

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique**



**CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED**

**INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**LICENCE ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et technique

Filière : Génie électrique

Spécialité : Réseaux électrique

Presenté par : GUIA ISSAM

CHAMI BADREDDINE

LOUCIF ADEL MORTADHA

**Thème**

**CONCEPTION D'UNE ALIMENTATION  
DE HAUTE TENSION VARIABLE**

**Soutenu le 29 Juin 2010**

**Proposé et dirigé par:**

GUIA TALAL

**2009-2010**

## **SOMMAIRE**

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE.....</b>	<b>01</b>
<b>CHAPETRE I : GENERATEURS DE HAUTE TENSION</b>	
I.1. INTRODUUCTION.....	02
I.2. COUPLAGE POUR TENSION ALTERNATIVE A 50 OU 60HZ.....	03
I.2.1. TRANSFORMATEURS HT.....	03
I.2.2. SYSTEMES RESONANTS.....	06
I.2.3. RESONANCE DANS UN CIRCUIT ELECTRIQUE.....	06
I.2.4 RESONANCE SERIE.....	07
I.2.5 RÉSONANCE PARALLÈLE.....	07
I.3. ESSAIS SOUS HAUTE TENSION CONTINUE.....	07
I.4. ESSAI SPECIAUX SOUS HAUTE TENSION ET HAUTE FREQUENCE.....	11
I.4.1.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	11
I.5. ESSAIS DE CHOC.....	13
I.5.1.PROCEDURE D'ESSAI.....	15
I.5.2. SCHEMA DE BASE.....	16
I.5.3. SCHEMA MULTIPLICATEUR DE MARX.....	18
I.5.4. DECHARGE DU GENERATEUR DE CHOC.....	19
I.6. MESURE DE HAUTE TENSION EN LABORATOIRE.....	21
I.6.1. DISPOSITIFS DE MESURES DE VALEURS DE CRETE.....	21
I.6.2. DISPOSITIFS DE MESURES DE TENSION DE CHOC.....	21
I.6.3. CORRECTION DE LA TENSION DISRUPTIVE MESUREE.....	21
I.6.4. ESSAI STATISTIQUE DE DECHARGES DISRUPTIVES A 50 %.....	22
I.7. CONCLUSION.....	22

## **CHAPETRE II : MESURE DE HAUTE TENSION MESURE**

II.1. INTRODUCTION.....	23
II .2. MESURE DIRECTE DES TENSIONS ELEVEES.....	23
II.2.1. VOLTMETRE ELECTROSTATIQUE.....	23
II .2.2 MESURE PAR ECLATEUR .....	25
II.2.2.1. PRINCIPEDEFONCTIONNEMENT.....	25
II.2.3. MESURE GALVANOMETRIQUE.....	27
II.3. DIVISEURS DE TENSION.....	28
II.3.1. DIVISEUR RESISTIF.....	28
II.3.1.1. RAPPORTDEDIVISIONG.....	28
II.3.2. DIVISEUR CAPACITIF.....	28
II.3.2.1. RAPPORT DE DIVISION.....	29
II.3.3. TRANSFORMATEUR DE MESURE.....	29
II.3.4. OSCILLOSCOPE A MEMOIRE.....	29
II.3.5. OSCILLOSCOPE DE CHOC.....	30
II.4. CONCLUSION .....	30

## **CHAPITRE III: CONCEPTION D'UN CIRCUIT H.T**

III.1. INTRODUCTION.....	31
III.2.PRESENTATION DE PSPICE .....	31
III.3.CONCEPTION DU CIRCUIT .....	32
III.3.1. SCHEMA DU CIRCUIT .....	33
III.4. PRESENTATION DES COMPOSANTS ET LA CONCEPTION.....	37
III.4.1. LE NE555 .....	37
III.4.1.1. DESCRIPTION DU BROCHAGE.....	38
III.4.1.2. LE MONTAGE MONOSTABLE .....	39
III.4.1.3. LE MONTAGE ASTABLE .....	41
III.4.1.4. CALCUL DE LA PERIODE T D'OSCILLATION .....	43

III.4.2.LE REGULTEUR DE TENSION 78L12.....	43
III.4. 3.LE TRANSISTOR BIPOLAIRE 2N3055.....	43
III.4. 4.TRANSISTOR DE PUISSANCE BU508D.....	43
III.5. RESULTATS DE SIMULATION.....	44
III.6. CONCLUSION .....	47
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>48</b>

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

Le transport de l'énergie électrique nécessite, pour des raisons techniques et économiques l'utilisation de tensions élevées (lignes HT et THT).

Les lignes aériennes de transport et de distribution de l'énergie électrique sont exposées à diverses contraintes. Parmi celles-ci, les effets de couronnes et aussi la variation des conditions atmosphériques dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet. Les générateurs de haute tension sont utilisés dans les laboratoires de recherche scientifique, les laboratoires d'essai, pour tester les équipements de haute tension avant leur utilisation (isolateur, câble, transformateur, appareils de coupure ...).

Par mesure de sécurité, les tensions d'essai utilisées sont bien entendu supérieures la tension de service de l'équipement testé.

Des nombreuses applications utilisant la haute tension (rayons X, effet couronne, générateur d'ozone, séparation électrostatique, laser...). Il y a trois types de tensions conventionnelles tension alternative, tension continu et tension de choc.

Le présent travail porte sur la conception d'une alimentation de haute tension variable de 0 à 30kV qui est très léger a porté au quel que soit le site d'essai, aussi cette alimentation peut alimente par une source du tension renouvelable. Cette outil on peut l'utilise pour étudier les phénomènes résultants d'après la haute tension.

Dans notre travail, trois chapitres y seront présentés

Nous commençons par le premier chapitre qui est consacré sur les différents types des générateurs de haute tension les plus utilisables dans les laboratoires de la recherche, concernant la tension alternative, continu et de choc. Aussi plusieurs formes de montage des transformateurs élévateurs ont été présentées dans ce chapitre.

Dans le deuxième chapitre, nous citons les méthodes de la mesure sous haute tension en alternative ou continu et choc. Ainsi les principaux schéma des circuits et techniques de la mesure ont été montrés avec les détails équationnelles.

La conception d'un circuit d'alimentation de haute tension, sera présentée en troisième chapitre avec les différentes composantes utilisées. Cette conception est testée dans un logiciel fréquent garantie pour tirer la tension généré par cette alimentation. Aussi une estimation du cout de réalisation a été signalée.

## I.1. INTRODUCTION :

La coordination de l'isolement nécessite divers types d'essais pour l'étude et la vérification des machines et appareils des installations à haute tension. On distingue 4 catégories de générateur de haute tension exploitées pour les essais en laboratoire basées sur les différents types de tension.

**a. Tension alternative à fréquences Industrielles ( 50 ou 60Hz) :** La tension aux bornes des transformateurs de HT est le plus souvent non sinusoïdale à cause de la saturation du circuit magnétique. On utilise actuellement des systèmes résonants pour lesquels la tension est parfaitement sinusoïdale.

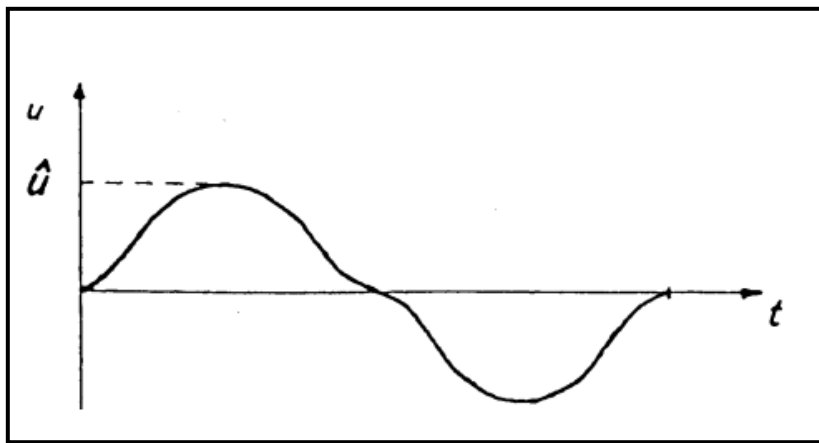


Figure I.1. Tension non sinusoïdale

La tension d'essai de crête sera :

$$\hat{U}_{\text{essai}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{essai}} \dots\dots\dots(I.1)$$

$U_{\text{essai}}$  : tension d'essai prescrite par les règles en  $kV_{\text{eff}}$ .

$$\hat{U} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}} \text{ en sinusoïdal.}$$

Car le plus souvent, la tension d'essai est mesurée à l'aide d'un dispositif de mesure de Tension de crête.

