

# ETUDE ET REALISATION D'UN GENERATEUR A HAUTE TENSION

## III.1.Introduction

Ce chapitre constitue un rapport complet sur la conception de notre générateur, tel que le principe de fonctionnement, le choix des composants, les résultats obtenu et leurs interprétations.

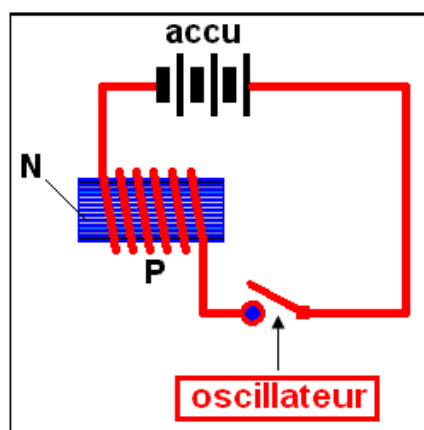
## III.2.Le but

L'objectif est de concevoir et réaliser un générateur qui délivre la haute tension en alternatif AC et en continu DC dépassant les 10kV, avec une alimentation en courant continu de 12V maximum.

## III.3. Principe de base

Le principe qui répond au mieux aux conditions décrites ci-dessus, est la bobine de Ruhmkorff.

L'idée principale consiste à alimenter une bobine par un courant continu qui sera interrompu périodiquement par un interrupteur tel que montré sur la figure(III.1).



**Figure (III.1) :** Schéma d'alimentation de la bobine de Ruhmkorff.

La tension qui apparaît aux bornes de la bobine est :

$$u_p = R_p I_p + L_p \frac{dI_p}{dt} - e \quad (\text{III.1})$$

Où :

$u_p$  : Tension aux bornes de la bobine P.

$R_p$  : Résistance du fil de la bobine.

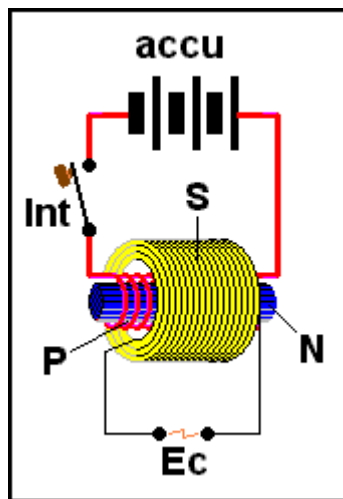
$I_p$  : Courant parcourant la bobine.

$L_p$  : Inductance de la bobine.

$e$  : Force contre électromotrice f.c.é.m.

Lors de l'interruption du courant dans la bobine le terme  $\frac{dI_p}{dt}$  tend vers l'infini. C'est-à-dire qu'on aura une surtension ( $u_p$  très grande).

La tension produite peut être très élevée si on utilise le montage de la figure (III.2) :



**Figure (III.2) :** Augmentation de la surtension par un transformateur élévateur.

On aura une tension très élevée qui dépend du rapport de transformation. Ce montage en constitue la base et le point de départ pour notre réalisation.

### **III.4. Matériels utilisés**

Notre générateur est constitué de :

- Un transformateur THT de téléviseur.
- Deux résistances de  $27\Omega$  /1W et  $240\Omega$ /5W.
- Un transistor de puissance, le 2N3055.
- Radiateur ou dissipateur thermique compatible avec le 2N3005.
- Quatre diodes de redressement, les 1N4007.
- Six condensateurs céramiques haute tension de 3kV.
- Un fusible de protection de 4 A.
- Fiche banane femelle.
- Un ventilateur.
- Un boîtier isolant en plexiglas aéré.
- Un interrupteur.

### **III.5. Choix du matériel**

#### **III.5.1. Choix du transformateur haute tension**

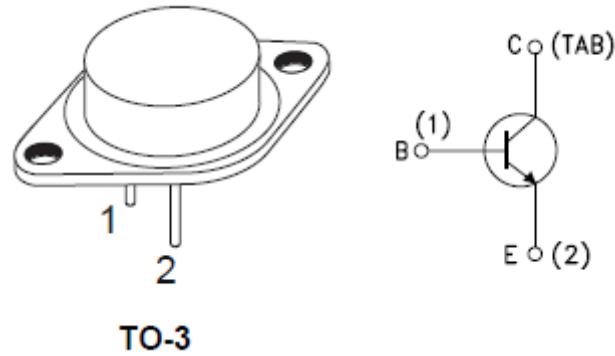
Il existe plusieurs types de transformateurs qui fonctionnent selon le principe de la bobine de Ruhmkorff tel que les bobines auto, les THT des téléviseurs ...etc.

