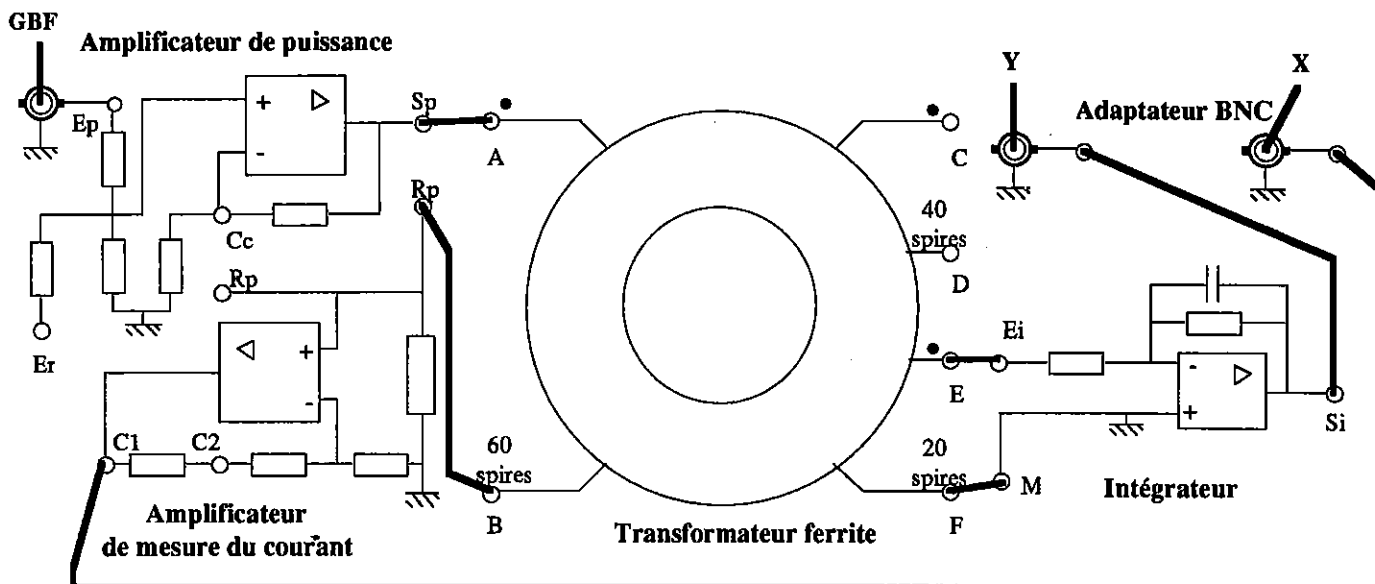
Or le flux ϕ est proportionnel au champ magnétique b :

$$\phi = bS$$

Sur la voie 2 de l'oscilloscope, on visualise les images de ϕ et de b .

Montage

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 2 V et de fréquence 20 Hz.

L'attaque du circuit magnétique se fait-elle en tension ou en courant ?

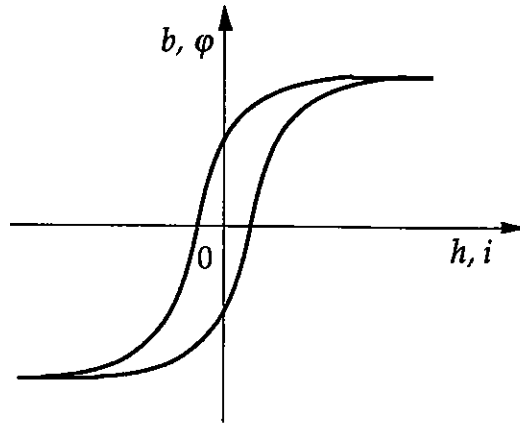
Quelle est la forme de la tension au primaire ?

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 :



Evaluer approximativement les pertes par hystérésis.

Augmenter la fréquence de la tension délivrée par le GBF.

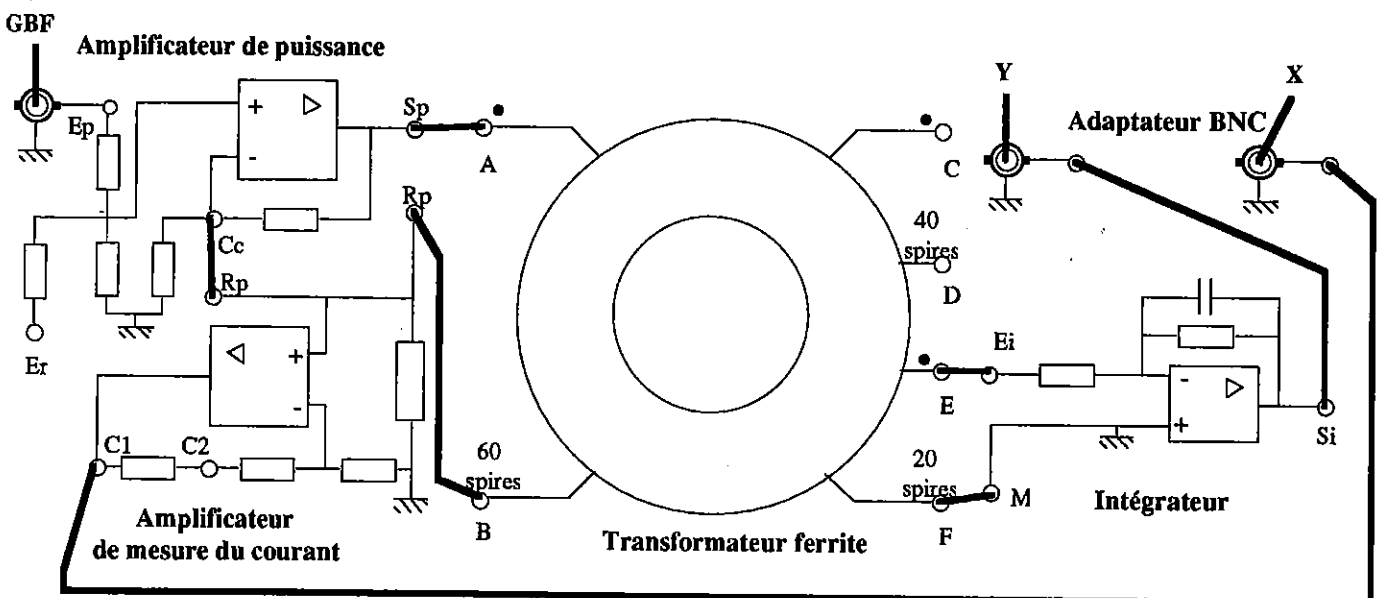
Comment évoluent les pertes par hystérésis dans le circuit ?

Montrer qu'à partir d'une certaine fréquence et sur une plage limitée de tension, le champ magnétique b est pratiquement proportionnel à l'excitation magnétique h .

Que peut-on dire alors des pertes de fer ?

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

Compléter le montage en réalisant le montage ci-après :



Un court-circuit a été placé entre Cc et Rp.

Alimenter l'amplificateur de puissance, à partir d'un G.B.F. délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude 2 V et de fréquence 20 Hz.

L'attaque du circuit magnétique se fait-elle en tension ou en courant ?

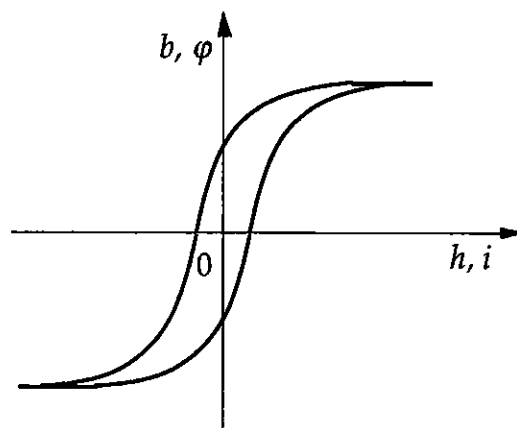
Quelle est la forme de la tension au primaire ?

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

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

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 :



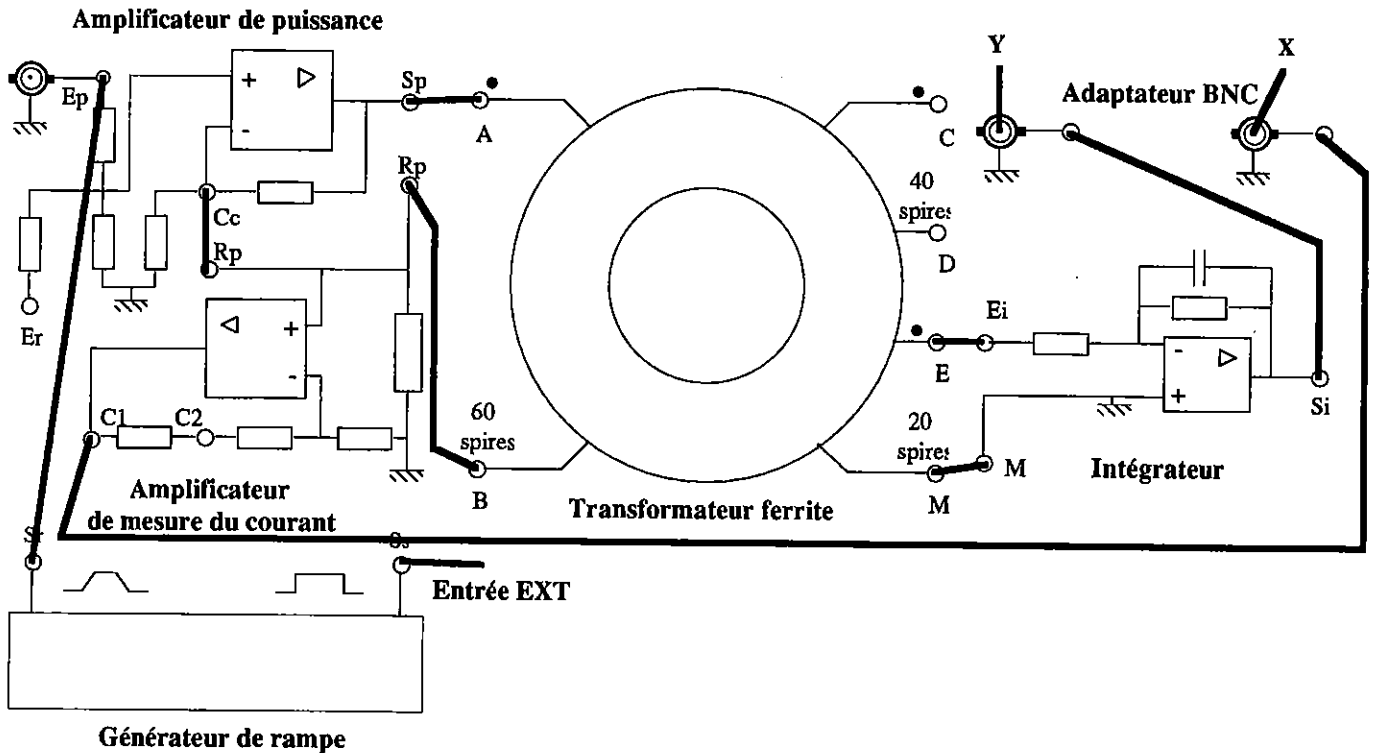
Comparer les cycles obtenus avec une commande en courant et une commande en tension.

En utilisant le GBF en wobulation, il est possible d'effectuer un balayage en fréquence. Associé à un oscilloscope à mémoire (en mode ROLL) ou à un ordinateur avec un logiciel d'acquisition et de traitement de données comme MULTISCAN, on voit l'évolution du cycle d'hystérésis en fonction de la fréquence.

I.2. COURBE DE PREMIERE AIMANTATION

Le schéma de principe reste le même.

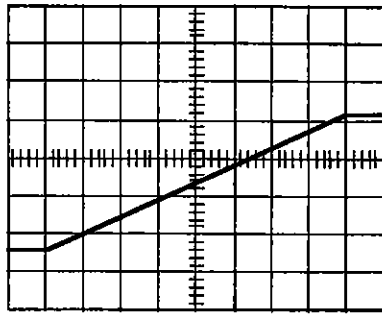
Le montage précédent est complété en associant le générateur de rampe à la commande comme l'indique le montage ci- après :



Placer l'oscilloscope en synchronisation externe. Relier la borne S_s à l'entrée synchronisation extérieure de l'oscilloscope (EXT). Sélectionner le mode découpé (CHOP). Le GBF sera branché en E_p à chaque fois qu'il faudra démagnétiser le circuit magnétique.

Le niveau (LEVEL) de la tension de sortie du GBF est initialement réglé à zéro.

Le générateur de rampe n'est actif qu'après action du bouton poussoir. Par quelques tentatives, trouver une vitesse de balayage permettant la visualisation d'une rampe de courant analogue à celle représentée ci-après :

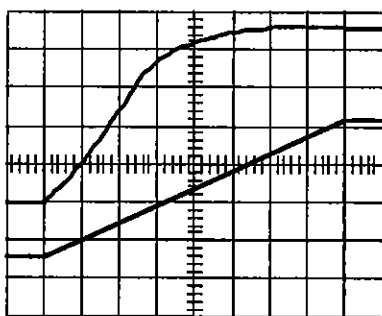


Le GBF est utilisé pour démagnétiser le circuit magnétique. Choisir par exemple une fréquence de 100 Hz. Appliquer à l'amplificateur de puissance une tension sinusoïdale d'amplitude 5 V puis diminuer lentement et progressivement l'amplitude de cette tension jusqu'à un niveau nul.

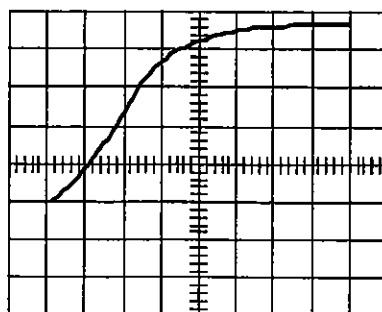
L'ensemble est alors prêt pour un tracé de la courbe de première aimantation.

Les réglages de l'oscilloscope étant faits, actionner le bouton poussoir du générateur de rampe.