**b. Tension continue :** est employée essentiellement pour les câbles et condensateurs qui nécessiteraient une énergie réactive alternative trop importante et pour le matériel destiné au réseau à HT continue.

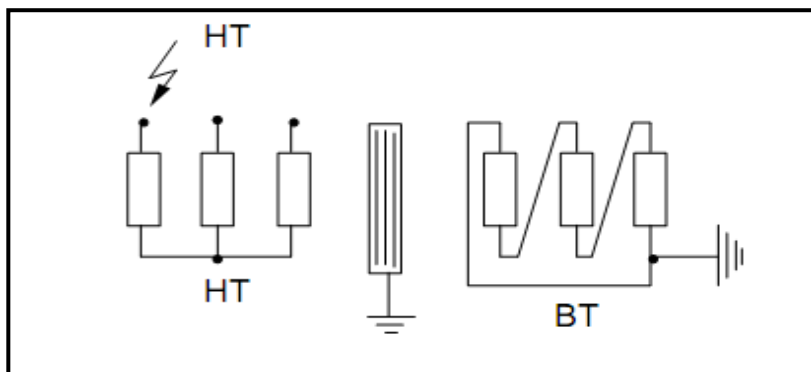
*c. Tension de choc ou d'impulsion* : c'est-à-dire sous onde unidirectionnelle.

*d. Tension spéciale sous HT et haute fréquence* : pour des essais d'isolateurs, de transformateurs ou de vieillissement des câbles.

## I.2. COUPLAGE POUR TENSION ALTERNATIVE A 50 OU 60HZ:

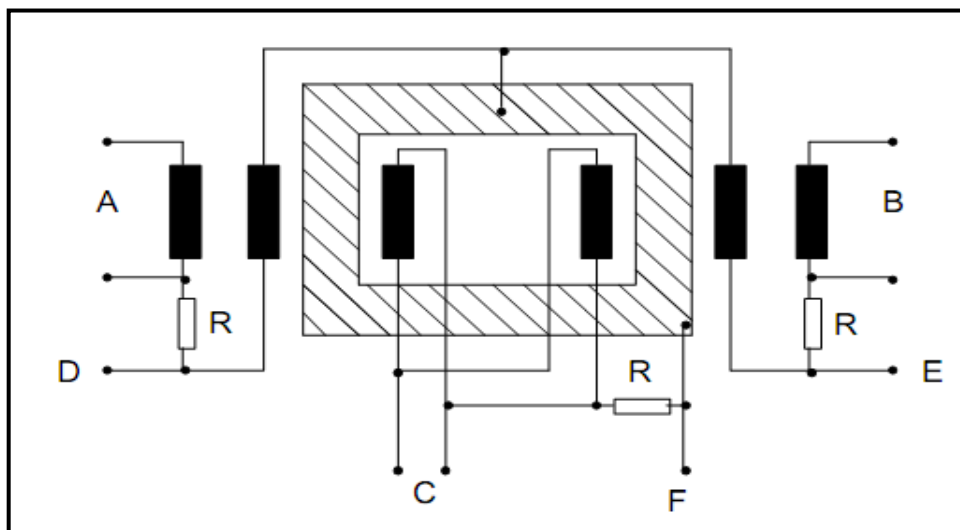
### I.2.1. TRANSFORMATEURS HT:

Exemple : essai d'un transfo



**Figure I.2.** Transformateurs HT

La figure ci-dessous représente le schéma interne d'un transformateur d'essai HT et ses possibilités de couplage



**Figure I.3.** Connexions et caractéristiques du transfo HT modèle TZG 100/5

A Tableau des connexions du transfo TZG:

Alimentation en	Terr en	Sorties entre	Tension nom. kV <sub>eff</sub>	Puissance nom. kVA	Tension de c.c. en % env.
A	D	F et D	50	2.5	3.7
	D	E et D	100	5	7.6
B	E	F et E	50	2.5	3.7
	E	D et E	100	5	7.6
C	F	D et F	50	2.5	2.7
	F	E et F	50	2.5	2.7
	F	D et E	100	5	5.5

Les puissances indiquées se rapportent à un service temporaire de 30 min.

La tension primaire vaut normalement 220 V - 50Hz.

La figure ci-après montre l'aspect physique du même transformateur;

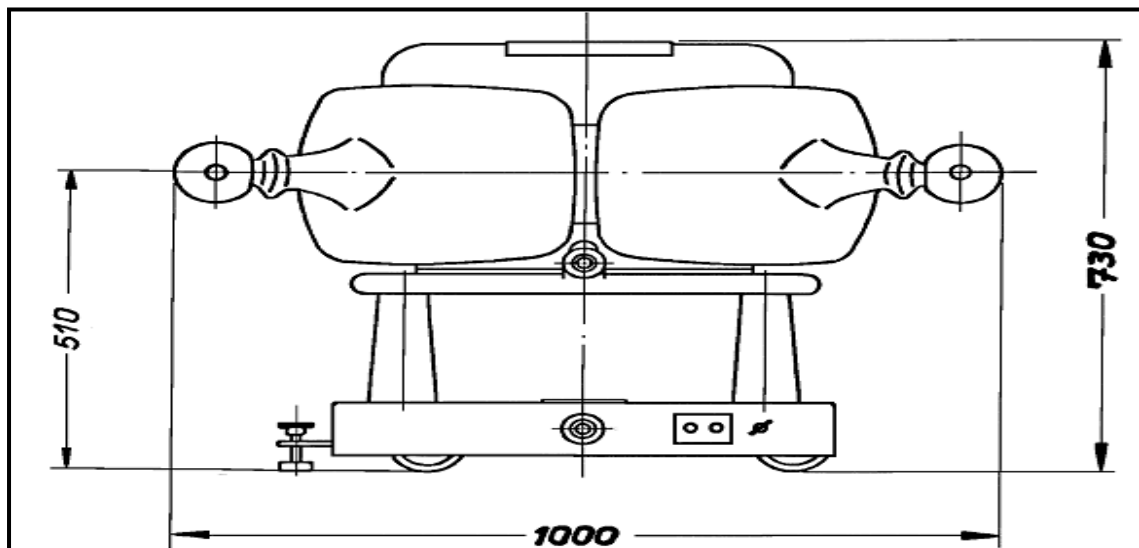


Figure I. 4 Transfo modèle TZG

La figure suivante montre un montage en cascade de deux transformateurs du même type, permettant de doubler la tension.