Dans notre cas nous avons choisis une THT de téléviseur couleur (de marque « Unistar ») en raison de points :

- Taille réduite.
- Fonctionnement en haute fréquence.
- Très grande isolation puisque son bobinage est trompé.

#### **III.5.2.Choix du Transistor**

Ce transistor joue le rôle de l'interrupteur commandé, donc il doit pouvoir être capable de transiter un courant important, c'est-à-dire le courant du primaire de la bobine de l'ordre de 2A .Notre choix est porté sur un transistor de puissance, le 2N3055, dont les paramètres sont dans le tableau (III.1).



**Figure (III.3) :** Transistor de puissance, le 2N3055, et son brochage.

paramètres	valeurs
$I_C$	15A
$I_B$	7A
$V_{CE}$	70V
$V_{CBO}$	100V
$P_{tot}$	115W

**Tableau (III.1) :** Paramètres du 2N3055.

Ces paramètres font de ce transistor de puissance le choix idéal pour notre application.

### III.5.3. Diode de redressement

Les diodes seront utilisées pour la fonction de redressement, étant donné que les diodes hautes tension ne sont pas disponibles au marché Algérien, on peut utiliser plusieurs diodes en séries pour supporter la haute tension.

Les diodes disponibles sont les 1N4007 dont la tension maximale est de 1000 Volts.



**Figure (III.4) :** Diode de redressement 1N4007.

Paramètres	Valeurs
Tension inverse maximale (60Hz)	1000V
Courant inverse (60Hz, T=70°C)	1A

**Tableau (III.2) :** Paramètres de la diode 1N4007.

### III.5.4.Les condensateurs

Les condensateurs céramiques présentent plusieurs avantages par rapport aux autres, on peut citer :

- L'indifférence à la polarisation.
- Tension maximale très élevée.
- Possibilité de fonctionner en haute fréquence.
- Condensateur non inductif.

Nous avons choisis des condensateurs  $U_{max}=3000V$ ,  $C=10nF$  ce sont les condensateurs haute tension qu'on a pu trouver.

### III.5.5.Les résistances

Les deux résistances de  $27\Omega /1W$  et  $240\Omega/5W$  sont choisîtes de tel sorte qu'elles constituent un diviseur de tension dans le but de procurer une tension égale a peu près a 1V pour la commande de la gâchette du transistor, selon le calcul qui suit :

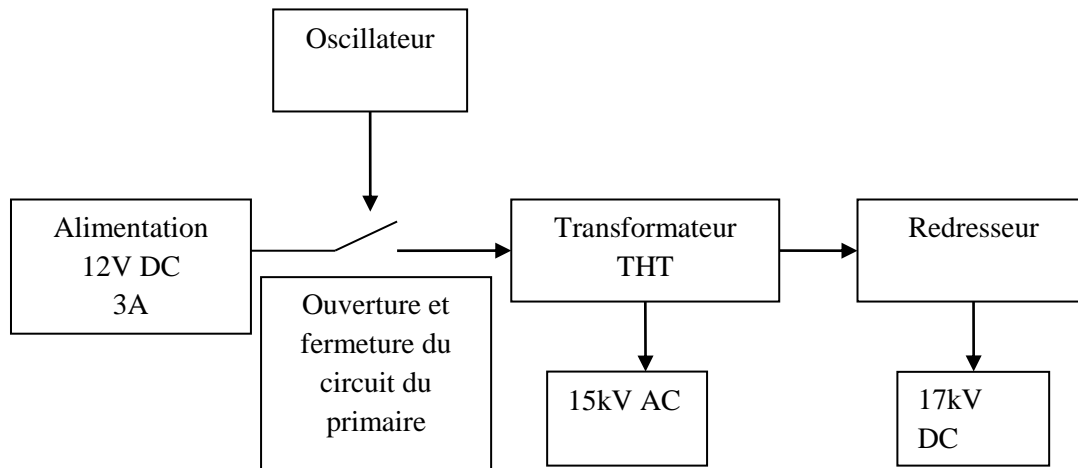
$$U_{gachette} = U_{alimentation} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (III.2)$$

$$U_{gachette} = 12 \frac{27}{27 + 240}$$

$$U_{gachette} = 1.21 V \quad (III. 3)$$

### III.6. Schéma et principe de fonctionnement du générateur réalisé

La figure (III.5) montre un schéma bloc simplifié du générateur que nous avons réalisé au laboratoire :