On obtient les oscillogrammes qui ont l'allure suivante :



Choisir une visualisation en XY, on obtient alors une image de la courbe de première aimantation analogue à celle représentée ci-après :



II. TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FER

III. CYCLE D'HYSTERESIS

On utilise le transformateur à noyau de fer :

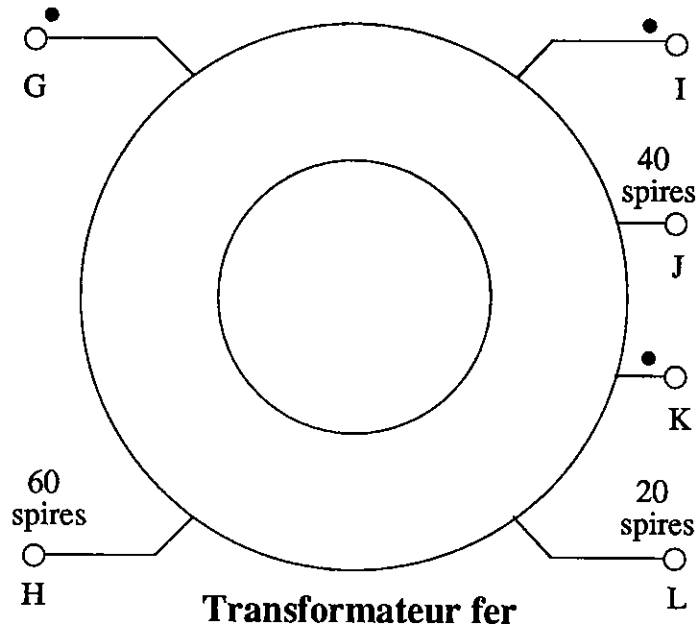
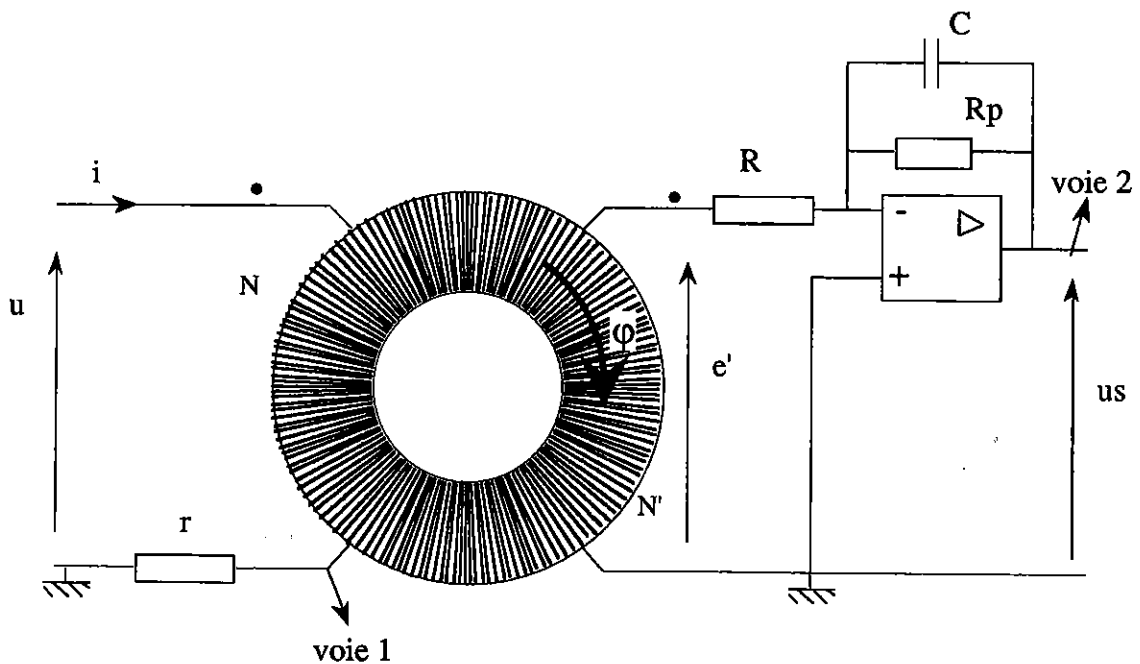


Schéma de principe



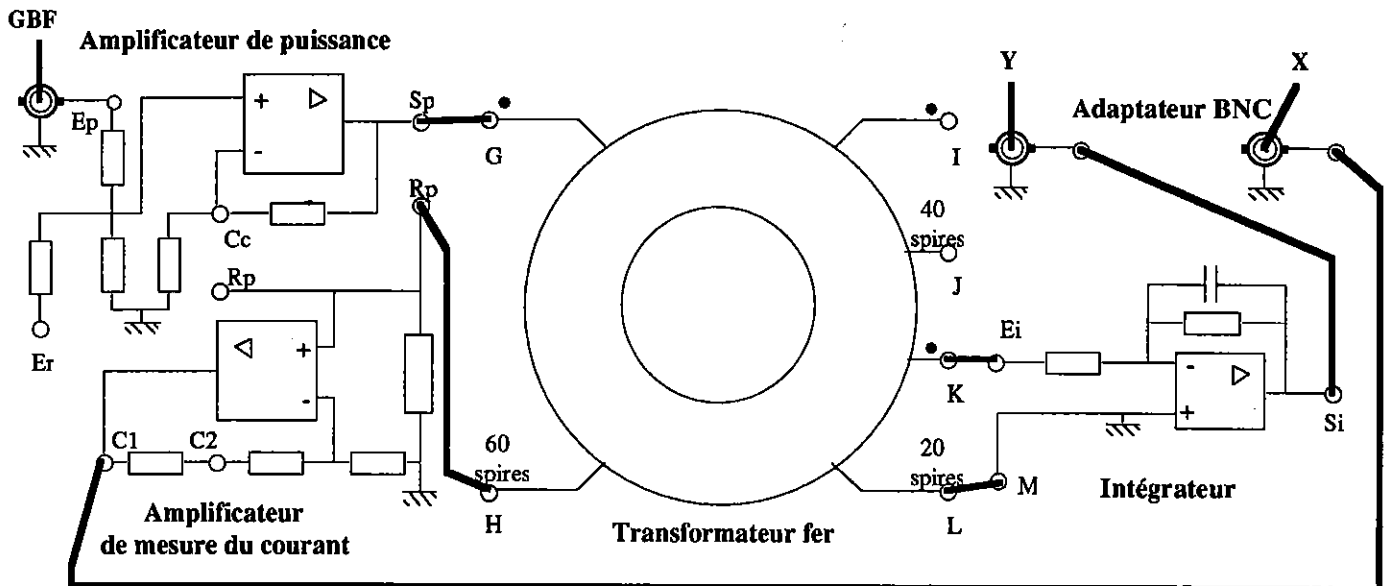
Il est identique à celui décrit lors de l'étude du circuit à noyau de ferrite.

Sur la voie 1 de l'oscilloscope, on visualise les images de i et de h .

Sur la voie 2 de l'oscilloscope, on visualise les images de φ et de b .

Montage

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



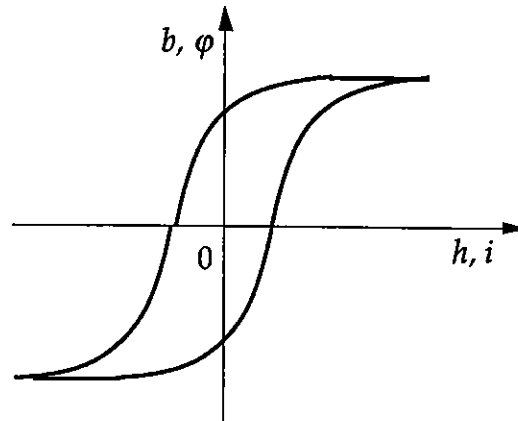
Alimenter l'amplificateur de puissance, à partir d'un G.B.F. délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude 1 V et de fréquence 50 Hz.

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 celles dans le circuit magnétique à noyau de ferrite (les dimensions des circuits magnétiques sont les mêmes). Que faut-il faire quant à la fréquence et à l'amplitude de la tension d'alimentation pour que cette comparaison ait un sens ?

Augmenter la fréquence de la tension délivrée par le GBF.

A partir de quelle fréquence le circuit magnétique ne se sature plus et que le cycle d'hystérésis 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 :

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

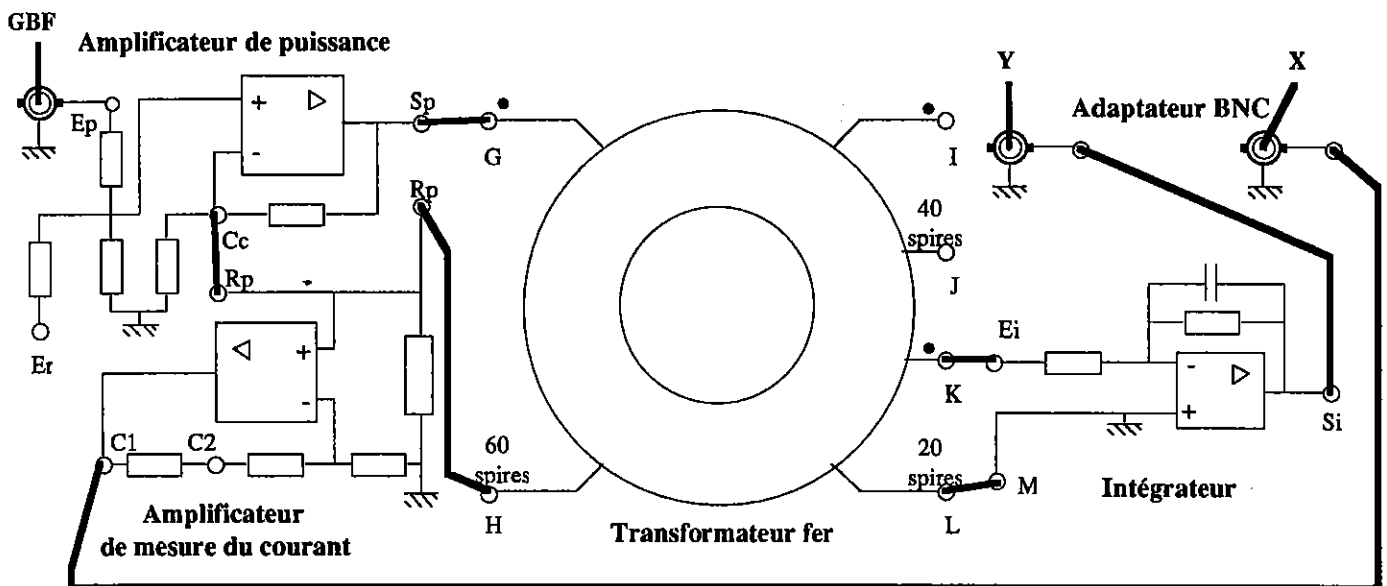
Prévoir la forme de l'intensité du courant primaire ainsi que celle de la tension à ses bornes (à vérifier expérimentalement).

Le circuit fonctionne-t-il alors en régime linéaire ?

Rappeler l'expression des pertes dans le fer d'un transformateur. Cette expression fait apparaître les grandeurs f et B . Expliquer pourquoi, à tension efficace

constante, les pertes dans fer diminuent lorsque la fréquence augmente.

Compléter le montage en réalisant le montage ci-après :



Un court-circuit a été placé entre Cc et Rp.

Alimenter l'amplificateur de puissance, à partir d'un G.B.F. délivrant une tension sinusoïdale de fréquence 20 Hz.

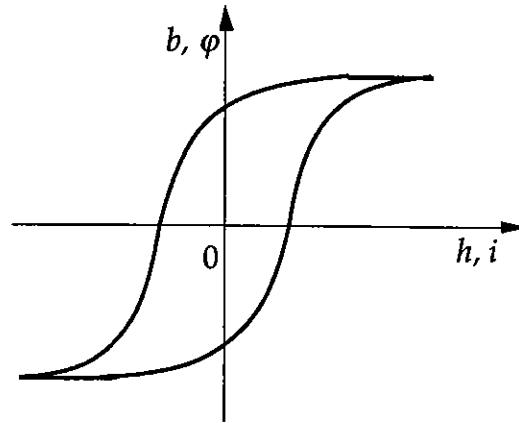
L'attaque du circuit magnétique se fait-elle en tension ou en courant ?

Quelle est la forme de la tension au primaire ?

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

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

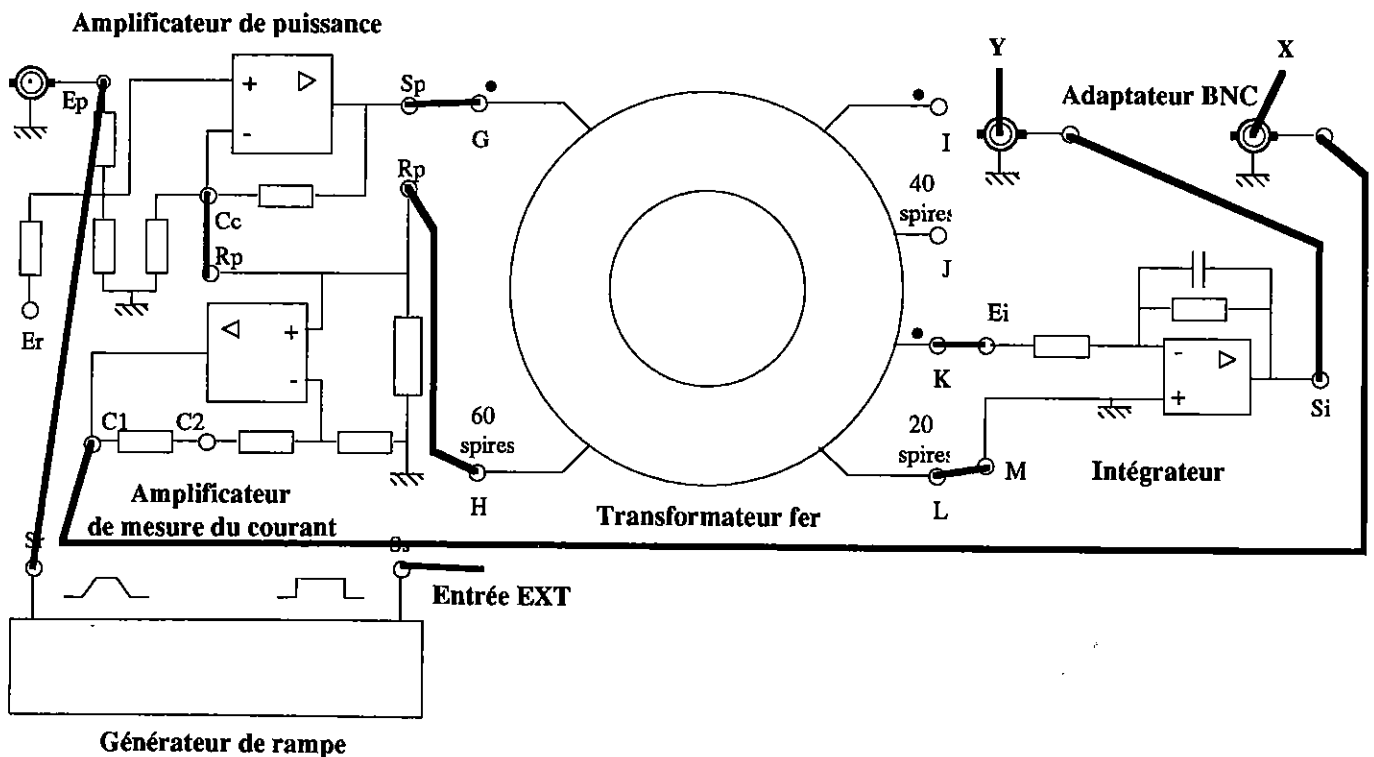
Placer l'oscilloscope en position XY afin de visualiser l'image de $b(h)$. Vérifier que l'on obtient une courbe analogue à la suivante :



Comparer les cycles obtenus avec une commande en courant et une commande en tension.