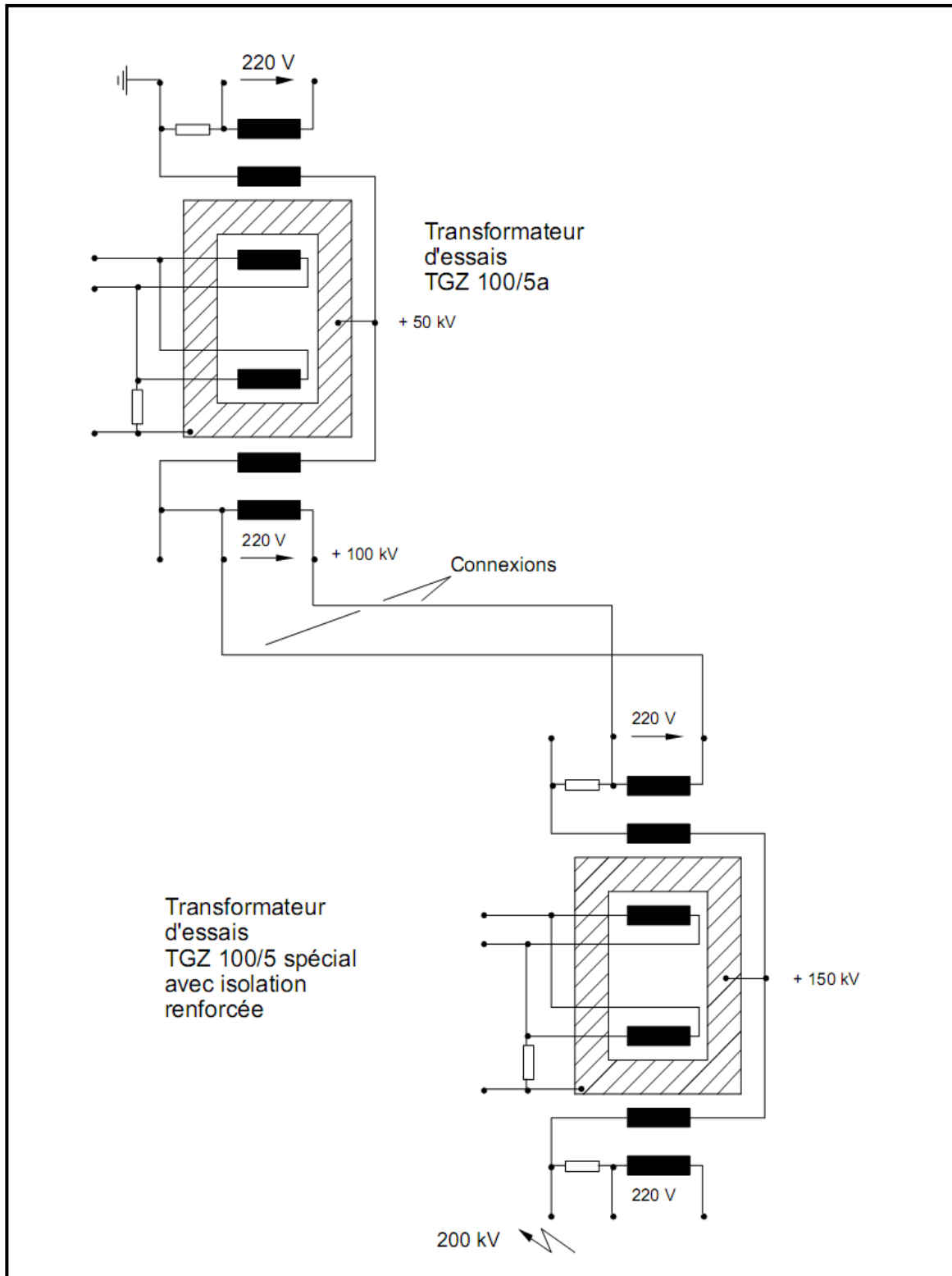


Figure I.5 Transformateur cascade

**I.2.2. SYSTEMES RESONANTS: [1]**

Depuis une trentaine d'années, on utilise avec succès les systèmes résonants pour effectuer les essais diélectriques sur tous les matériels purement capacitifs tels que les câbles HT ou des appareillages isolés au SF6. On emploie avec avantage ce genre d'équipement d'essai dès qu'un courant élevé (4 A) est nécessaire. Tous les essais courants peuvent être réalisés sauf les essais sous pluie ou de pollution. Ce genre d'équipement d'essai se caractérise par ses faibles dimensions et poids, et par sa facilité d'installation et d'utilisation.

De plus, la consommation électrique d'un tel système est réduite d'un facteur 10 à 15 par rapport à un système d'essai à transformateurs classiques.

**I.2.3. RESONANCE DANS UN CIRCUIT ELECTRIQUE:**

Si, dans un circuit électrique, un condensateur et une inductance de même impédance sont branchés en série ou en parallèle, l'on constate un phénomène de résonance, soit série, soit parallèle selon le schéma.

L'on a :

Impédance du condensateur

Impédance de l'inductance

$$x_c = \frac{1}{\omega C} \text{ } [\Omega] \quad \dots\dots\dots(I.2) \quad x_L = \omega L \text{ } [\Omega] \quad \dots\dots\dots(I.3)$$

$$\text{avec } \omega = 2\pi f \text{ } [\text{rad/s}]$$

Pour la résonance, il faut  $X_c = X_L$  que En fonction du système d'essai à disposition

- 1) Fréquence variable La fréquence est variée pour obtenir la résonance

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \text{ } [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots(I.4)$$

- 2) Inductance variable

L'inductance du système d'essai est variée pour obtenir la résonance, à la fréquence du réseau

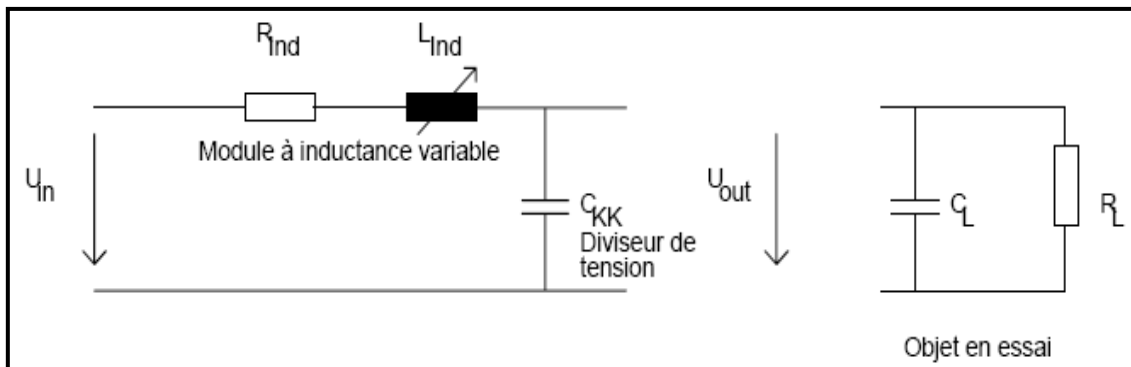
avec  $C =$  capacité de l'objet en essai [F].

$L =$  inductance du système d'essai [H].

La majorité des systèmes d'essai sont à inductance variable.

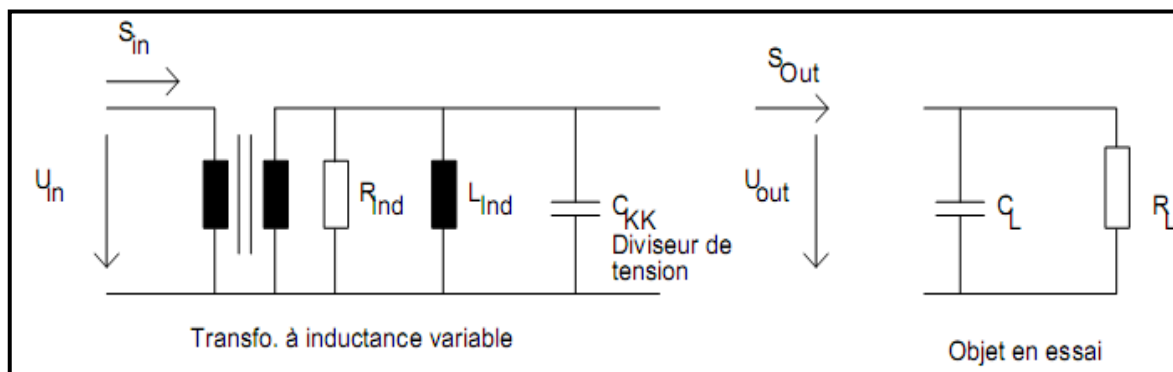
**I.2.4 RESONANCE SERIE**

**- SCHÉMA GÉNÉRAL**



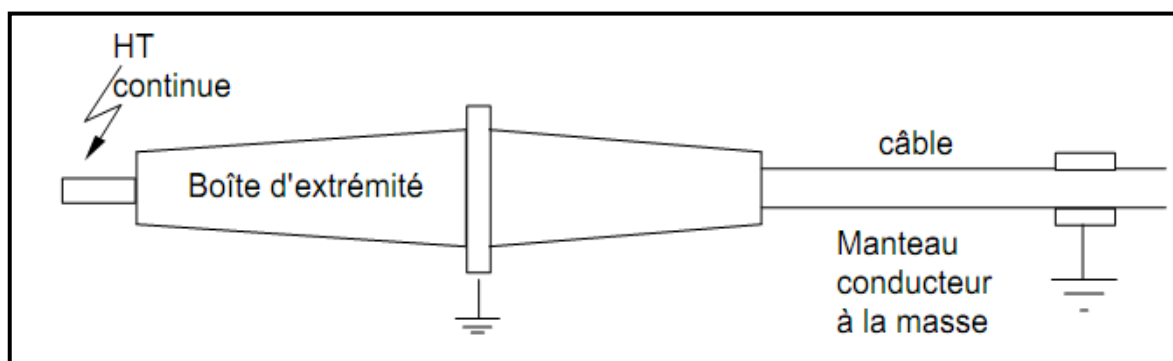
**I.2.5 RÉSONANCE PARALLÈLE**

**- SCHEMA GENERAL**



**I.3. ESSAIS SOUS HAUTE TENSION CONTINUE:**

Exemple : essai sur le site d'un câble sous haute tension continue. Haute tension appliquée pendant 15 minutes. But : sortir les éventuels défauts de pose (jonctions, extrémités...).