**Figure (III.5) :** Schéma simplifié du générateur haute tension réalisé.

#### Explication

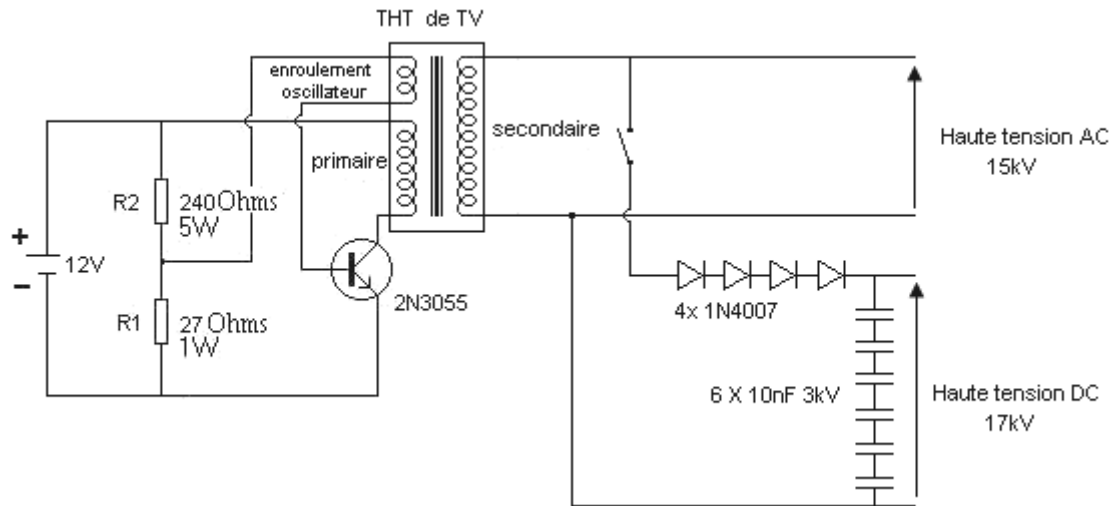
Le principe est simple ; il consiste à ouvrir et fermer le circuit de la bobine du primaire de la THT de TV grâce à un interrupteur commandable par un oscillateur, ce qui va générer une surtension alternative mais non sinusoïdale au primaire (principe de la bobine de Ruhmkorff).

Grâce au nombre de spires important de la THT, la tension du primaire est élevée jusqu'à ce qu'elle atteigne une tension alternative de 15000 V au secondaire.

La tension générée au secondaire va être redressée puis filtrée pour obtenir 17000 V en DC.

### III.6.1. Le schéma général

Le schéma général du générateur réalisé est donné par la figure (III.6) :

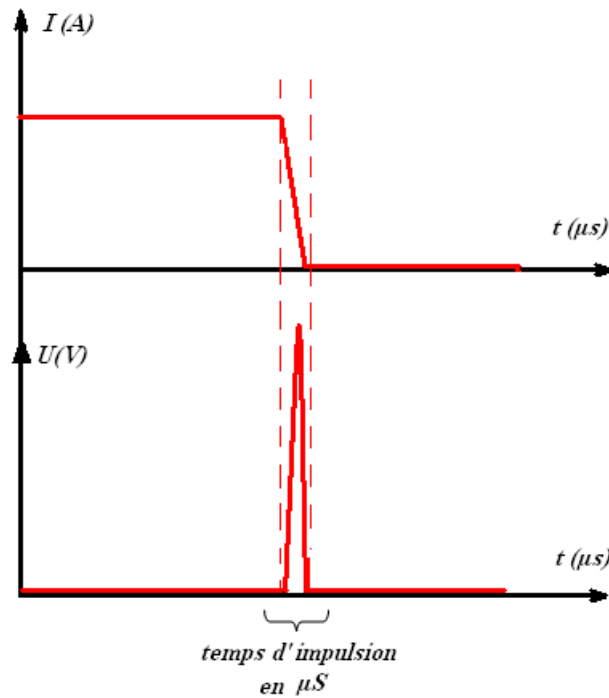


**Figure (III.6) :** Schéma générale du générateur haute tension réalisé.

### III.6.2. Principe de fonctionnement du générateur

La tension d'alimentation est  $U = 12V$ , étant donné que la résistance  $R$  du primaire est très petite, le courant absorbé  $I$  sera de grande valeur. Or la propriété d'une bobine est qu'elle tend à maintenir la tension à ses bornes quand le circuit s'ouvre (c'est à dire quand elle n'est plus alimentée), et cela pendant un très court instant. Reprenons l'équation (III.1) de la tension  $U$  au primaire, si le courant  $I$  est très grand, et que le temps  $t$  est très petit, alors la tension  $U$  au primaire est très grande.