II.2. COURBE DE PREMIERE AIMANTATION

Nous reprenons le travail mené au I.2 du paragraphe précédent. Réaliser le montage suivant :

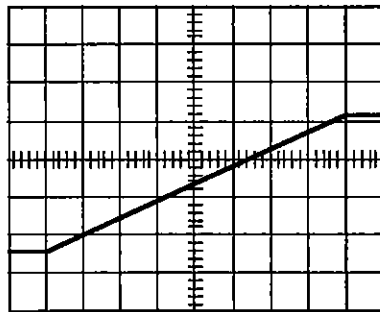


Placer l'oscilloscope en synchronisation externe. Relier la borne Ss à l'entrée synchronisation extérieure de l'oscilloscope (EXT). Sélectionner le mode découpé (CHOP). Le GBF sera branché en Ep à chaque fois qu'il faudra démagnétiser le circuit magnétique.

Choisir le déclenchement monocoup (SGL).

Le niveau (LEVEL) de la tension de sortie du GBF est initialement réglé à zéro.

Le générateur de rampe n'est actif qu'après action du bouton poussoir. Par quelques tentatives, trouver une vitesse de balayage permettant la visualisation d'une rampe de courant analogue à celle représentée ci-après :

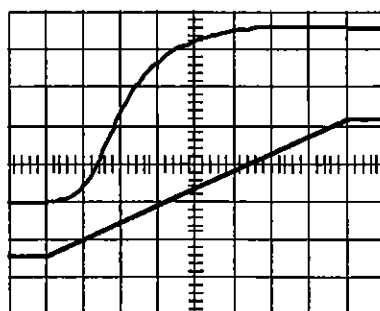


Le GBF est utilisé pour démagnétiser le circuit magnétique. Choisir par exemple une fréquence de 100 Hz. Appliquer à l'amplificateur de puissance une tension sinusoïdale d'amplitude 5 V puis diminuer lentement et progressivement l'amplitude de cette tension jusqu'à un niveau nul.

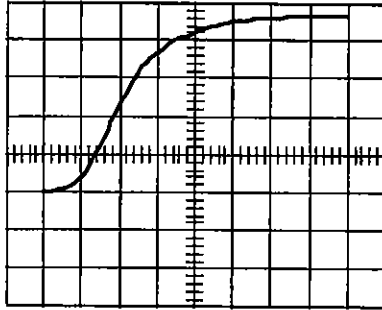
L'ensemble est alors prêt pour un tracé de la courbe de première aimantation.

Les réglages de l'oscilloscope étant faits, actionner le bouton poussoir du générateur de rampe.

On obtient les oscillogrammes qui ont l'allure suivante :



Choisir une visualisation en XY, on obtient alors une image de la courbe de première aimantation analogue à celle représentée ci-après :



C) ETUDE D'UN TRANSFORMATEUR MONOPHASE

ETUDE DU TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FER

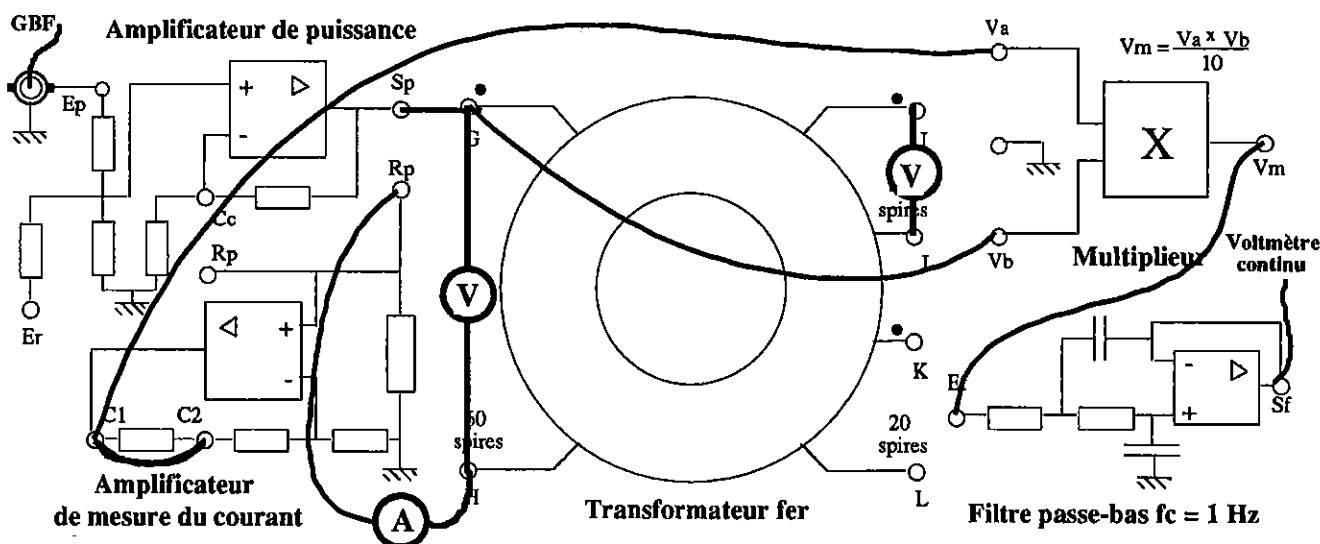
I. MESURE DES RESISTANCES DES ENROULEMENTS

Quelle est la méthode à utiliser pour la mesure des résistances R_1 et R_2 des enroulements. Donner le schéma du montage. Quelle précaution faut-il prendre ? Réaliser les mesures et donner les valeurs de R_1 et de R_2 .

II. FONCTIONNEMENT A VIDE

II. 1. MONTAGE

Réaliser le montage de la figure suivante :



II. 2. MESURES

La fréquence du GBF est réglée à 50 Hz. Relever les indications de l'ampèremètre et des voltmètres pour une tension efficace primaire U_1 variant de 0 V à 7 V. Tracer les graphes représentant $I_v(U_1)$ et $U_{2v}(U_1)$. En déduire le rapport de transformation m du transformateur et le comparer au rapport du nombre de spires au secondaire sur le nombre de spires au primaire.

Le rapport U_1/I_V représente l'impédance du transformateur vue du primaire. Est-elle constante ? Justifier la réponse.

En utilisant la tension de sortie du filtre passe-bas, on a une image de la puissance moyenne consommée par le transformateur.

Sachant que la résistance de détection du courant à une valeur de 1Ω et que l'amplificateur de mesure du courant à une amplification de 10, déterminer les pertes de fer P_f pour différentes valeurs de la tension U_1 .

Tracer le graphe représentant les variations de P_f en fonction de U_1^2 . Conclure.

II.3. ALLURE DE LA TENSION ET DE L'INTENSITE DU COURANT

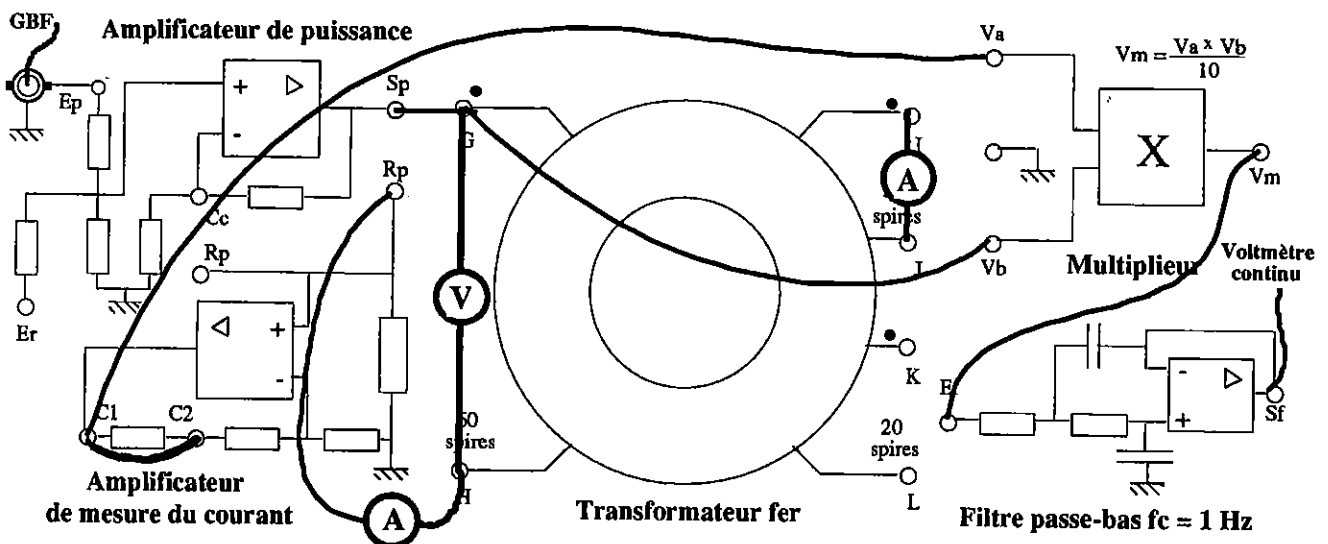
Proposer un montage permettant la visualisation simultanée, à l'oscilloscope, de l'intensité instantanée i_1 et de la tension instantanée u_1 au primaire

Effectuer un relevé de ces grandeurs électriques et commenter les courbes.

III. FONCTIONNEMENT EN COURT CIRCUIT

III. 1. MONTAGE

Soit le montage de la figure ci-après :



Remarque :

Pour ce montage, l'idéal serait que l'ampèremètre représenté au secondaire et qui assure le court-circuit soit un capteur de courant, ce qui permettrait d'avoir un court-circuit franc. Si l'ampèremètre a une résistance comparable ou supérieure à celle du secondaire du transformateur, l'expérience n'est pas correcte.

III. 2. MESURES

Relever les indications des appareils de mesures pour une tension efficace primaire U_1 variant de 0 V à 1 V. Tracer les graphes représentant $U_{1cc}(I_{2cc})$ et $I_{1cc}(I_{2cc})$.

En utilisant la tension de sortie du filtre passe-bas, on a une image de la puissance moyenne consommée par le transformateur.

Sachant que la résistance de détection du courant à une valeur de 1Ω et que l'amplificateur de mesure du courant à une amplification de 10, déterminer les pertes par effet Joule P_j pour différentes valeurs de I_{2cc} .

III.3. EXPLOITATION DES RESULTATS

En première approximation, un transformateur, vu du secondaire, est assimilable à un générateur de Thévenin. A partir des essais à vide et en court-circuit, déterminer les éléments E_s et Z_s (ainsi que R_s et X_s) de ce modèle.

Prédétermination de la caractéristique en charge :

A partir d'une construction vectorielle par exemple, déterminer les tensions U_2 permettant d'obtenir $I_2 = 0 \text{ A}$, $0,2 \text{ A}$, $0,4 \text{ A}$, $0,6 \text{ A}$, $0,8 \text{ A}$, 1 A pour un facteur de puissance :

- $\cos\varphi_2 = 1$ avec $U_1 = 5 \text{ V}$;
- $\cos\varphi_2 = 0,8$ (charge inductive) avec $U_1 = 5 \text{ V}$.

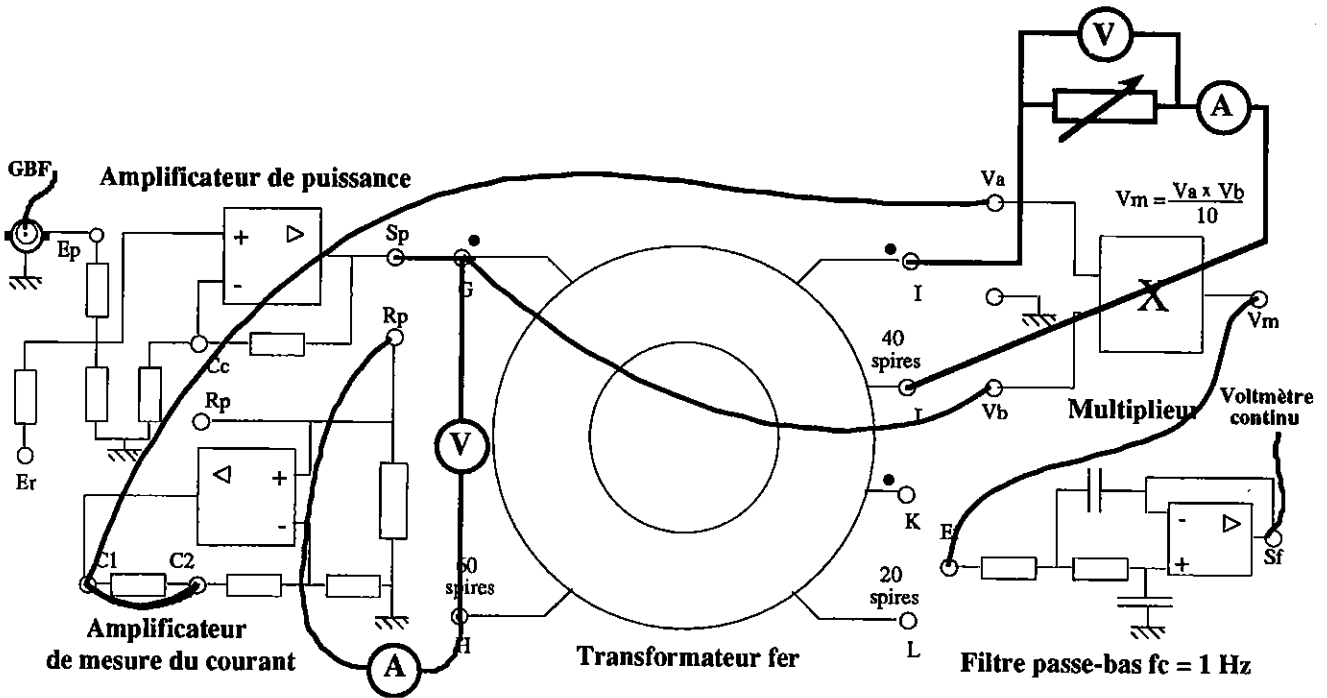
Tracer les caractéristiques $U_2(I_2)$ correspondantes.