**Figure I.6** Essai d'un câble après pose

**A)- Couplages des redresseurs pour production des hautes tensions continues:**

On utilise les couplages classiques à une ou deux alternances et très souvent des doubleurs ou multiplicateurs de tension.

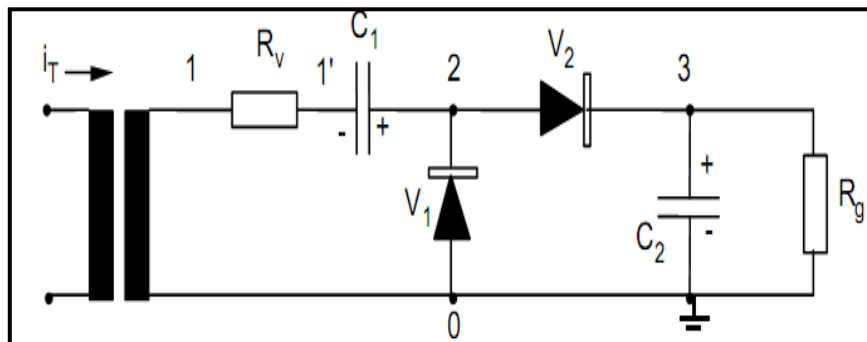
**B)- Couplage Villard avec dispositif de tension continue supplémentaire:**

Il s'agit d'un couplage doubleur de tension (figure I.7). Afin de comprendre le schéma, observons le processus de charge à vide ( $R_g = \infty$ ). A chaque alternance négative de tension  $u$ , le courant de charge du condensateur  $C_1$  dans le circuit 1-1'-2-0 est plus grand que le courant de décharge de chaque alternance positive du circuit 3-2-1-0. En effet, la capacité équivalente aux deux capacités en série  $C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$  est toujours plus petite que  $C_1$ .

Il en résulte que la tension aux bornes de  $C_1$  augmente plus pendant les alternances négatives qu'elle ne diminue pendant les alternances positives et atteint finalement 100 % de la valeur de crête de  $u$ . Le condensateur  $C_2$  reçoit ainsi des chocs de courant jusqu'à ce qu'il ait atteint la tension de 200 %. L'ensemble du couplage est alors pour cet état de charge des condensateurs, sans courant, c'est-à-dire que l'état à vide est atteint. On remarque que pour la valeur instantanée positive des tensions  $u$ , les deux condensateurs sont en opposition à travers la diode  $V_2$ . Le point 2 a le potentiel de l'onde, lequel oscille entre 0 et 200 % entre deux alternances consécutives (voir figure. I.8).

Le point 3 a un potentiel constant de 200 %, lequel entre en ligne de compte pour la tension de sortie continue à vide. La partie du couplage comprenant le condensateur  $C_1$ , la diode  $V_1$  la résistance additionnelle  $R_v$  et l'enroulement du transformateur est appelé "étage de base du couplage Villard". La diode  $V_2$  et le condensateur  $C_2$  forme "le dispositif de tension continue supplémentaire"[2].

La figure (I.8) du potentiel et du courant est valable en charge. Le dimensionnement du couplage se fait de la même manière que pour le couplage de Greinacher [2].



**Figure I.7** Couplage Villard / Greinacher

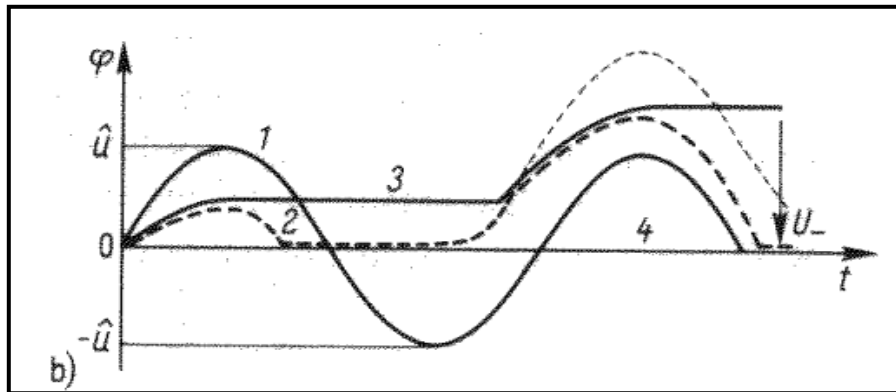


Figure I.8 graphe temporel

Couplage multiplicateur de tension (couplage en cascade de Greinacher):

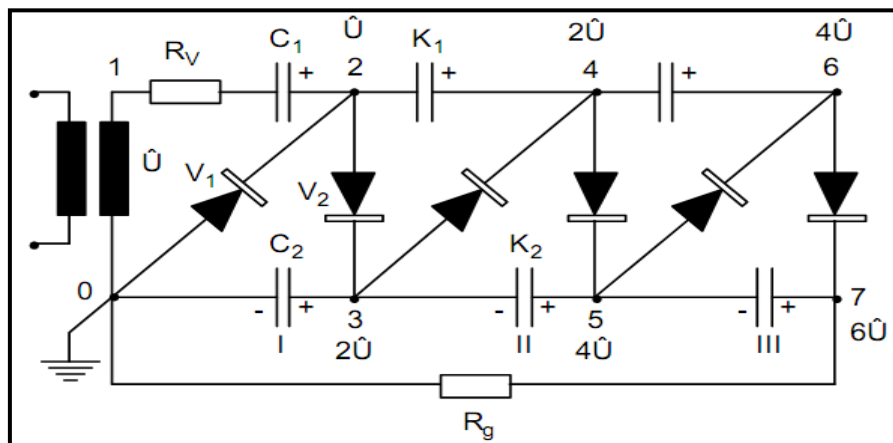


Figure I.9 Couplage de Greinacher en cascade

L'étage de base du couplage Villard / Greinacher [2] avec dispositif de tension continue supplémentaire est utilisé comme étage de base I (figure I.7), auquel on ajoute des étages supplémentaires de condensateurs et de diodes. On forme de cette manière deux colonnes de condensateurs  $k_1$  et  $k_2$ . Le circuit est parcouru pendant les alternances de charge négatives selon la figure I.10 et pendant les alternances de charge positives selon la figure I.11.

## Alternance négative

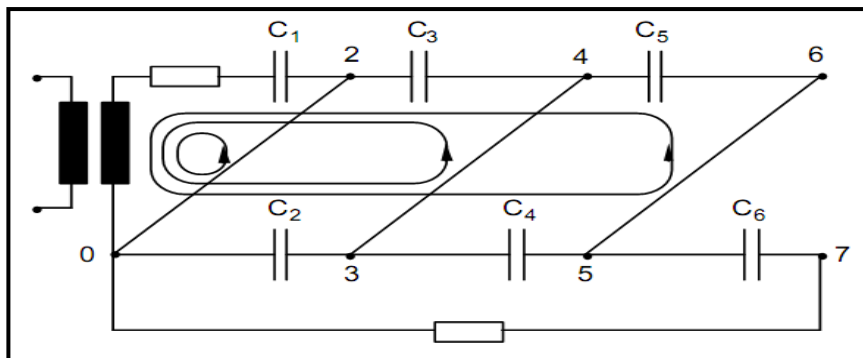


Figure I.10 Alternances négatives

## Alternance positive

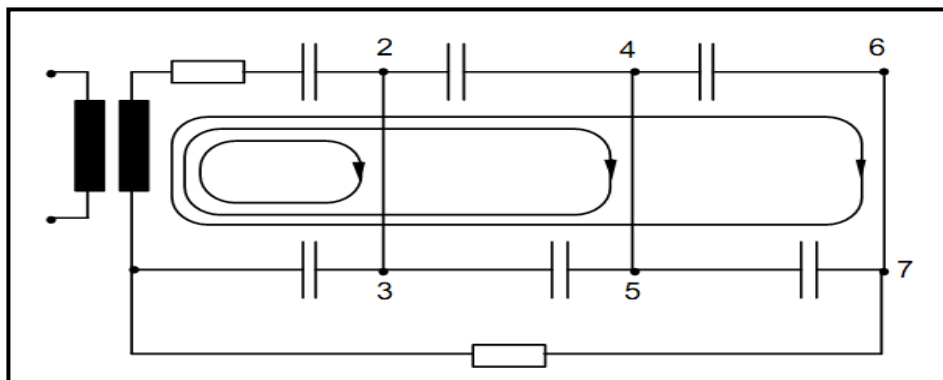


Figure I.11 Alternances positives

Les diodes constituent également dans le circuit des connexions équipotentiels. Pour les valeurs de crête négatives de  $u$ , les couples de points 2-0 4-3 6-5 sont équipotentiels et pour les valeurs de crête positives 2-3 4-5 6-7.