La brusque coupure de courant aux bornes de l'enroulement primaire engendre l'augmentation de la tension pendant quelques microsecondes ( $\mu s$ ).



**Figure (III.7) :** Surtension dû à la brusque interruption de courant du primaire

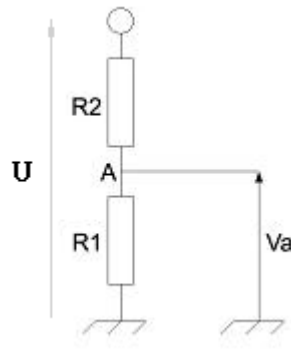
Problème : La tension aux bornes du secondaire ne sera élevée que pendant quelques  $\mu\text{s}$ .

Solution: Ouvrir et fermer le circuit aux bornes de l'enroulement primaire de manière successive et à une fréquence relativement élevée. Le composant qui se chargera de cette commutation est un transistor de puissance, le 2N3055.

Le transistor est un semi-conducteur contrôlable permettant deux types de fonctionnement. Un fonctionnement bloqué/saturé (dit de commutation) et un fonctionnement en amplificateur (dit linéaire).

Notre but est de l'utiliser en commutation, il va falloir commander ce transistor en tension et en courant (surtout en courant car c'est ce qui le fera changer d'état). C'est le rôle des deux résistances en série qui vont créer un diviseur de tension, qui, via l'enroulement oscillateur, pourra piloter le transistor, Figure (III.8).





**Figure (III.8) :** Diviseur résistif de tension.

$$V_a = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U \quad (\text{III.2})$$

Avec:

$U$  : Tension d'entrée

$R_1$  : Valeur de la première résistance

$R_2$  : Valeur de la deuxième résistance

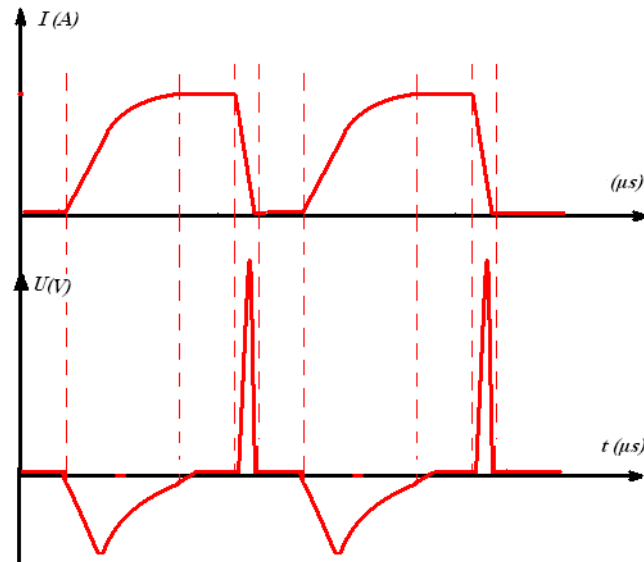
$V_a$  : Tension aux bornes de  $R_1$ .

Le rôle de ces deux résistances est d'abaisser la tension qui passera par l'enroulement oscillateur pour arriver sur la base du transistor.

Et le basculement (bloqué/saturé) du transistor se fera grâce à cet enroulement, ce dernier que l'on fera nous mêmes (comme le primaire d'ailleurs) sera enroulé à l'inverse du primaire (ou enroulé à l'endroit et branché à l'envers) le primaire du THT induit un courant inverse dans l'enroulement oscillateur qui changera l'état du transistor, donc on aura interruption du courant dans le primaire et annulation du courant induit dans l'enroulement oscillateur ce qui rechangera l'état du transistor, et le cycle recommence...

Les deux résistances vont abaisser la tension d'entrée pour commander le transistor qui agira comme un interrupteur ouvert (pour "allumer" ou "éteindre" le primaire) piloté par le courant induit dans l'enroulement oscillateur. Et cette commutation s'effectuera plusieurs milliers de fois par seconde générant autant de pics de surtension au primaire et donc au secondaire.