Calculer le rendement du transformateur pour $I_2 = 0,6 \text{ A}$ et $U_1 = 5 \text{ V}$ et $\cos\varphi_2 = 1$ puis $\cos\varphi_2 = 0,8$ (charge inductive).

IV. FONCTIONNEMENT EN CHARGE

IV. 1. MONTAGE

Le montage à réaliser est celui de la figure ci-après :



IV.2. FONCTIONNEMENT SUR CHARGE RESISTIVE

a) Régler la résistance de charge et la tension U_1 à des valeurs permettant d'obtenir $U_2 = 4 \text{ V}$ et $I_2 = 0,6 \text{ A}$. Relever alors la valeur de U_1 . Comparer la valeur de U_1 obtenue à mU_1 (m rapport de transformation du transformateur).

b) Dans la suite de l'expérimentation, $U_1 = 6 \text{ V}$.

Mesurer U_2, P_2, I_1 et P_1 pour I_2 variant de 0 A à 1 A .

c) Tracer le graphe représentant $U_2(I_2)$. Correspond-il à la courbe prédéterminée dans le III.3 ? Comparer U_2 à mU_1, I_1 à mI_2 et la chute de tension $\Delta U_2 = U_{20} - U_2$ à $(R_2 + m^2 R_1)I_2$.

d) Calculer le rendement $\eta = P_2/P_1$ pour chaque valeur de I_2 . Tracer le graphe représentant $\eta(I_2)$. Pour quelle valeur de I_2 , ce rendement est-il maximal ? Comparer alors les pertes dans le fer P_f et les pertes par effet Joule P_j dans le transformateur.

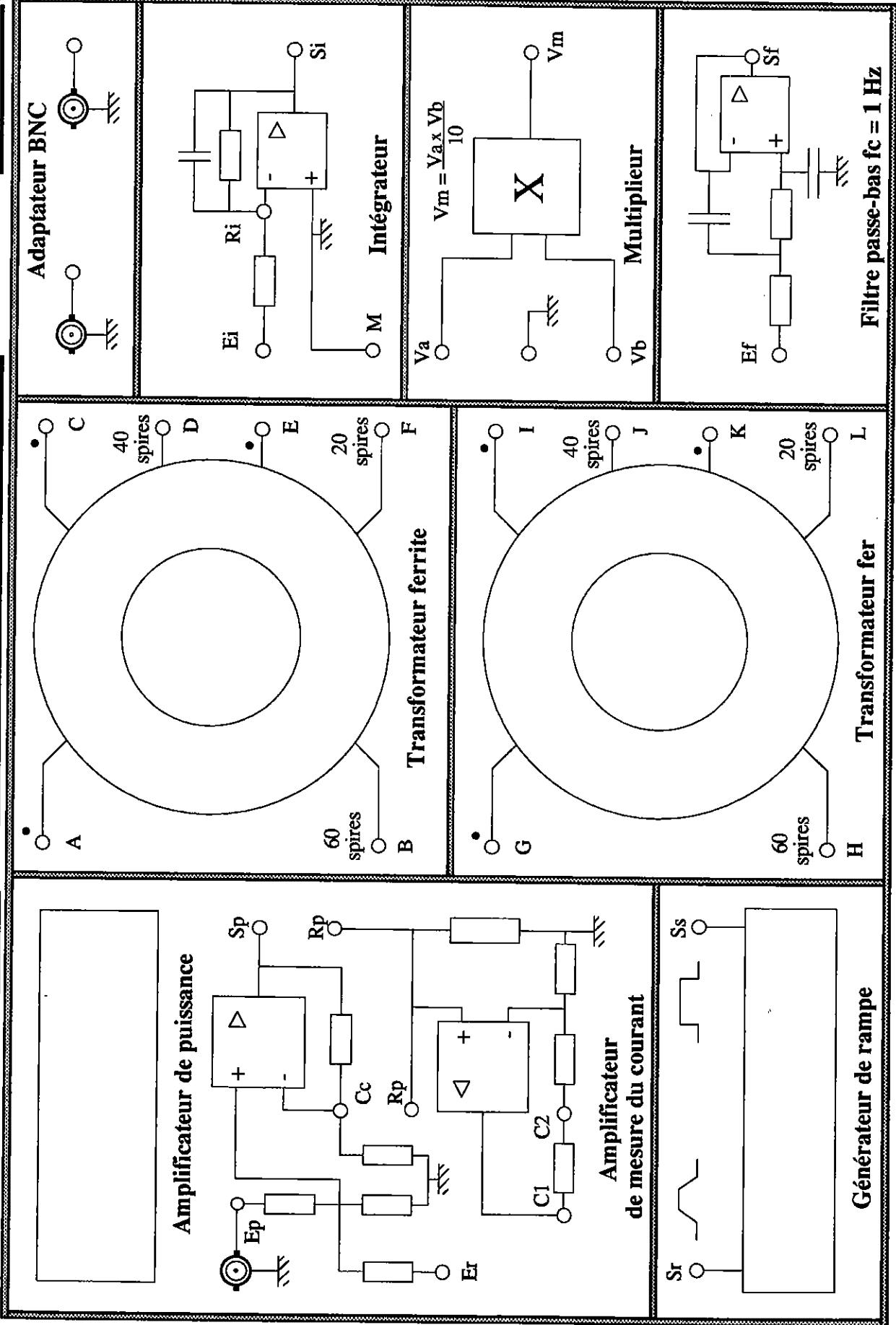
Annexe 1

Plan de la maquette TRANSFORMATEUR TORIQUE

⊖ -15 V ⊕ 0V ⊕ +15 V

Etude du transformateur torique

Ref : 3746 dms - didalab



Plan de la maquette ETUDE DU TRANSFORMATEUR TORIQUE.

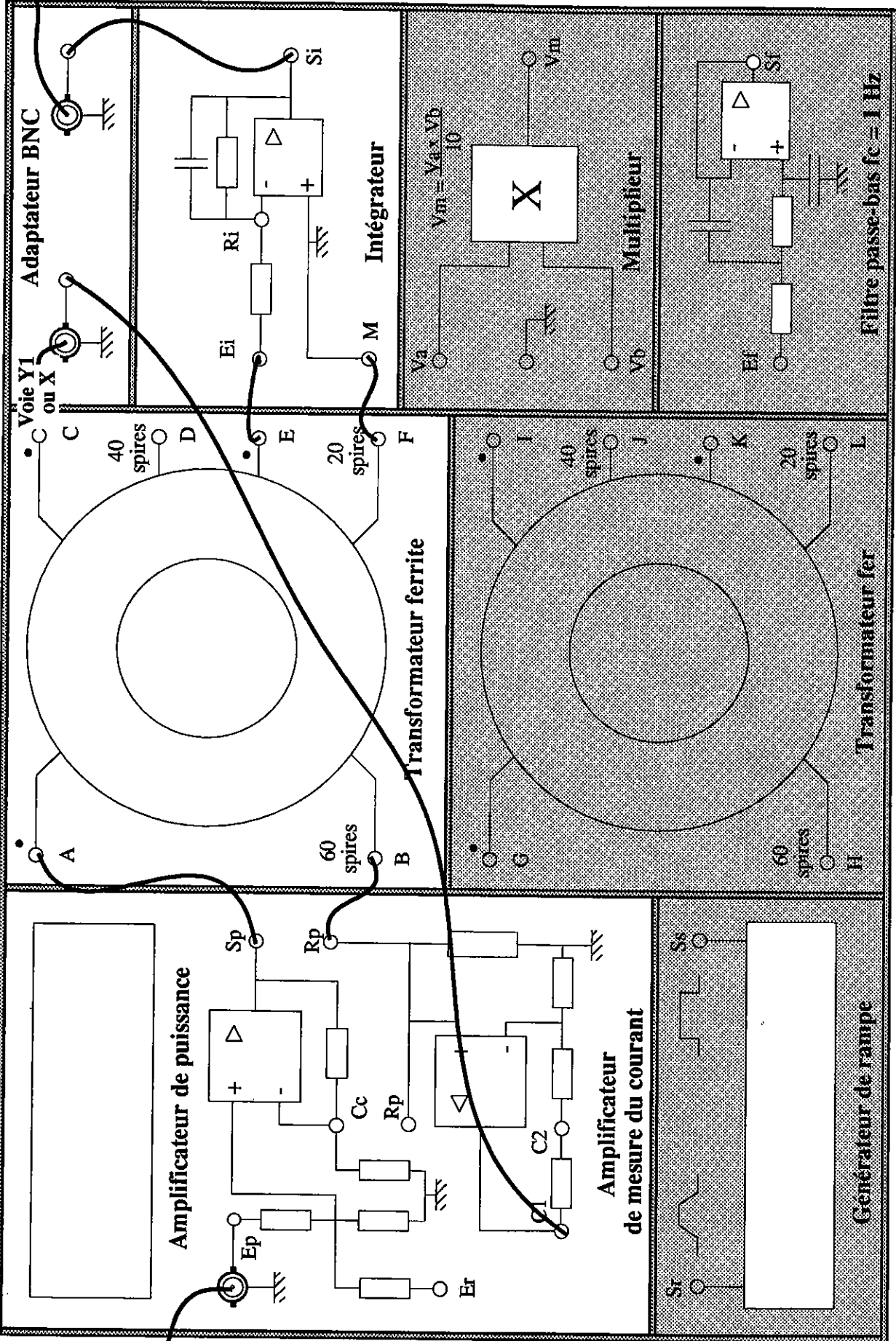
Annexe 2

**Schéma de câblage de la maquette pour
le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de ferrite
alimenté par une source de tension**

Etude du transformateur torique

Ref : 3746 dms - didalab

Voie Y2
ou Y



Tracé du cycle d'hystérésis du TRANSFORMATEUR à NOYAU DE FERRITE alimenté par une source de tension

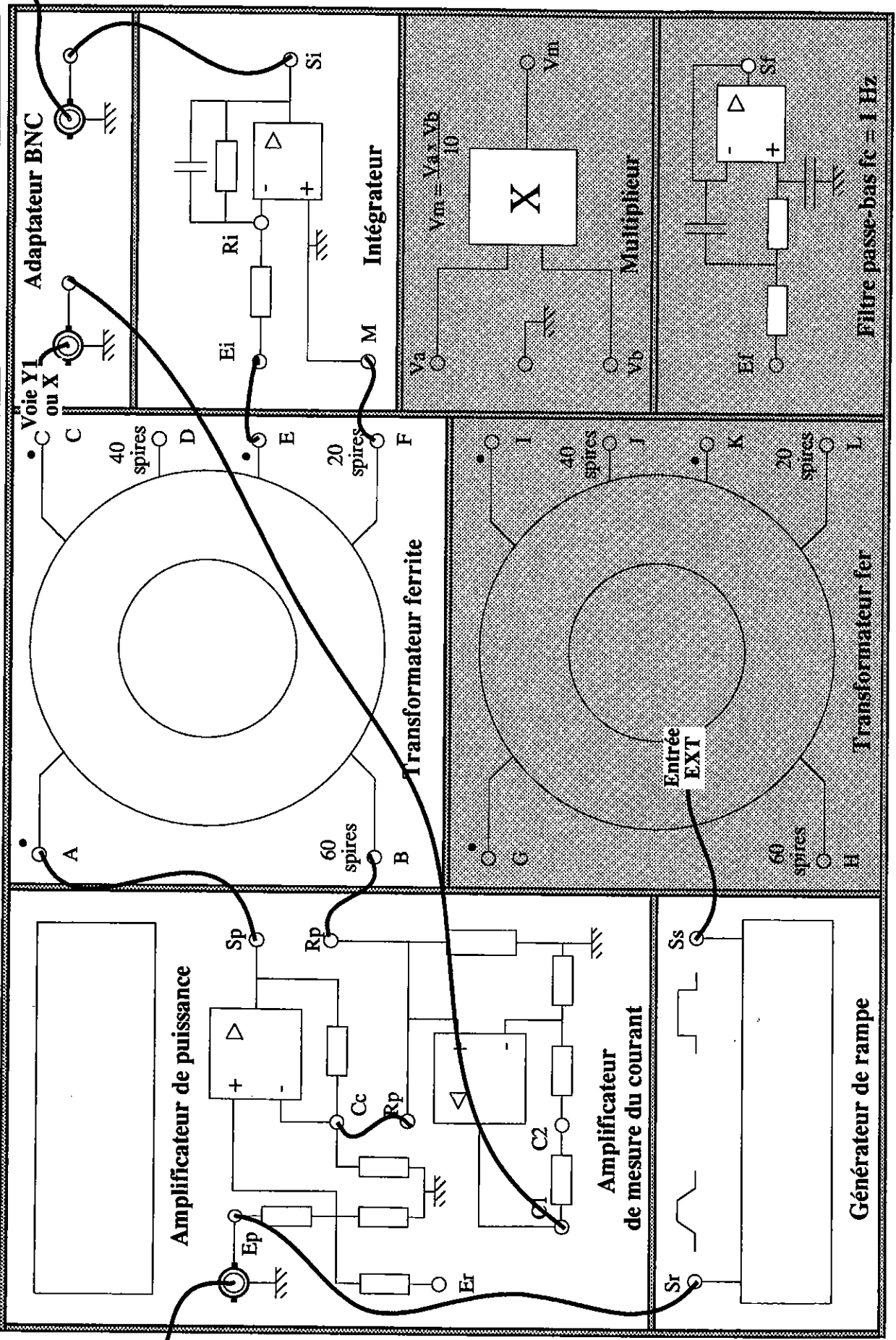
Annexe 3

**Schéma de câblage de la maquette pour
le tracé de la courbe de première aimantation
du transformateur à noyau de ferrite**