Nous avons vu lors de l'étude du couplage de base Villard que le condensateur  $C_1$  se charge à 100 % de la valeur de crête de  $u$  et le condensateur  $C_2$  à 200 %. Il en résulte que les potentiels des couples de points et les tensions des autres condensateurs sont fixés.

Ainsi, pour des valeurs de crêtes négatives de  $u$ , le point 2 a le potentiel nul du point 0, le point 4, le potentiel 200 % du point 3; au condensateur  $C_3$  est appliquée ainsi la tension continue de 200 %. Pour les valeurs de crêtes positives de  $u$ , pour lesquelles les potentiels connus précédemment de la colonne  $K_1$  sont augmentés de 200 %, le point 5 de la colonne  $K_2$  a le potentiel + 400 % du point 4; au condensateur  $C_1$  est appliquée la tension de 200 %.

On peut ainsi prouver que pour chaque condensateur la tension progresse de 200 % de la valeur de crête de u. A vide, la tension continue totale est ainsi égale à n fois la tension d'un étage de 200 % de la valeur de crête de u. Les courbes des potentiels et courants en charge du couplage Villard avec dispositif de tension continue supplémentaire sont similaires à la Représentation de la figure II-3.

**I.4. ESSAI SPECIAUX SOUS HAUTE TENSION ET HAUTE FREQUENCE:**

Pour ces essais, on utilise en général un transformateur Tesla TT, qui a pour but de produire des trains d'ondes à haute fréquence et haute tension qui seront appliqués à 'objet à essayer [2 ,3], par exemple un isolateur I. Le schéma de principe est donné par la figure ( I.12).

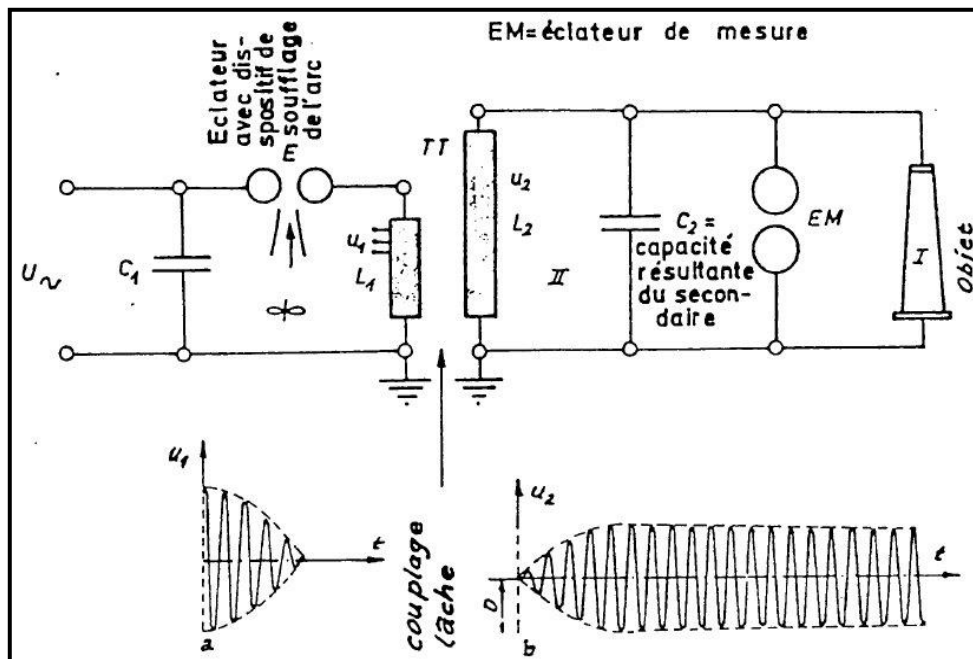


Figure I.12. Transformateur Tesla, schéma (a et b) tensions

**I.4.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :**

Le condensateur C1 est chargé sous une tension alternative U constante. Lorsque la tension disruptive de l'éclateur E est atteinte, il se décharge brusquement dans le circuit C1, RE, L1 (RE = résistance totale du primaire, y compris la résistance de l'arc de l'éclateur E), créant une oscillation amortie à haute fréquence de fréquence propre :

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}} \dots\dots\dots(I.4)$$

Lequel induit la tension  $u_2$  dans le secondaire. La forme des courbes des tensions  $u_1$  et  $u_2$  du transformateur Tesla est représentée sur la figure I.12. b.

Pour obtenir des trains d'ondes à chaque passage des valeurs de crêtes positives ou négatives de la tension primaire, il est nécessaire de couper l'arc sur l'éclateur E au moyen d'un dispositif de soufflage à air comprimé ou év. par thyristor(s) si  $U < 50$  kV.

D'autre part, le couplage magnétique entre les deux enroulements est lâche. Un couplage serré ne peut pas être employé, car la réaction du secondaire sur le primaire empêche la production régulière de trains d'ondes. Note complémentaire au sujet de la décharge dans le circuit série C1 - RE - L1 :

- **Rappel** Schéma équivalent

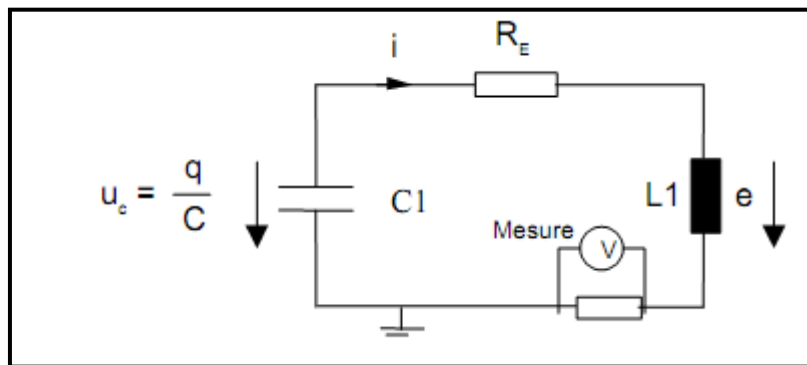


Figure I.13. Schéma RLC

$$0 = R_E i + L_1 \frac{di}{dt} + \frac{q}{C_1} \dots\dots\dots(I.5)$$

$$-L_1 \frac{di}{dt} = R_E i + \frac{q}{C_1} \dots\dots\dots(I.6)$$

$$e = R_E i + \frac{q}{C_1} \dots\dots\dots(I.7)$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C_1 \cdot \frac{du_c}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = C_1 \frac{d^2 u_c}{dt^2} \dots\dots\dots(I.8)$$

$$R_E C_1 \frac{du_c}{dt} + L_1 \cdot C_1 \frac{d^2 u_c}{dt^2} + u_c = 0 \dots\dots\dots(I.9)$$

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + 2\delta \frac{du_c}{dt} + \omega_0^2 \cdot u_c = 0 \dots\dots\dots(I.10)$$

$$x_{12} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} \dots\dots\dots(I.11)$$

On sait que les états suivants peuvent se présenter :

1)  $R_E = 0; \delta = 0$  2 racines imaginaires confondues - pas d'amortissement.

$$\frac{1}{2} C_1 U_m^2 \leftrightarrow \frac{1}{2} L_1 I_m^2$$

2)  $R_E \neq 0 \delta > \omega$  2 racines réelles. Mouvement apériodique.

3)  $R_E \neq 0 \delta < \omega$  2 racines imaginaires conjuguées.