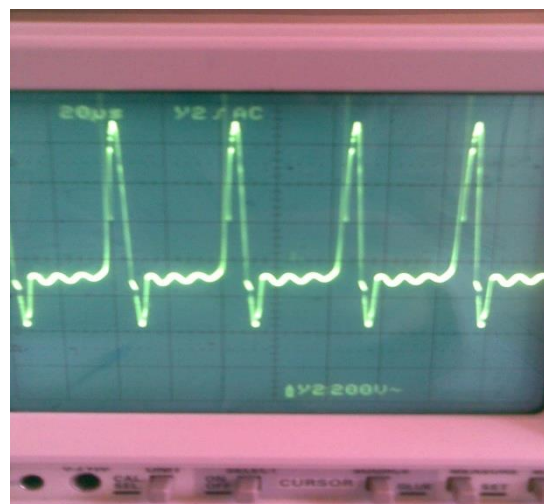
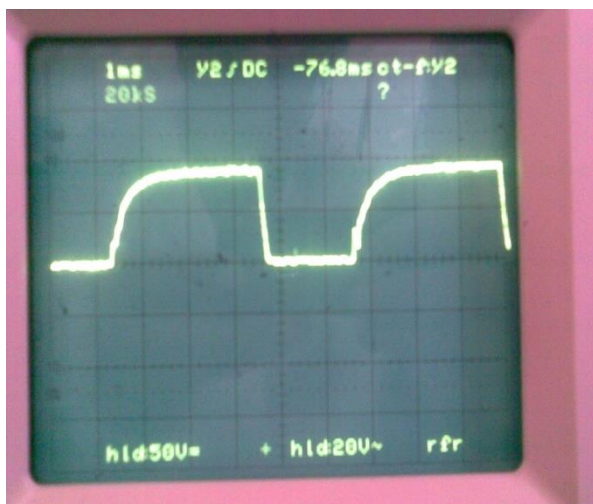
La figure (III.9) montre l'allure du courant absorbé par le primaire de la THT ainsi que la tension:



**Figure (III.9) :** Forme du courant et de la tension au primaire du THT.

La forme du courant primaire suit principalement la saturation et le blocage du transistor, on distingue clairement une charge de l'inductance du primaire pendant la saturation et l'interruption brutale du courant lors du blocage du transistor.

Les figures (III.10), (III.11) nous montrent les courbes réelles du courant et de la tension au primaire du THT de notre générateur successivement :



**Figure (III.10) :** Forme du courant au primaire. **Figure (III.11) :** Tension du primaire.

Les valeurs du courant et de la surtension au primaire sont lues par l'oscilloscope :

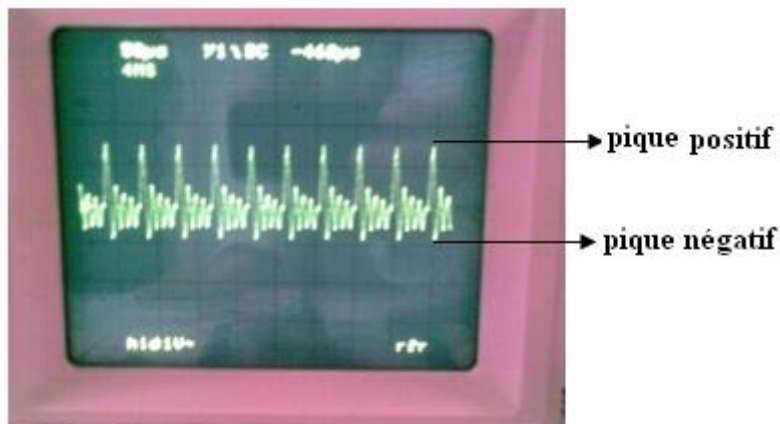
$$U_{primaire} = 600V \quad (III.5)$$

$$I_{primaire} = 3V \quad (III.5)$$

### III.7.Mesure de la haute tension AC de sortie de la THT

Pour mesurer la tension du secondaire du THT on a utilisé la méthode du diviseur de tension et la sonde de l'oscilloscope de rapport 1/10.

La figure suivante montre l'allure de la haute tension AC observé par l'oscilloscope à mémoire :



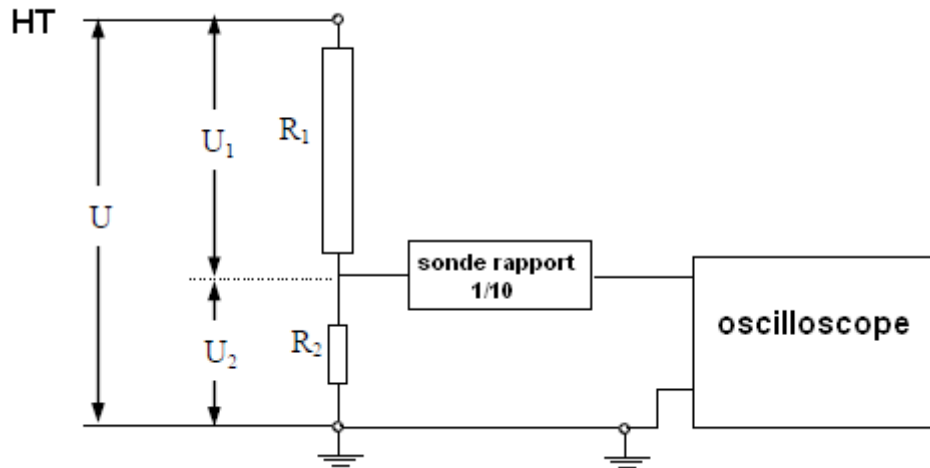
**Figure (III.12) :** L'allure de la haute tension au secondaire du THT.