Ref: 3746 dms - didalab

Etude du transformateur torique

Voie Y2
ou Y



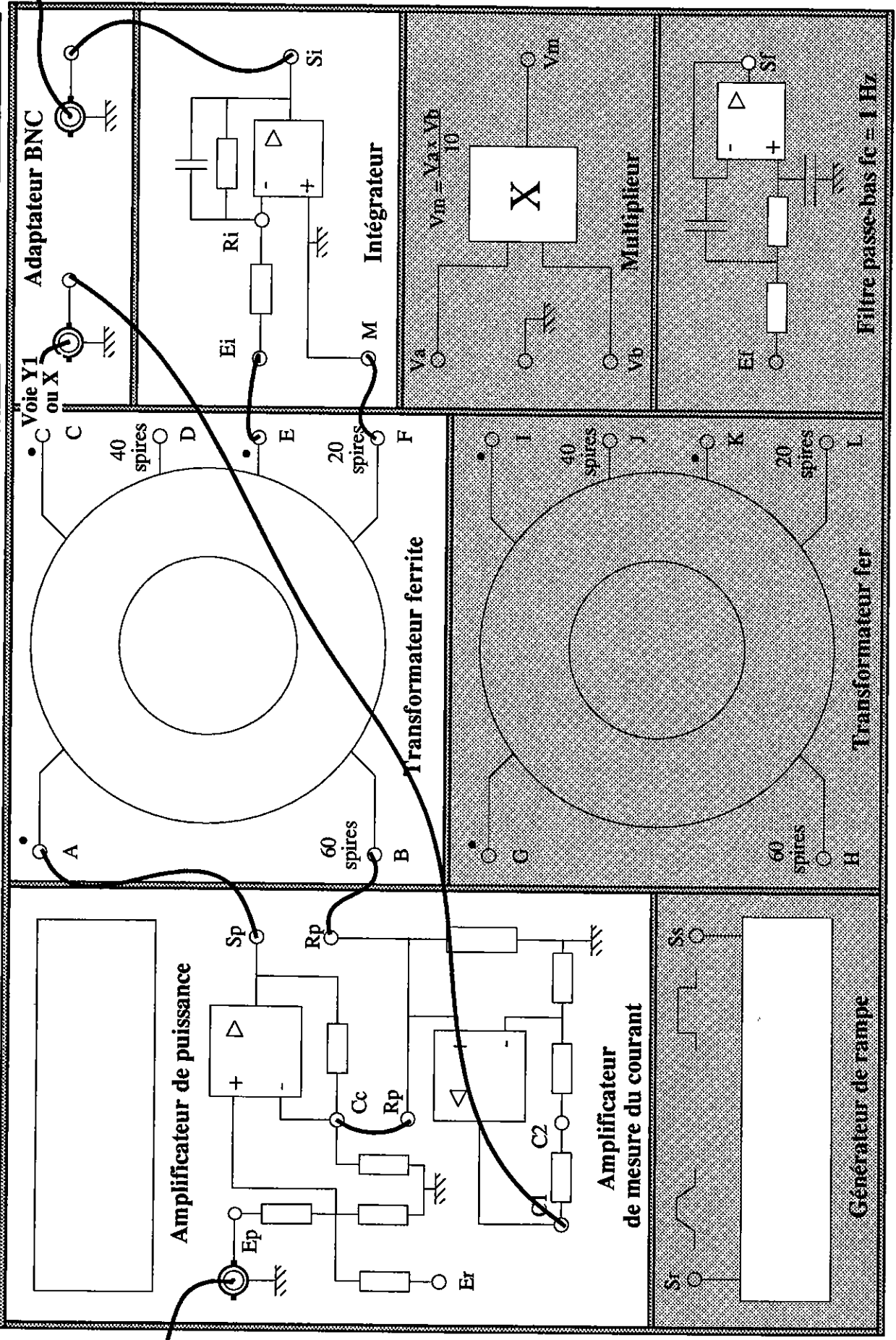
Câblage de la maquette pour le tracé de la courbe de première aimantation du TRANSFORMATEUR à NOYAU DE FERRITE

Annexe 4

**Schéma de câblage de la maquette pour
le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de ferrite
alimenté par une source de courant**

Etude du transformateur torique

Voie Y2
ou Y



-15 V 0V +15 V

GBF

Tracé du cycle d'hystérésis du TRANSFORMATEUR à NOYAU DE FERRITE alimenté par une source de courant

Annexe 5

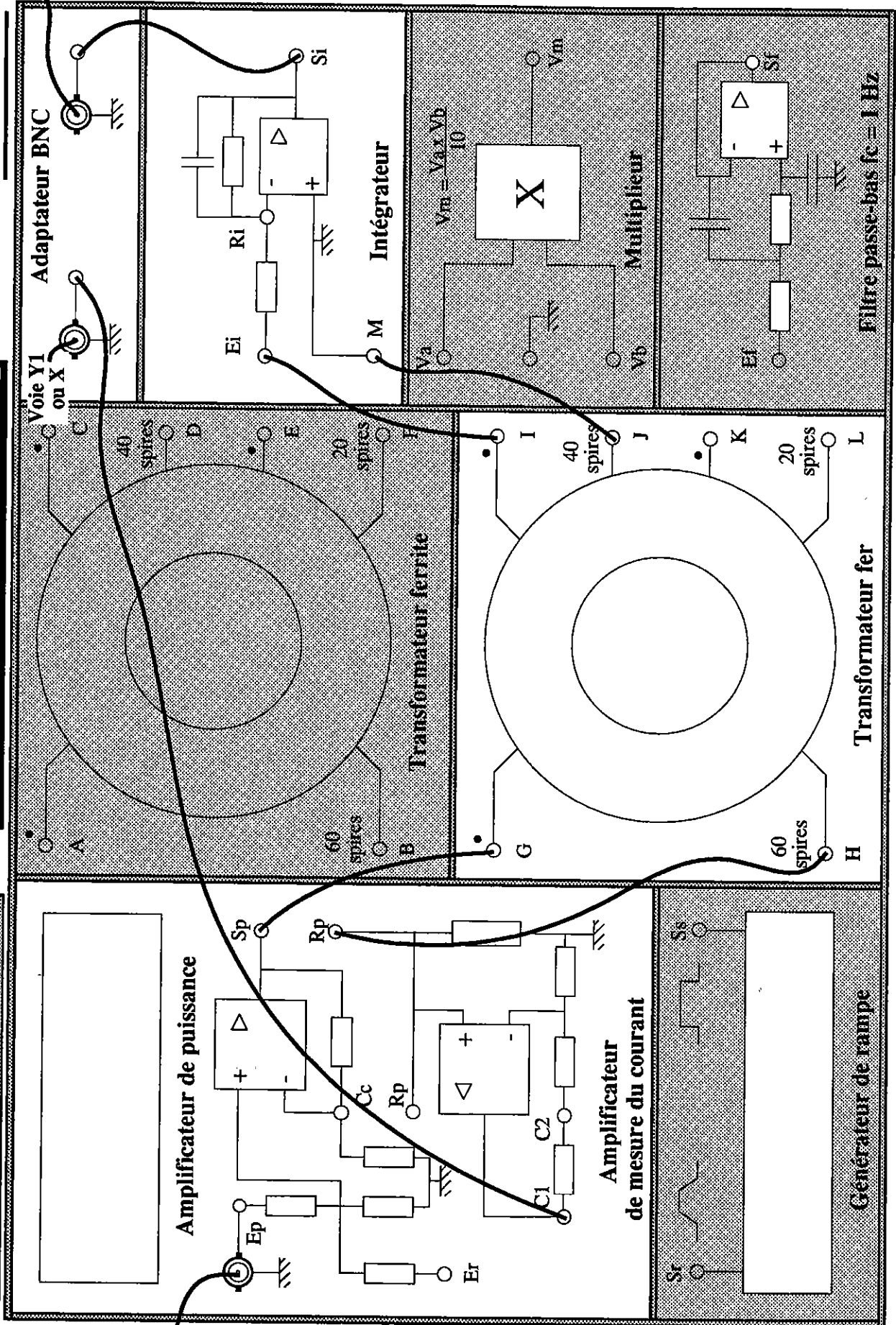
**Schéma de câblage de la maquette pour
le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de fer
alimenté par une source de tension**

-15 V 0V +15 V

Etude du transformateur torique

Ref : 3746 dms - didalab

Voie Y2
ou Y



Tracé du cycle d'hystérésis du TRANSFORMATEUR à NOYAU DE FER alimenté par une source de tension

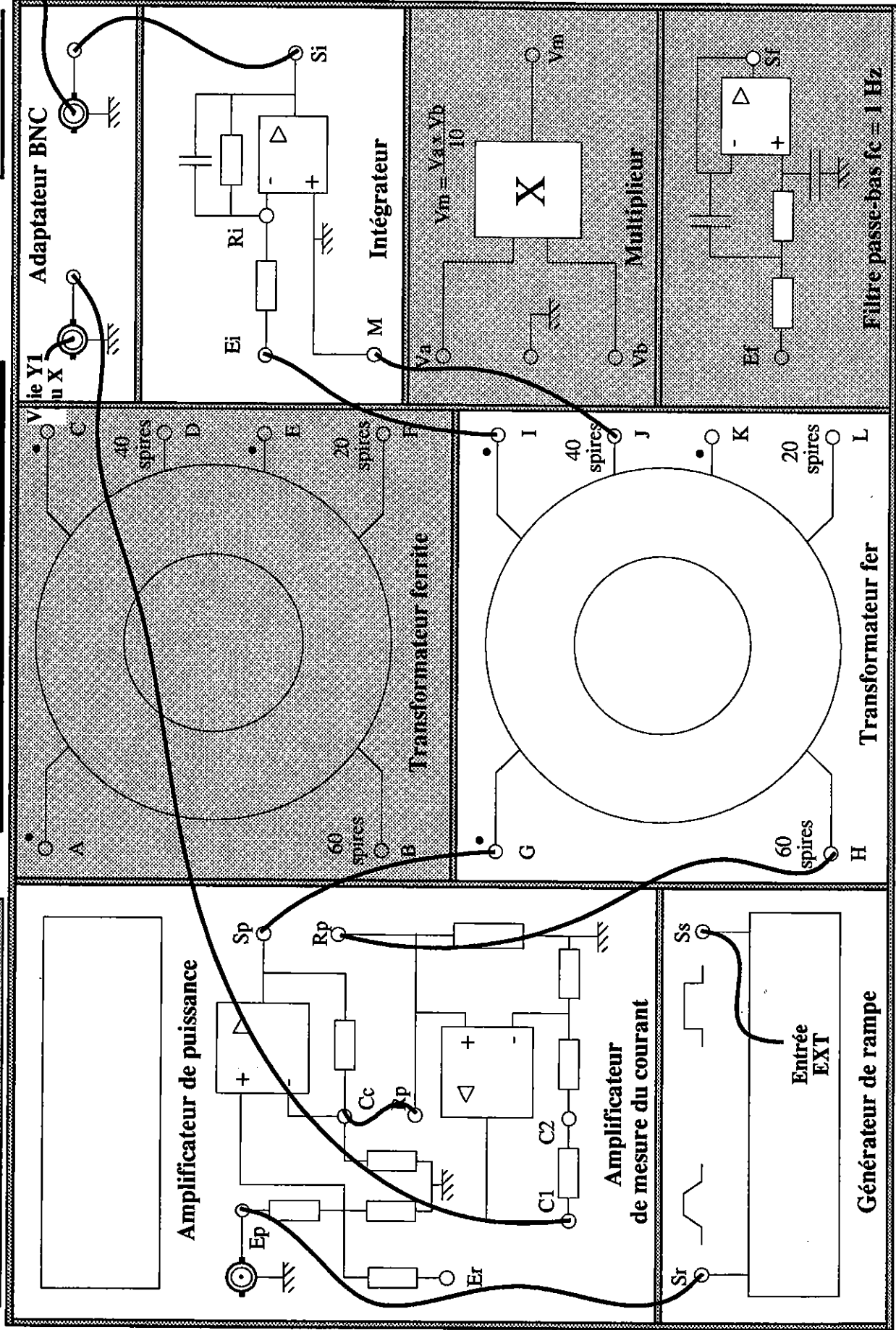
Annexe 6

**Schéma de câblage de la maquette pour
le tracé de la courbe de première aimantation
du transformateur à noyau de fer**

Etude du transformateur torique

Ref : 3746 dms - didalab

Voie Y2
ou Y



Câblage de la maquette pour le tracé de la courbe de première aimantation du TRANSFORMATEUR à NOYAU DE FER