Mouvement oscillatoire amorti

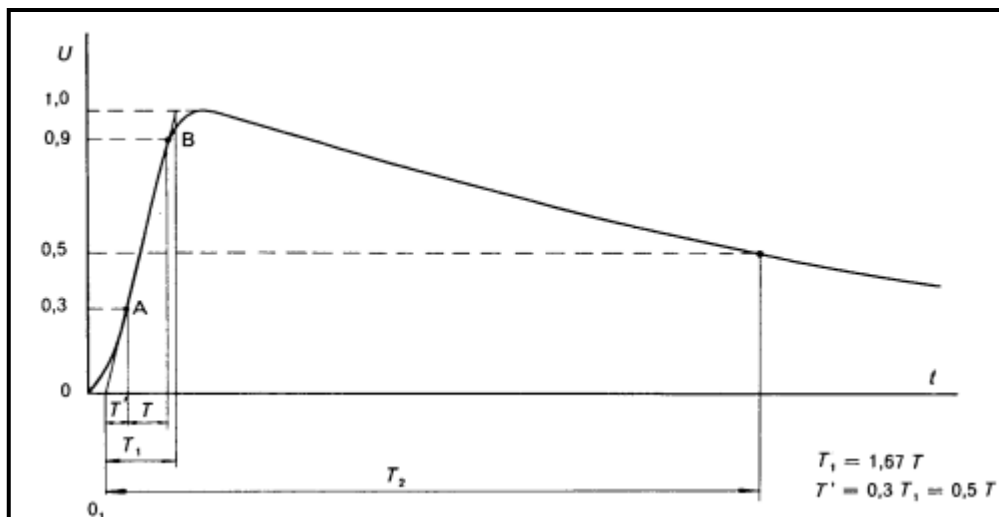
$$u_c = U_o e^{-\delta t} \left( \cos \omega t^E + \frac{\delta}{\omega} \sin \omega t \right) \dots\dots\dots(I.12)$$

$$i = -C \frac{du_c}{dt} \text{ (décharge de } C_1) \dots\dots\dots(I.13)$$

Lors de la construction du transformateur Tesla, on s'impose les conditions mentionnées sous 3), ce qui permet d'obtenir des trains d'ondes HF de l'ordre de 20 à 100 kHz environ.

**I.5. ESSAIS DE CHOC :**

L'essai de choc consiste à appliquer une onde unidirectionnelle, en général de forme normalisée, à l'objet à essayer. Elle simule un coup de foudre tombant sur le réseau. Caractéristiques de l'onde normalisée Essais de tenue au choc de foudre La CEI définit la tension de choc normalisée suivante [6], figure I.14 :



**Figure. I.14.** onde normalisée

Les valeurs et tolérance sont les suivantes :

Tension de crête :	tolérance	$\pm 3 \%$
T1 :	1.2 $\mu$ s	$\pm 30 \%$
T2 :	50 $\mu$ s	$\pm 20 \%$

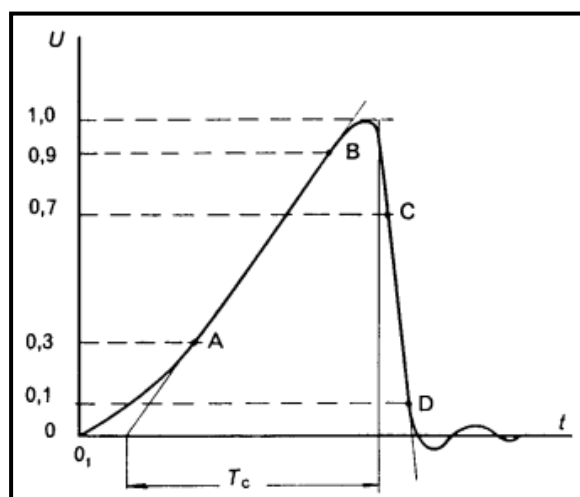
En pratique, on mesure T sur l'oscilloscope et l'on calcule  $T1 = 1.67 T$ . Le point "01" est l'origine conventionnelle de l'onde. On peut également calculer la raideur "S" du front :

$$S = \frac{\text{Val de crête}}{T_1} \quad [\text{kV} / \mu\text{s}]$$

On réalise également des ondes de courant de choc pour l'essai des parafoudres; la forme d'onde est identique à la figure ci-dessus et les valeurs normalisées sont les suivantes :

Courant de crête :	tolérance	$\pm 5 \%$
T1 :	4 ou 8 $\mu$ s	$\pm 10 \%$
T2 :	10 ou 20 $\mu$ s	$\pm 10 \%$

Les ondes ci-dessus simulent l'effet de la foudre. Pour simuler une onde de manœuvre, on utilise une onde 250/2500  $\mu$ s. Pour des essais de transformateurs et d'appareillage isolés au SF6, on utilise l'onde coupée, selon figure suivante :



**Figure. I.15** onde coupée

Les  $dU/dt$  importants engendrent des contraintes diélectriques plus sévères.

**I.5.1.PROCEDURE D'ESSAI :**

La procédure d'essai est la suivante :

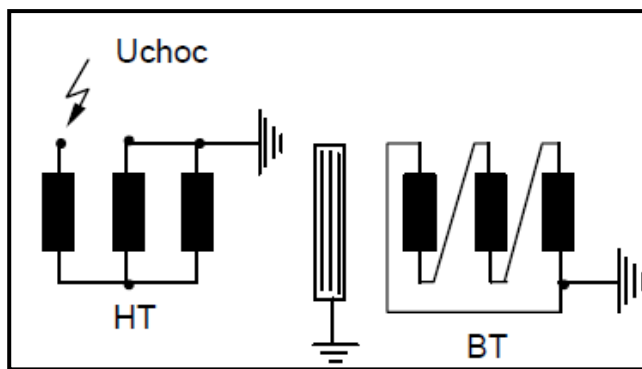
**1- Essai de tenue :**

Application de 5 chocs à 100 %

- pas de décharge disruptive -> essai subi avec succès.
- plus d'une décharge disruptive -> appareil mauvais.
- une décharge disruptive -> 10 chocs supplémentaires: s'il ne se produit aucune décharge pour ces 10 chocs -> essai satisfaisant.

**2- Couplage pour essai de choc:**

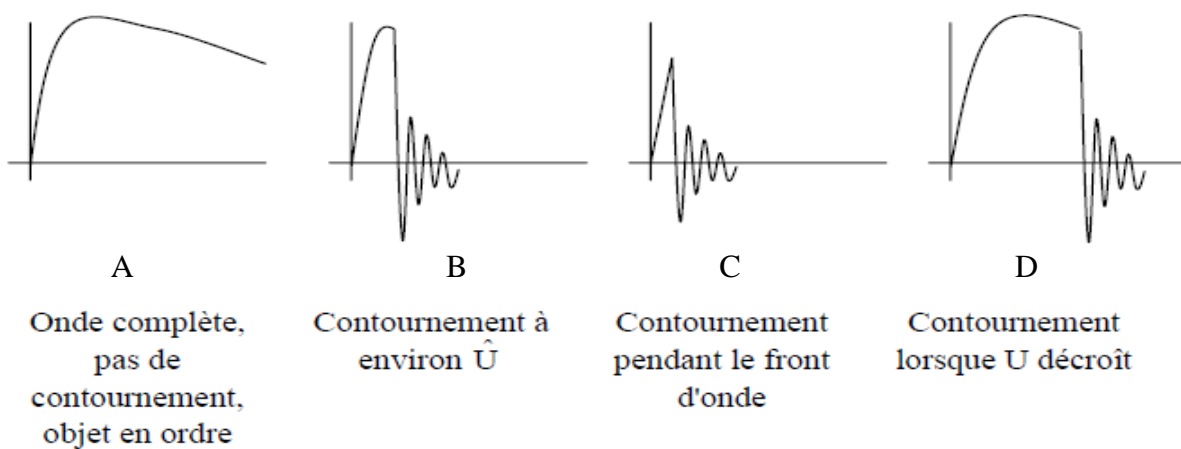
Exemple : essai d'un transformateur (voir aussi CEI 76)



1 choc à 50%, contrôles  
 1 choc - 100%, contrôles  
 2 chocs -  
 3 chocs +  
 Appareil bon ou mauvais,  
 observer l'oscillogramme  
 (cf. ci-dessous)

**Figure. I.16** essai d'un transformateur

Les cas suivants peuvent se présenter :



**Figure. I.17**

## I.5.2. SCHEMA DE BASE:

Pour obtenir aux bornes de l'objet en essai une onde unidirectionnelle à front raide, on utilise généralement le schéma suivant :