Notre diviseur de tension est formé d'une grande résistance  $R_1$  et d'une petite résistance  $R_2$  placées en série figure (III.13).

Avec :

$$R_1 = 300M\Omega.$$

$$R_2 = 4.08M\Omega.$$



**Figure (III.13) :** Schéma de mesure de la haute tension AC.

A partir de l'oscilloscope on peut lire les valeurs du pique positif et du pique négatif.

- Calcul de la valeur du pique positif :

$$U'_{2\text{ oscilloscops}} = 20\text{ V} \quad (\text{III.7})$$

En prenant en compte le rapport de la sonde de l'oscilloscope on obtient :

$$U_2 = U'_{2\text{ oscilloscops}} \cdot 10 \quad (\text{III.8})$$

$$U_2 = 200\text{ V} \quad (\text{III.9})$$

D'après le diviseur de tension :

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U \quad (\text{III.10})$$

Donc :

$$U = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot U_2 \Rightarrow U = \frac{300 + 4.08}{4.08} U_2 \quad (\text{III.11})$$

$$U = \frac{U_2}{0.013} \quad (\text{III.12})$$

D'où :

$$U = 15.384\text{KV} \quad (\text{III.13})$$

Selon la loi d'ohm, le courant maximal au secondaire est :

$$I_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_2 = \frac{15384}{304.08 \cdot 10^6} \Rightarrow I_2 = 50.6\mu\text{A} \quad (\text{III.14})$$

- Calcul de la valeur du pique négatif :

$$U''_{2oscilloscops} = 11V \quad (\text{III.15})$$

Pour le même calcul on obtient la valeur du pique négatif :

$$U = 8.4615KV \quad (\text{III.16})$$

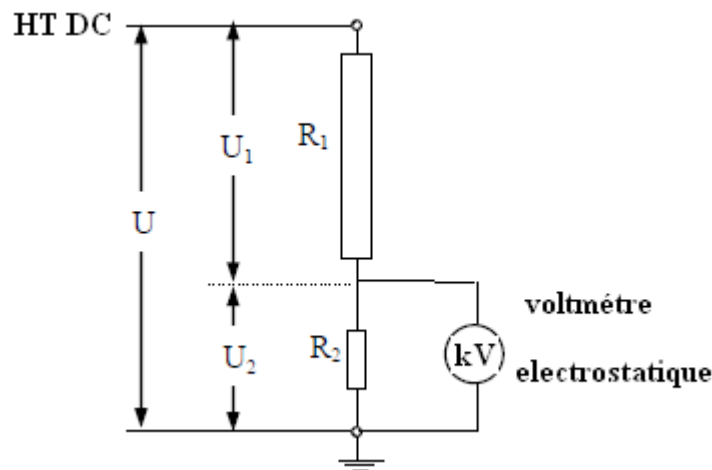
### III.8.Mesure de la haute tension DC de sortie de la THT

Nous avons utilisé un redresseur simple avec des condensateurs de filtrage pour obtenir une haute tension DC, figure(III.14).

Pour la mesure, nous avons utilisé un diviseur de tension avec les résistances dont les valeurs :

$$R_1 = 112.5M\Omega.$$

$$R_2 = 8.75M\Omega.$$



**Fig (III.14) :** Schéma de mesure de la haute tension DC.

La tension  $U_2$  mesurée par le voltmètre électrostatique est égale à :

$$U_2 = 125Volts \quad (\text{III.17})$$

D'où :

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (\text{III.18})$$

Donc :

$$U = \frac{R_1 + R_2}{R_2} U_2 \Rightarrow U = \frac{112.5 + 8.75}{8.75} U_2 \quad (\text{III.19})$$

$$U = 13.85U_2 \Rightarrow U = 13.85 \cdot 1250 \quad (\text{III.20})$$

$$U = 17312.5 \text{ V} \quad (\text{III.21})$$

$$U = 17.31 \text{ KV} \quad (\text{III.22})$$

Selon la loi d'ohm, le courant au secondaire est :