Annexe 7

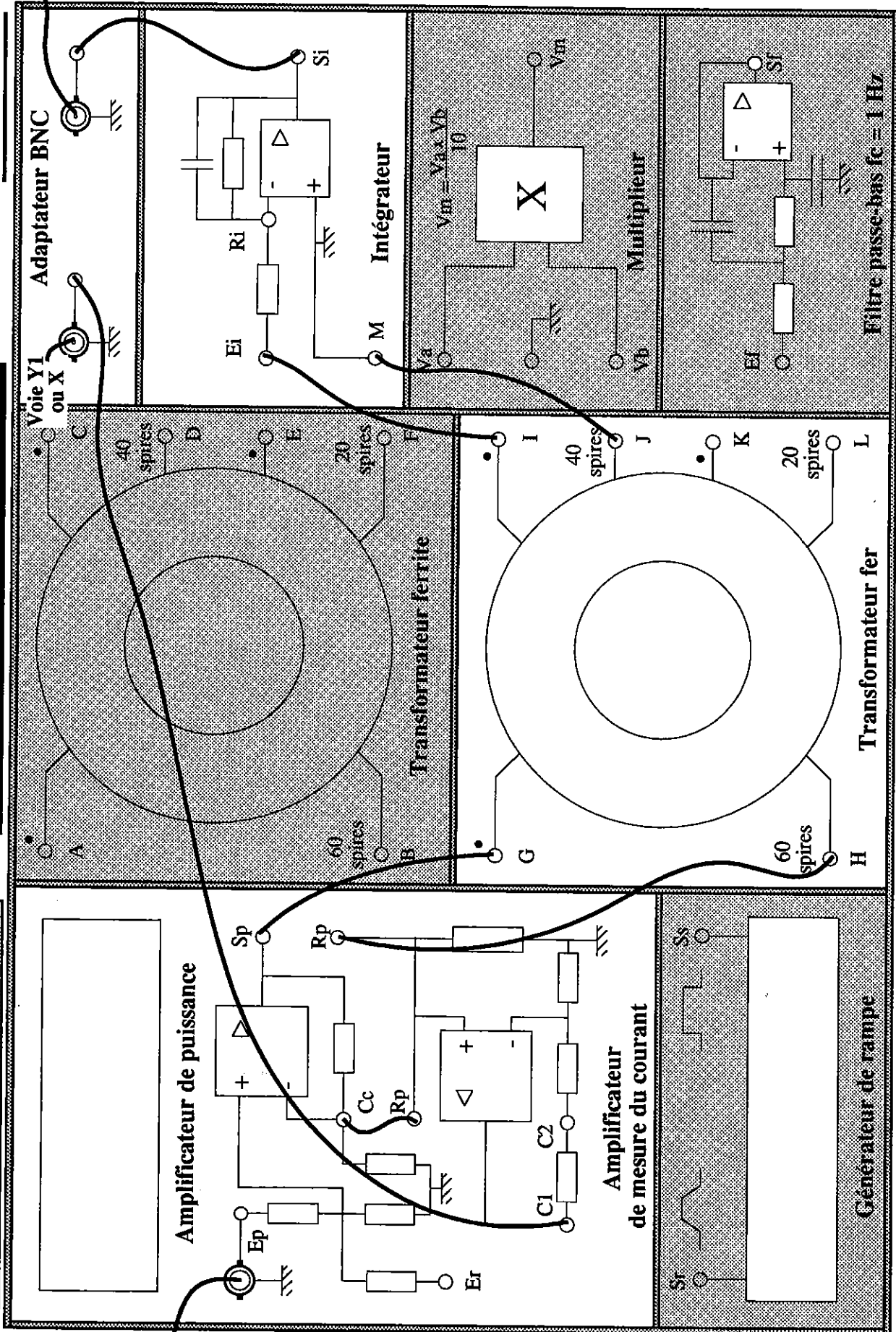
**Schéma de câblage de la maquette pour
le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de fer
alimenté par une source de courant**

-15 V 0V +15 V

Etude du transformateur torique

Ref : 3746 dms - didalab

Voie Y2
ou Y



Tracé du cycle d'hystérésis du TRANSFORMATEUR à NOYAU DE FER alimenté par une source de courant

Annexe 8

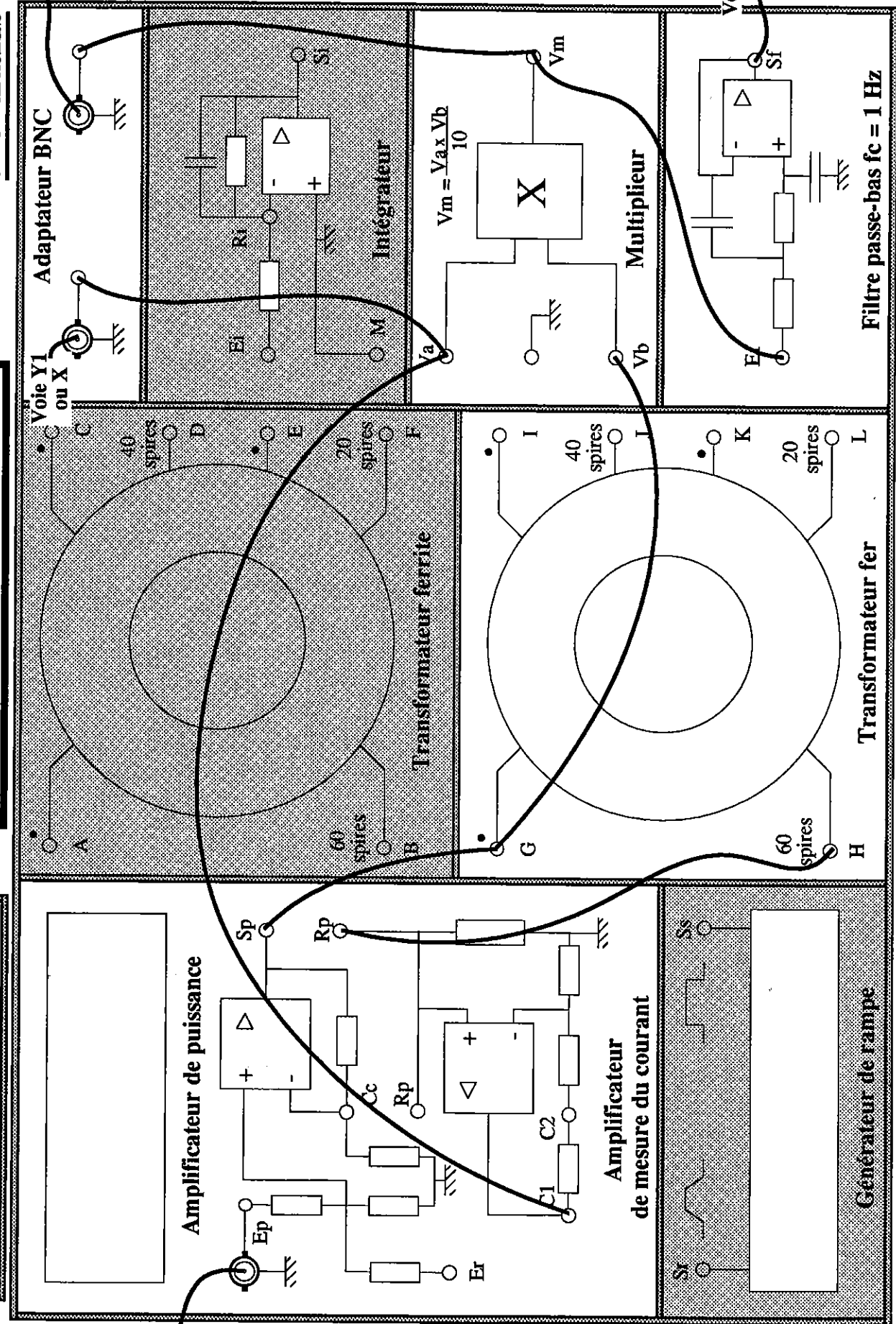
**Puissance instantanée et puissance active au primaire
d'un transformateur à noyau de fer fonctionnant à vide**

Etude du transformateur torique

Ref : 3746 dms - didalab

Voie Y2
ou Y

-15 V 0V +15 V



Voltmètre

Puissance instantanée et puissance active au primaire d'un TRANSFORMATEUR à NOYAU DE FER à vide

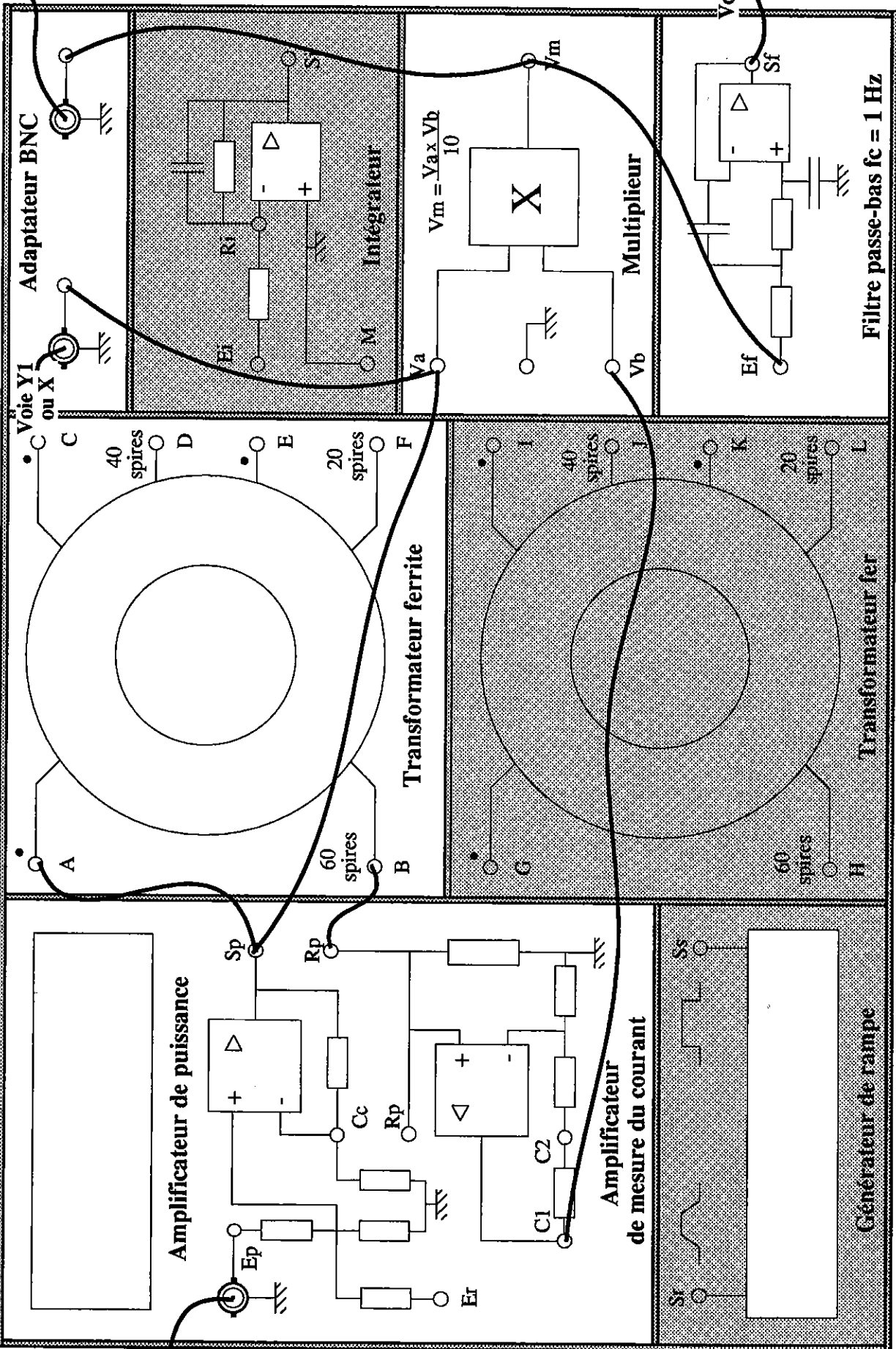
Annexe 9

**Puissance instantanée et puissance active au primaire
d'un transformateur à noyau de ferrite fonctionnant à vide**

Etude du transformateur torique

Ref : 3746 dms - didalab

Voie Y2
ou Y



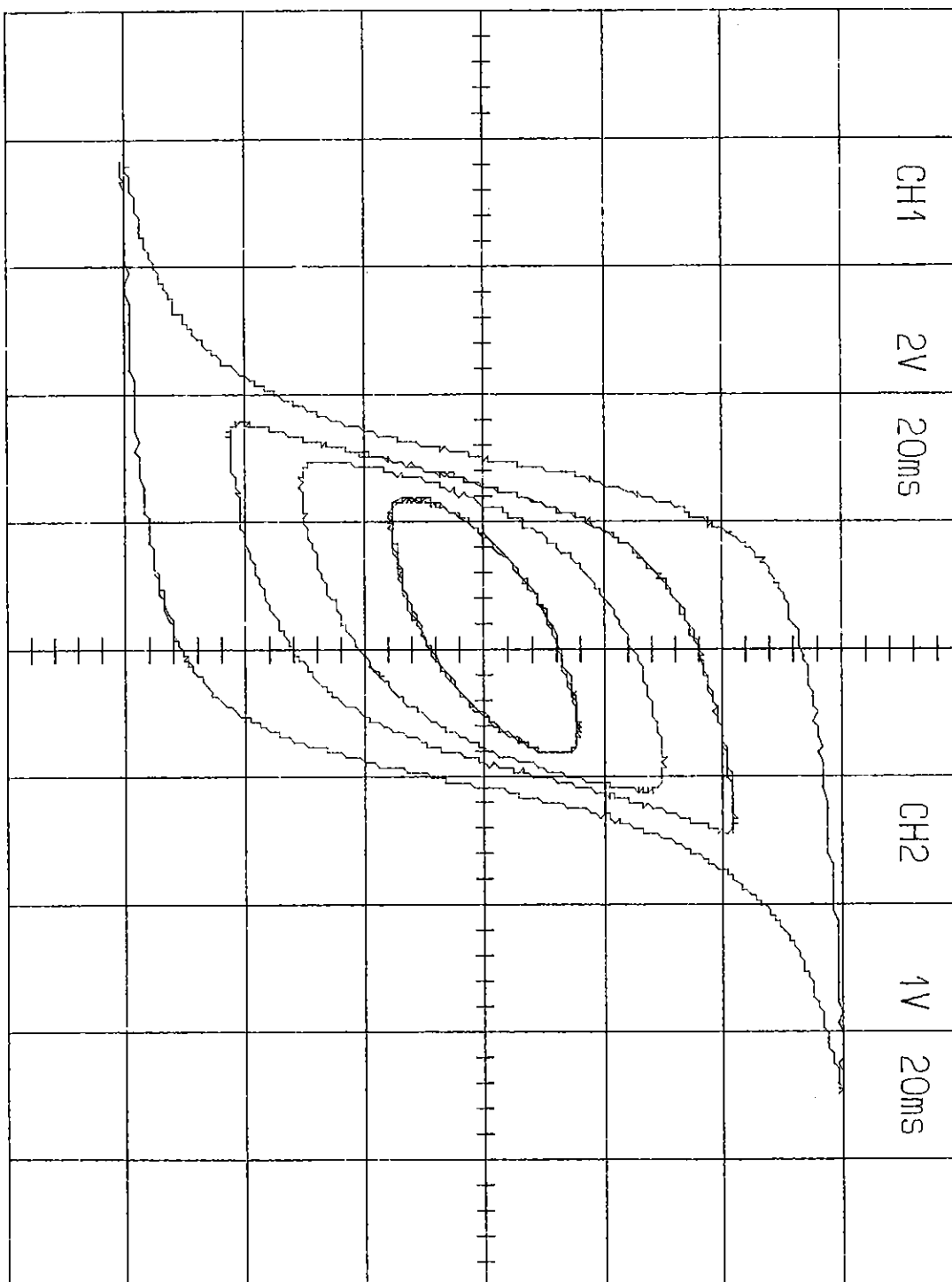
GBF

Puissance instantanée et puissance active au primaire d'un TRANSFORMATEUR à NOYAU DE FERRITE à vide