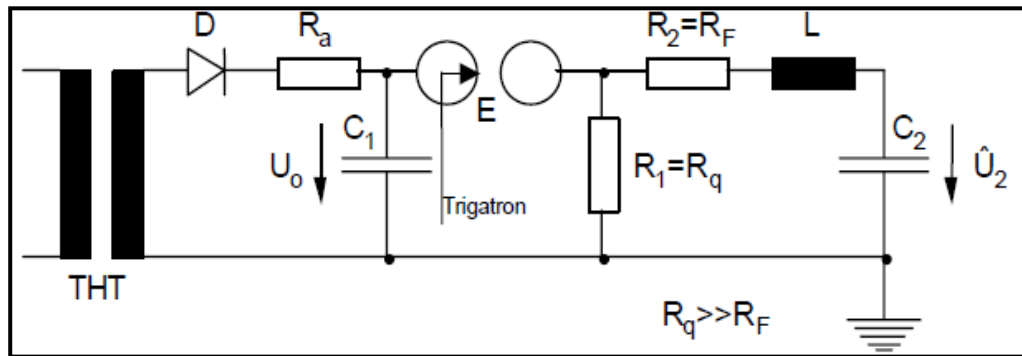


Figure. I.18 schéma - essai de choc

- C1 = capacité de choc (réservoir d'énergie)
- C2 = capacité de l'objet en essai + capacité du diviseur de tension
- R1 = résistance de queue d'onde (parallèle)
- R2 = résistance front d'onde (série)
- L = self-inductance du circuit, due aux dimensions et composants physiques
- $C1 = (10 \div 20) C2$

La condition d'a périodicité  $R^2 > 4 \frac{L}{C}$  doit être remplie pour avoir une onde unidirectionnelle correcte.

Le condensateur C1 se charge par l'intermédiaire de la transformatrice haute tension THT associé à la diode D. La résistance d'amortissement Ra empêche une charge trop rapide. Constante de temps lors du processus de charge  $\tau = Ra \cdot C1$  ( $\tau$  est de l'ordre de 10 à 20 s).

Lorsque la tension disruptive  $U_0$  de l'éclateur E est atteinte, C1 se décharge brusquement dans C2 au travers de la résistance de front R2. La résistance de queue d'onde R1 étant beaucoup plus grande que R2, les capacités C1 et C2 vont se décharger ensuite plus lentement dans cette résistance R1.

On démontre que la tension aux bornes de C2 peut être mise sous la forme :

$$u_2 = k \cdot U_0 \cdot \left( e^{-\frac{t}{\tau_2}} - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \dots\dots\dots(I.14)$$

- $U_0$  = tension de charge initiale de C1
- $\tau_2$  = constante de temps de queue d'onde =  $k_2 \cdot (C_1 + C_2) \cdot R_1$  ( $\mu s$ )
- $\tau_1$  = constante de front d'onde =  $k_1 \cdot C_2 \cdot R_2$  ( $\mu s$ )

$k$ ,  $k_1$  et  $k_2$  sont des constantes.

On peut représenter comme indiqué par la figure ci-après:

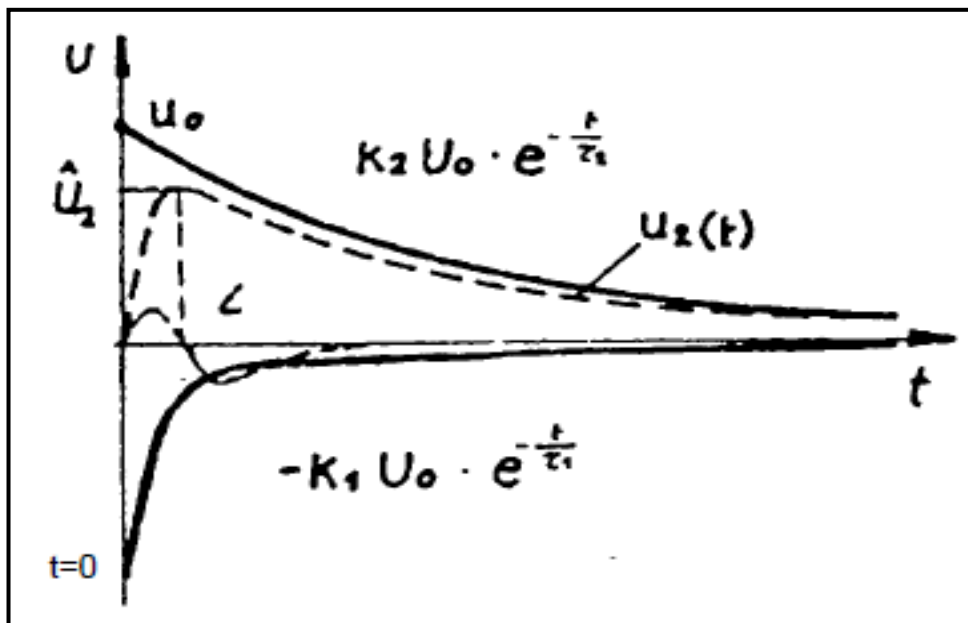


Figure. I-19 Schéma graphique de la tension  $U_2 = f(t)$

Il est utile de faire intervenir le rendement en tension du générateur de choc :

$$\eta_u = \frac{\hat{U}_2}{U_0} = f\left(\frac{C_2}{C_1}\right) \dots\dots\dots(I.15)$$

Dans la pratique, on préfère, plutôt que d'employer les constantes de temps  $\tau_1$  et  $\tau_2$ , calculer le circuit en fonction des durées normalisées  $T_1$  et  $T_2$  du front et de la valeur de mi-amplitude de la tension de choc.

Dans le cas du schéma de la figure I.18, on obtient :

a) Selon CEI :

$$T1 \cong 2.3 R_2 \cdot C_2 \quad \text{si } C_1 > 10 C_2$$

$$T2 \cong 0.63 R_1 \cdot C_1 \quad \text{si } R_1 > 10 R_2$$

b) Selon VDE :

$$T1 \cong \frac{2}{b} \cdot R_2 \cdot \frac{C_2 \cdot C_1}{C_2 + C_1}$$

$$T2 \cong \frac{1}{a} \cdot R_1 \cdot (C_2 + C_1)$$

avec  $\frac{2}{b} = 2,96$  pour 1,2/50 ou  $= 1,49$  pour 1,2/5  $\mu s$   
 $\frac{1}{a} = 0,73$  pour 1,2/50 ou  $= 1,44$  pour 1,2/5  $\mu s$

Si  $C_2$  et  $C_1$  sont en  $\mu F$  et  $R_1 R_2$  en  $\Omega$ , on aura évidemment des temps en  $\mu s$

Le générateur de choc avec la Câbleries de Cossonay a les caractéristiques suivantes:

- $C1 = 20800 \text{ pF}$                       -  $C2 = 1000 \div 5000 \text{ pf}$                       -  $R1 = 330 \times 12 = 3960 \Omega$
- $R2 = \text{résistance de front max. pour la capacité de l'objet minimum} : 440 \Omega$
- $T1 = 2.3 \cdot 440 \cdot 10^{-9} = 1.01 \mu s$                       -  $T2 = 0.63 \cdot 3960 \cdot 0.0208 = 52 \mu s$

L'onde obtenue sur un objet de 1000 pF sera bien une onde normalisée 1.2/50  $\mu s$ .

### I.5.3. SCHEMA MULTIPLICATEUR DE MARX:

Pour obtenir des tensions de choc de l'ordre de plusieurs MV (max. réalisé env. 6 MV) nécessaires à l'essai du matériel à très haute tension, il est indispensable d'utiliser le schéma de la figure. I.20.

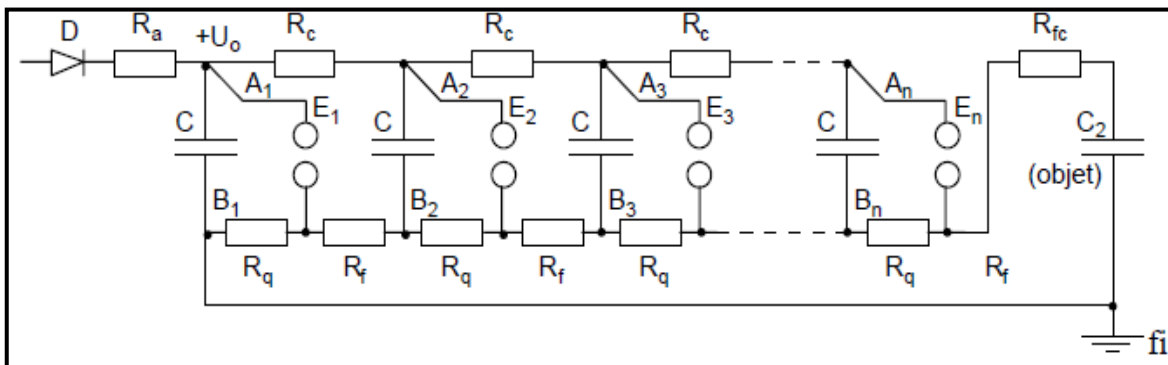


Figure I.20 Générateur à n étages

Les résistances de charges  $R_c$  sont de l'ordre de 8 à 10  $R_q$  ce qui fait qu'elles n'ont pratiquement pas d'influence sur la forme de la tension de choc sur  $C_2$ . Pendant la période de charge des  $n$  condensateurs d'étage  $C$ , toutes leurs armatures  $A$  se trouvent au même potentiel. La chute de tension dans les résistances  $R_c$  est négligeable. Les armatures  $B$  sont au potentiel de terre par l'intermédiaire des résistances  $R_q$  et  $R_f$ . Le premier éclateur  $E_1$  est réglé avec un écartement légèrement plus faible que celui des autres éclateurs ou dispose d'un dispositif d'amorçage (bougie).