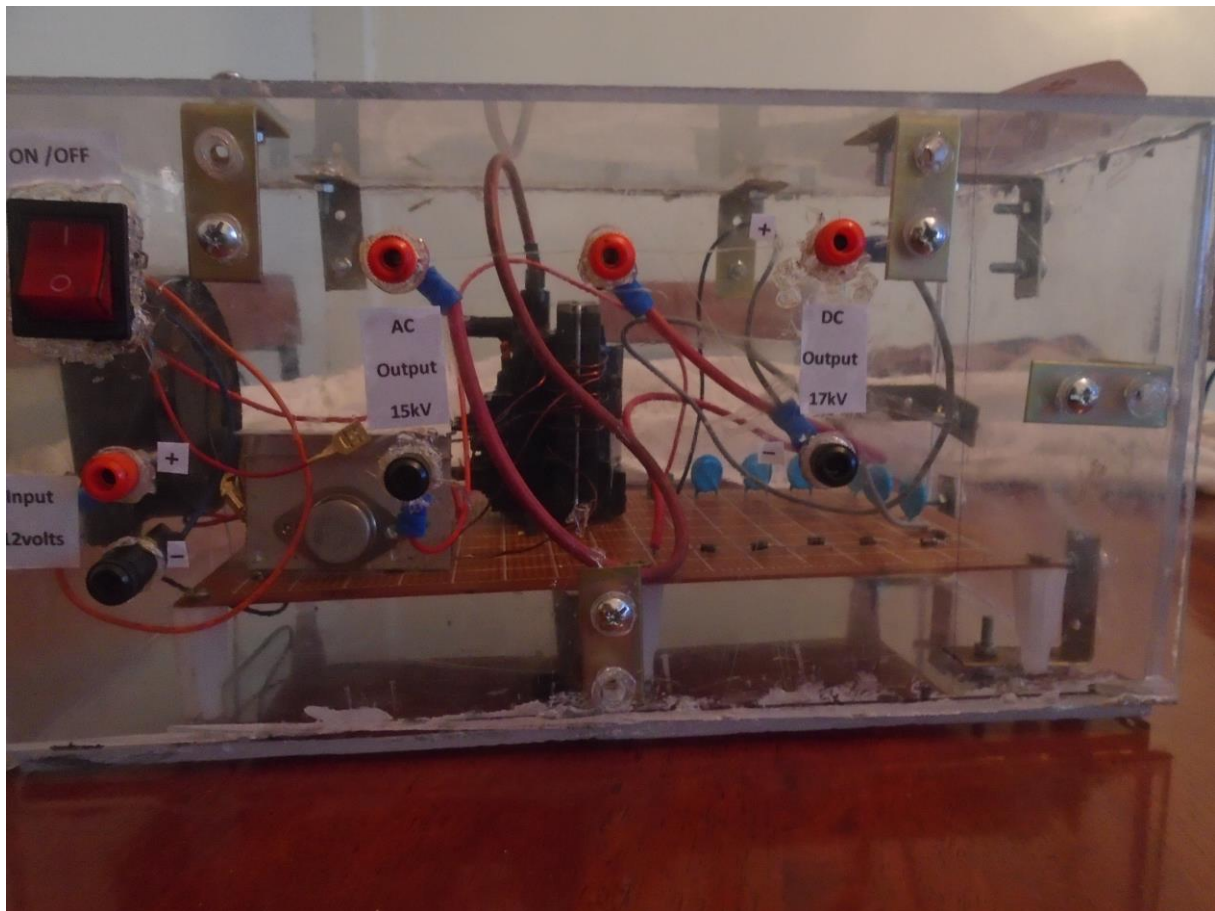
$$I_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_2 = \frac{17312.5}{121.25 \cdot 10^6} \Rightarrow I_2 = 0.142 \text{ mA} \quad (\text{III.23})$$

### Remarque :

La THT délivre une haute tension AC sous haute fréquence (22kHz) ce qui veut dire que le temps des alternances est très court (*en  $\mu s$* ), pour qu'il influe sur les diodes de redressement.