Annexe 10

**Exemples de relevés de cycles d'hystérésis
du transformateur à noyau de fer alimentés avec une commande en tension
sinusoïdale pour cinq fréquences différentes :
7,5 Hz - 10 Hz - 15 Hz - 30 Hz**

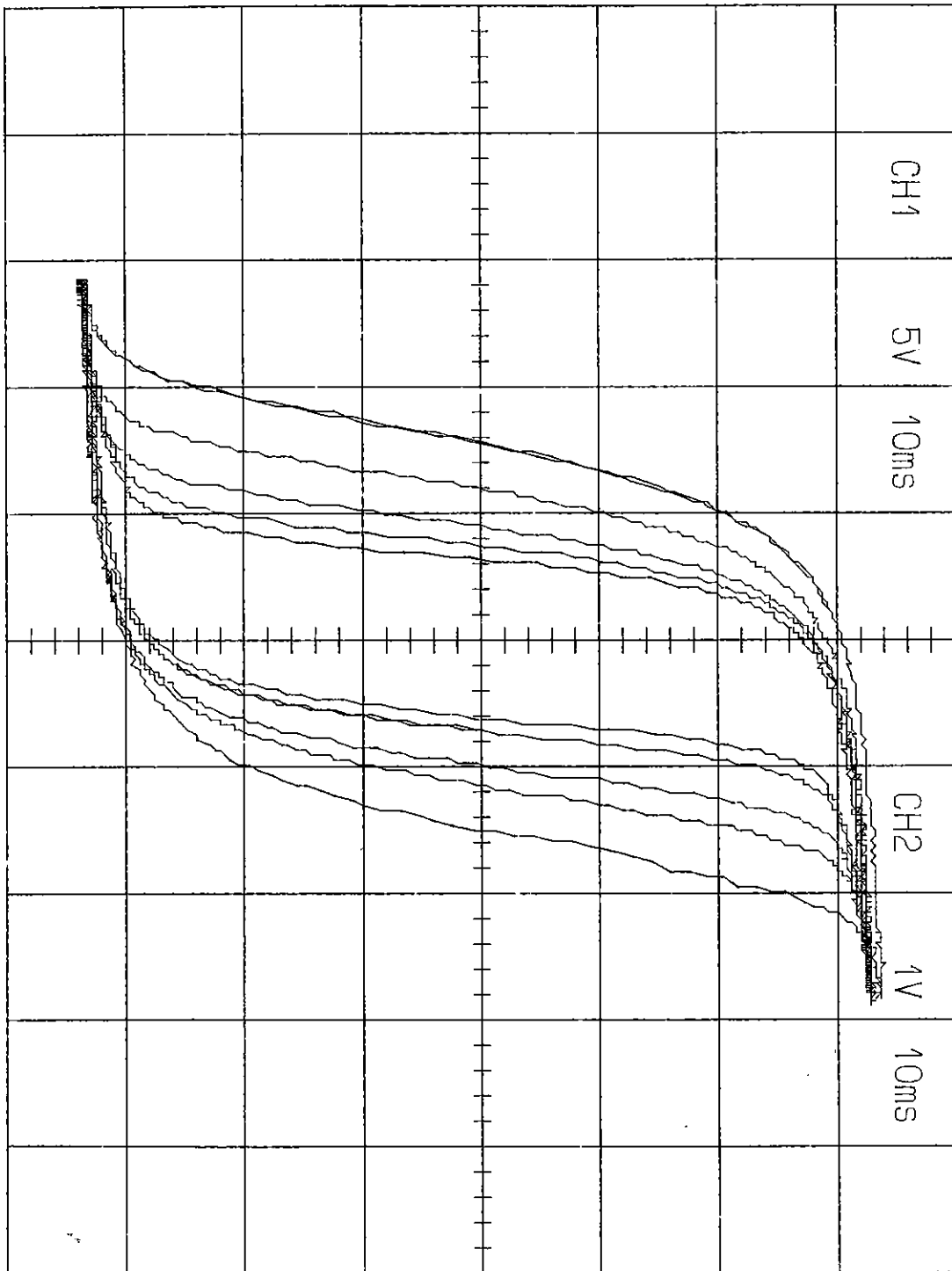
Fréquences d'utilisation : 7,5 Hz - 10 Hz - 15 Hz - 30 Hz



Annexe 11

**Exemples de relevés de cycles d'hystérésis
du transformateur à noyau de fer alimentés avec une commande en courant
sinusoïdal pour cinq fréquences différentes :
1 Hz - 2 Hz - 5 Hz - 10 Hz - 20 Hz**

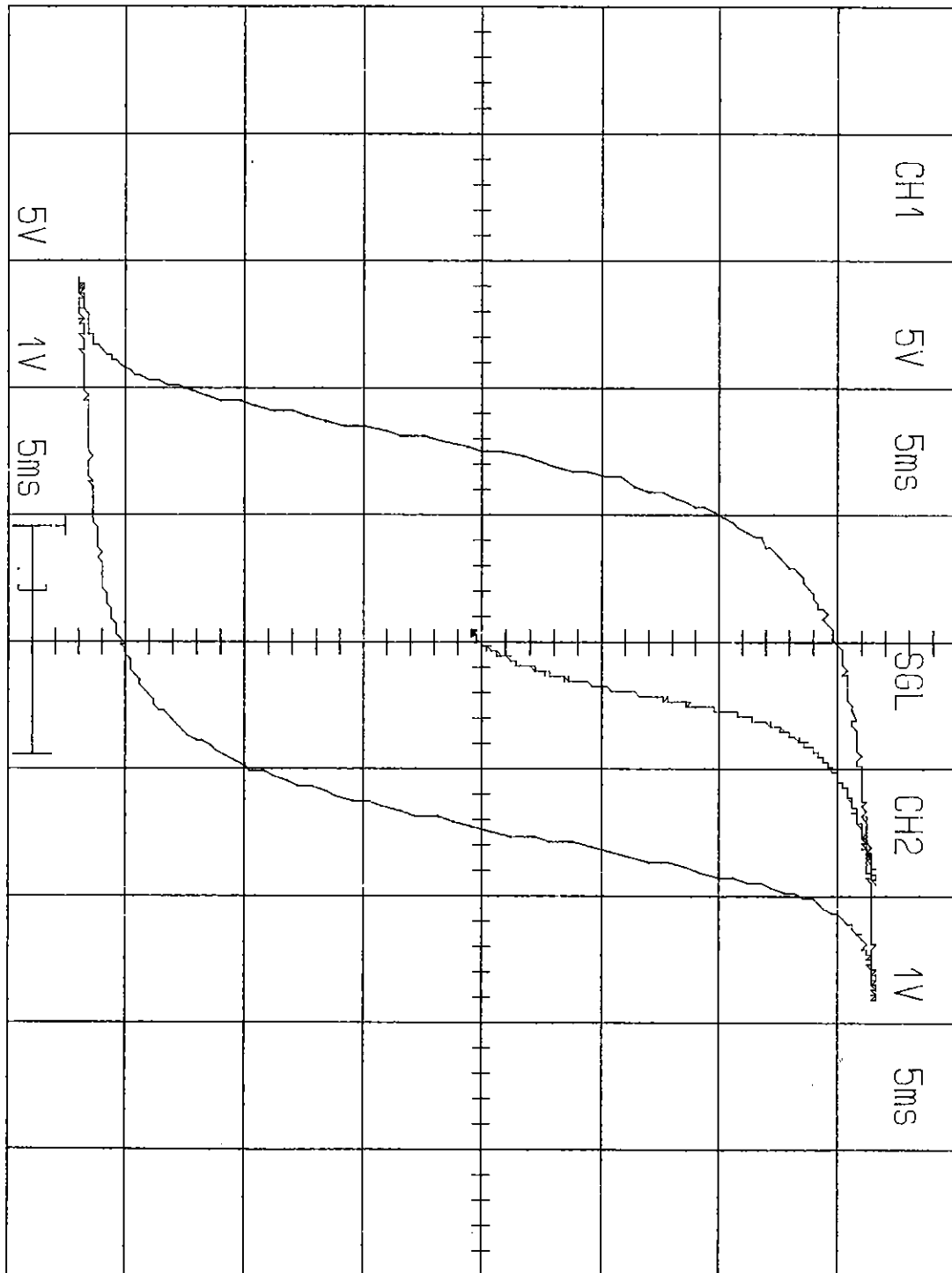
Fréquences d'utilisation : 1 Hz - 2 Hz - 5 Hz - 10 Hz - 20 Hz



Annexe 12

**Exemple de relevés d'un cycle d'hystérésis (à 20 Hz)
et de courbe de première aimantation du transformateur à noyau de fer
alimentés avec une commande en courant sinusoïdal**

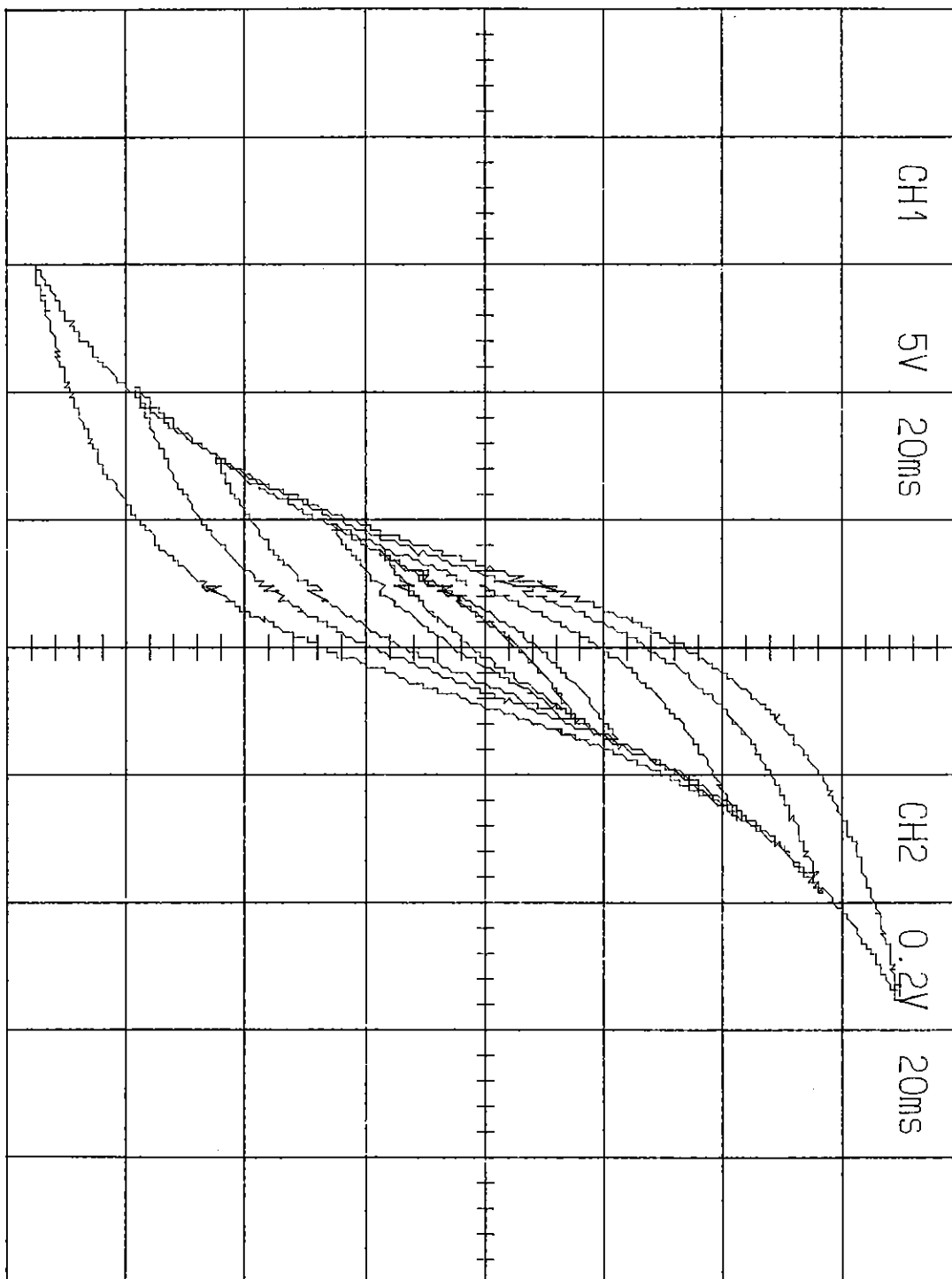
Fréquence de 20 Hz pour le tracé du cycle d'hystérésis



Annexe 13

**Exemples de relevés de cycles d'hystérésis
du transformateur à noyau de ferrite alimentés avec une commande en
tension sinusoïdale pour cinq fréquences différentes :
5 Hz - 7,5 Hz - 10 Hz - 20 Hz - 30 Hz**