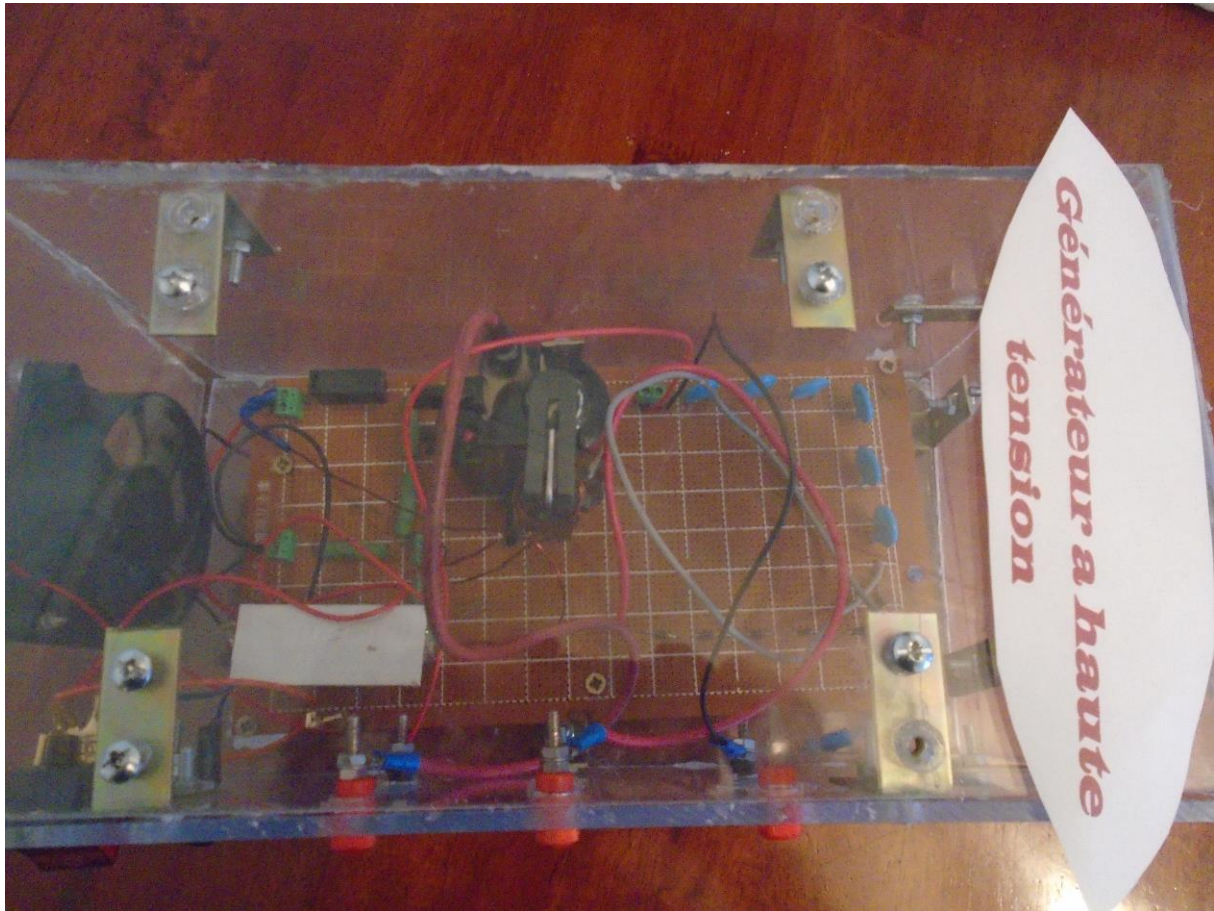
Cela à un effet direct sur le choix du nombre des diodes à mettre en séries, pour le redressement.

Les deux figures (III.15) & (III.16) montrent notre générateur réalisé au laboratoire en vue de face et d'en haut successivement:



**Figure (III.15) :** Le générateur HT réalisé, vue de face.





**Figure (III.16) :** Le générateur HT réalisé, vue d'en haut.

### III.9 Conclusion

L'obtention d'une très haute tension à partir de 12V a été réalisée aisément en se basant sur le principe de la bobine de Ruhmkorff, par contre l'étude analytique des résultats est loin d'être facile ; cela revient à la forme non standard des signaux de courant et de tension. Néanmoins les résultats pratiques obtenus coïncident avec la théorie.

La forme du courant et des tensions a une influence directe sur le comportement des composants du générateur, qui sont conçus pour fonctionner soit en alternatif, soit en continu, ce qui influe directement sur le choix du matériel.

La haute tension délivrée impose une bonne isolation électrique afin d'éliminer tout risque de décharge accidentelle. Toute fois ce risque reste présent.

Dans ce chapitre on a montré que la production de la haute tension AC et DC est possible avec des circuits simples, de taille réduite et moins coûteux.