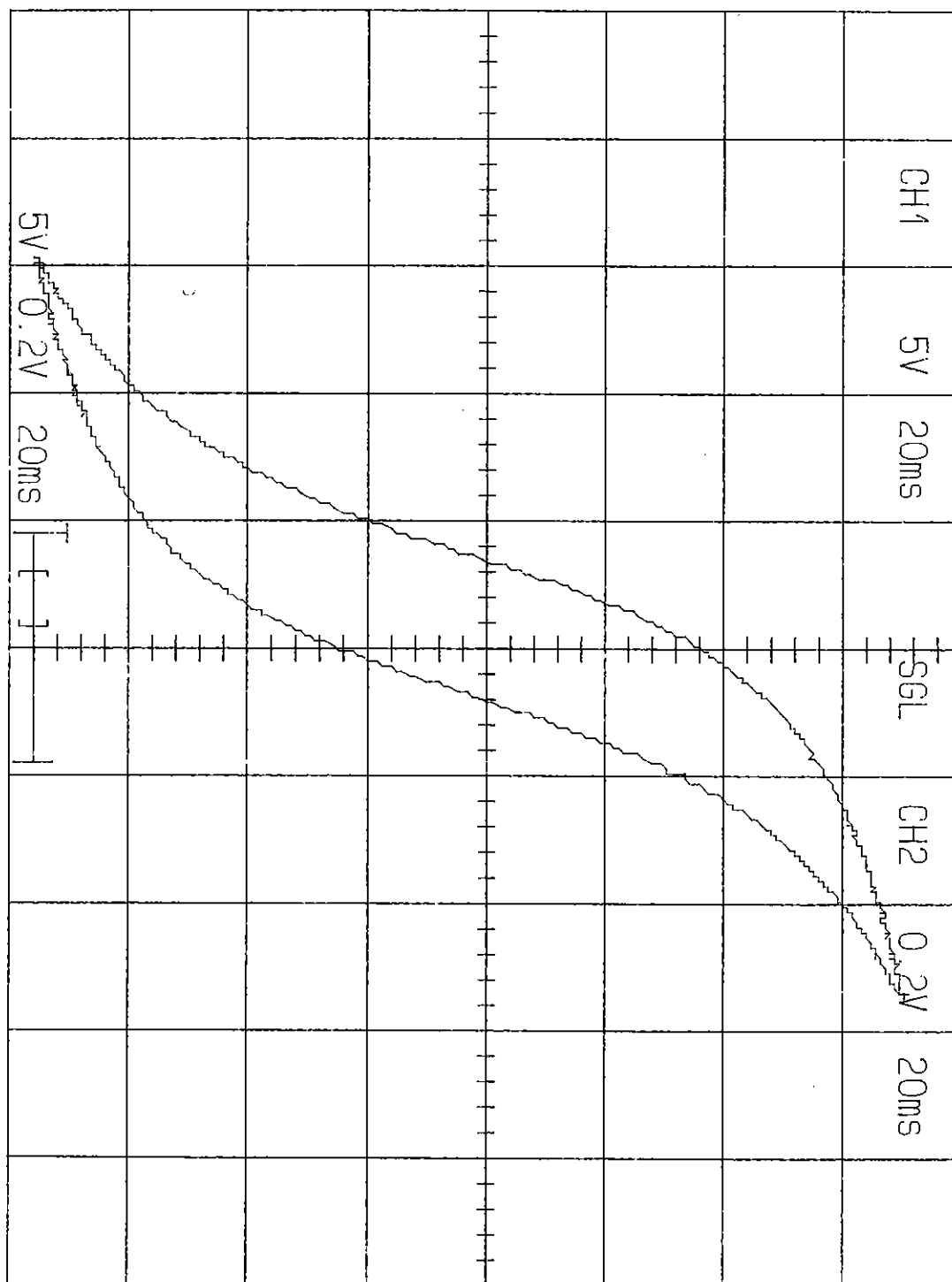
Fréquences d'utilisation : 5 Hz - 7,5 Hz - 10 Hz - 20 Hz - 30 Hz



Annexe 14

**Exemples de relevés de cycles d'hystérésis
du transformateur à noyau de ferrite alimentés avec une commande en
courant sinusoïdal pour trois fréquences différentes :
10 Hz - 20 Hz - 30 Hz**

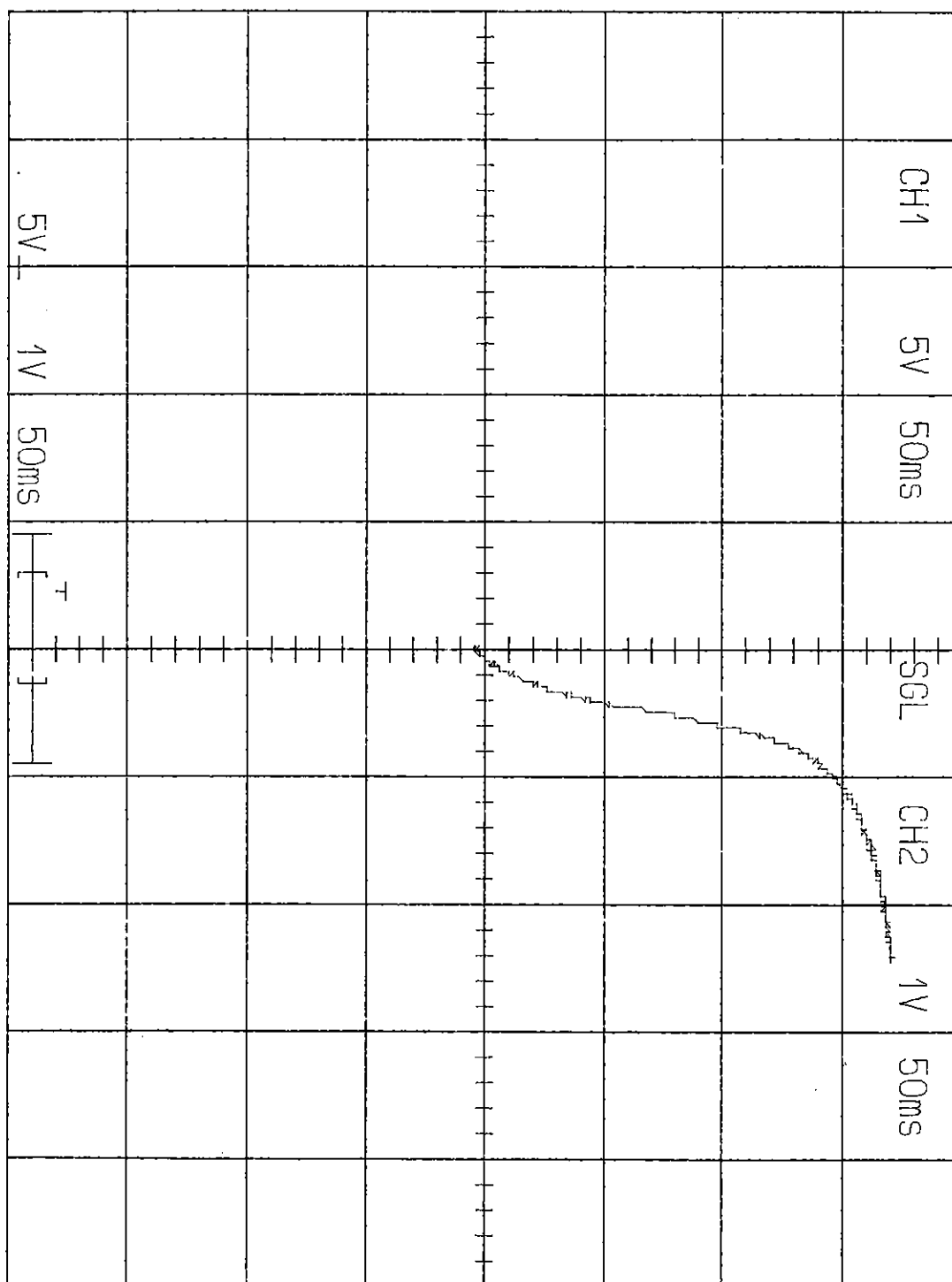
Fréquences d'utilisation : 10 Hz - 20 Hz - 30 Hz



Annexe 15

Courbe de première aimantation du transformateur à noyau de fer

Courbe de première aimantation du transformateur à noyau de fer



Sommaire

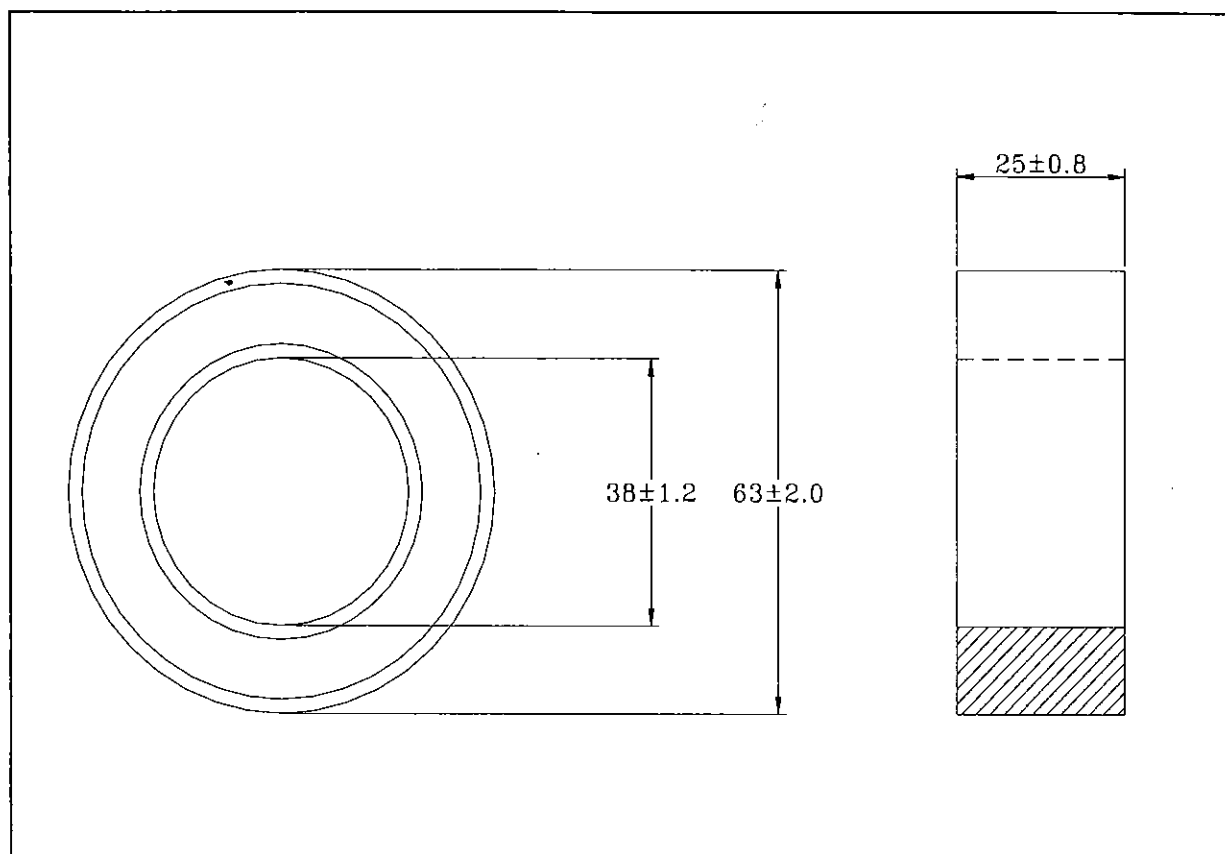
TRANSFORMATEURS TORIQUES

A) PRESENTATION DE LA MAQUETTE	p.1
Amplificateur de puissance	p.1
Amplificateur de mesure du courant	p.4
Générateur de rampe	p.4
Transformateur de ferrite	p.5
Transformateur de fer	p.6
Intégrateur	p.7
Multiplieur	p.8
Filtre passe bas	p.11
B) MAGNETISATION D'UN CIRCUIT MAGNETIQUE	p.15
I. TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FERRITE	p.15
I.1. CYCLE D'HYSTERESIS	p.15
I.2. COURBE DE PREMIERE AIMANTATION	p.20
II. TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FER	p.22
II.1. CYCLE D'HYSTERESIS	p.22
II.2. COURBE DE PREMIERE AIMANTATION	p.26
C) ETUDE D'UN TRANSFORMATEUR MONOPHASE	p.29
I. MESURE DES RESISTANCES DES ENROULEMENTS	p.29
II. FONCTIONNEMENT A VIDE	p.29
II. 1. MONTAGE	p.29
II. 2. MESURES	p.29
II.3. ALLURE DE LA TENSION ET DE L'INTENSITE DU COURANT	p.30
III. FONCTIONNEMENT EN COURT CIRCUIT	p.30
III. 1. MONTAGE	p.30
III. 2. MESURES	p.31
III.3. EXPLOITATION DES RESULTATS	p.31
IV. FONCTIONNEMENT EN CHARGE	p.32
IV. 1. MONTAGE	p.32
IV.2. FONCTIONNEMENT SUR CHARGE RESISTIVE	p.32

ANNEXE 1 : Plan de la maquette	p.33
ANNEXE 2 : Câblage de la maquette pour le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de ferrite alimenté par une source de tension	p.35
ANNEXE 3 : Câblage de la maquette pour le tracé de la courbe de première aimantation du transformateur à noyau de ferrite	p.37
ANNEXE 4 : Câblage de la maquette pour le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de ferrite alimenté par une source de courant	p.39
ANNEXE 5 : Câblage de la maquette pour le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de fer alimenté par une source de tension	p.41
ANNEXE 6 : Câblage de la maquette pour le tracé de la courbe de première aimantation du transformateur à noyau de fer	p.43
ANNEXE 7 : Câblage de la maquette pour le tracé du cycle d'hystérésis du transformateur à noyau de fer alimenté par une source de courant	p.45
ANNEXE 8 : Câblage de la maquette pour la mesure des puissances instantanée et active d'un transformateur à noyau de fer fonctionnant à vide	p.47
ANNEXE 9 : Câblage de la maquette pour la mesure des puissances instantanée et active d'un transformateur à noyau de ferrite fonctionnant à vide	p.49
ANNEXE 10 : Relevés de cycles d'hystérésis du transformateur à noyau de fer commandé en tension pour différentes fréquences	p.51
ANNEXE 11 : Relevés de cycles d'hystérésis du transformateur à noyau de fer commandé en courant pour différentes fréquences	p.53
ANNEXE 12 : Cycle d'hystérésis et courbe de première aimantation du transformateur à noyau de fer	p.55
ANNEXE 13 : Relevés de cycles d'hystérésis du transformateur à noyau de ferrite commandé en tension pour différentes fréquences	p.57
ANNEXE 14 : Relevés de cycles d'hystérésis du transformateur à noyau de fer commandé en courant pour différentes fréquences	p.59
ANNEXE 15 : Courbe de première aimantation	p.61

ANNEXE

Données Techniques



Permeance factor c	2.5 nH
Core constant c_1	0.51 mm^{-1}
Effective magnetic path length l_e	160 mm
Effective core area A_e	315 mm^2
Minimum core area A_{mini}	
Effective core volume V_e	$50\,000 \text{ mm}^3$
Weight per set	46 g