Par conséquent, l'amorçage se produit d'abord sur  $E_1$ , à la tension  $U_0$ , et le potentiel de  $A_2$  devient  $2 U_0$ . L'éclateur  $E_2$  sollicité par une tension  $2U_0$  s'amorce à son tour, et ainsi de suite. La tension de choc totale sera donc de la forme :

$$u_2 = k \cdot U_0 \cdot n \cdot \left( e^{-\frac{t}{\tau_2}} - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \dots\dots\dots(I.16)$$

Prenons le cas du générateur de Cossonay décrit précédemment. Il comporte 12 étages avec une capacité de  $0.25 \mu\text{F}$  par étage. Tension de charge :  $200 \text{ kV}$  par étage. Pratiquement avec une capacité de charge  $C_2$  de  $1000 \text{ pF}$ , on obtient un rendement en tension  $\eta_u$  de  $0.92$ .

Energie accumulée max :  $W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0^2$

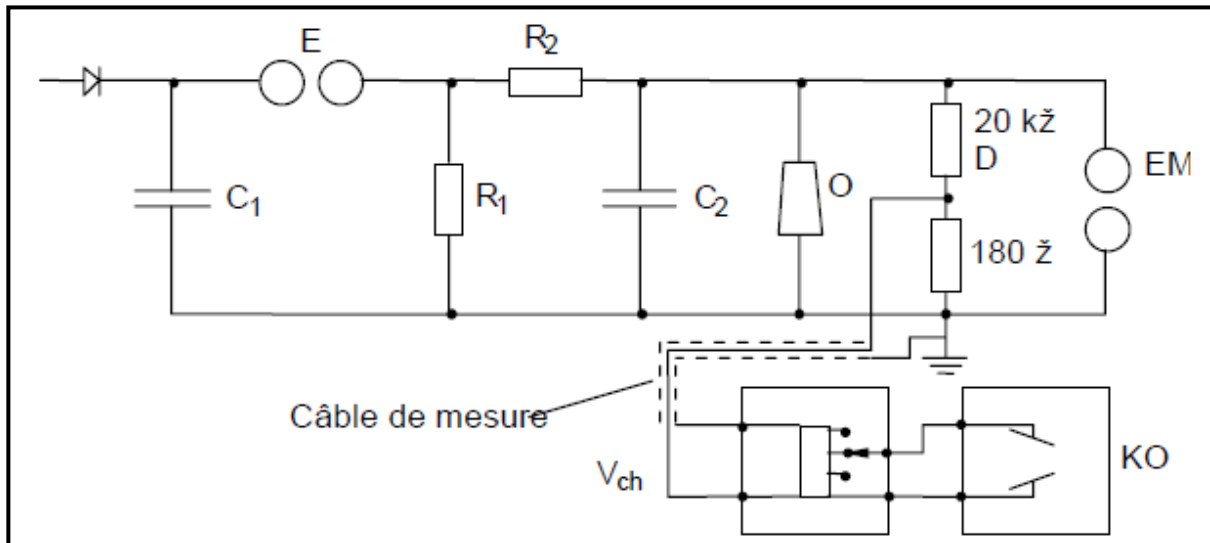
$$W = \frac{12 \cdot 0.25 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2 \cdot 10^6}{2} = 6 \cdot 0.25 \cdot 4 \cdot 10^4 = 6 \cdot 10^4 \text{ J} = 60 \text{ kJ}$$

$$\text{Tension de choc de crête : } \hat{U} = 0.92 \cdot 12 \cdot 200 = 2200 \text{ kV} = 2.2 \text{ MV}$$

#### I.5.4. DECHARGE DU GENERATEUR DE CHOC:

Pour simplifier, revenons au schéma de base décrit sous figure. I.21. La tension se mesure en général à l'aide d'un diviseur qui peut être, par exemple, du type ohmique ou ohmique capacitif. Le voltmètre de choc est en réalité un dispositif de mesure de la tension de crête de l'onde de choc.

Le schéma équivalent du circuit sera tel que décrit par la figure suivante:



**Figure I.21** Ex. du générateur de Cossonay

- $C_1$  = capacité de choc du générateur  $20.8\text{ nF}$
- $C_2$  = capacité de charge de base (par ex.  $1000\text{ pF}$ )
- $C$  = objet à l'essai (par ex. isolateur de  $10\text{ pF}$ )
- $D$  = diviseur ohmique
- $EM$  = éclateur de mesure (pour l'étalonnage du voltmètre de choc)
- $K_0$  = oscilloscope spécial de choc à grande vitesse d'inscription et haute tension de post-accelération ou oscilloscope numérique, entrée directe sans amplificateur :  $1600\text{ V}$ .
- $V_{ch}$  = voltmètre électronique de choc avec résistance d'adaptation au câble de mesure (par ex.  $72\ \Omega$ ).

On étalonne le voltmètre de choc, associé au diviseur, avec l'éclateur à sphères

On rappelle que l'éclateur mesure bien la tension de crête de l'onde de choc.

Pour contrôler la forme de la tension de choc, on photographie / plote / imprime l'image de l'onde sur l'écran de l'oscilloscope. On enregistre sur le même graphique une courbe d'étalonnage en temps, donnée en général par un générateur interne de l'oscilloscope. Il est alors possible de déterminer  $T_1$  et  $T_2$ , la durée du front et celle de mi-amplitude de notre tension de choc (procédure, cf. figure. I.14).

## I.6. MESURE DE HAUTE TENSION EN LABORATOIRE :

On utilise généralement :

### I.6.1. DISPOSITIFS DE MESURES DE VALEURS DE CRETE:

Des dispositifs de mesure de valeur de crête, comprenant un diviseur capacitif à la partie inférieure duquel on prélève la tension à mesurer.

### I.6.2. DISPOSITIFS DE MESURES DE TENSION DE CHOC:

Des dispositifs de mesures de tension de choc, comprenant un diviseur capacitif ou ohmique, à la partie inférieure duquel on prélève la tension à mesurer. Ce dispositif diffère du premier mentionné, car il est prévu pour mesurer des ondes de choc de courte durée.

A noter qu'aux fréquences élevées que représente l'onde de choc, les câbles doivent être adaptés. En général, le câblage et les adaptateurs font partie intégrante du système de mesure.

De plus en plus d'appareils électroniques sont utilisés pour ces mesures.

### I.6.3. CORRECTION DE LA TENSION DISRUPTIVE MESUREE [10]:

Influence des conditions atmosphériques.

Les tensions continues, alternatives, disruptives de choc et de tenue, etc., sont en général rapportées à la pression normalisée de 760 mm de Hg et à la température de 20° au moyen de la relation :

$$U_{760.20} = U_{b,t} \frac{760}{b} \cdot \frac{273+t}{273+20}$$

$$U_{760.20} = U_{b,t} \frac{1}{0.386} \cdot \frac{T}{b} = U_{b,t} \cdot \frac{1}{k} \quad \dots\dots\dots(I.17)$$

$$k = 0.386 \cdot \frac{b}{T} \quad (\text{densité relative de l'air})$$

- $U_{b,t}$  = tension disruptive aux conditions du moment
- $b$  = pression atmosphérique en mm de Hg
- $T = 273 + t$   $t$  = température ambiante [°C].

**I.6.4. ESSAI STATISTIQUE DE DECHARGES DISRUPTIVES A 50 % (POUR ESSAIS DE CHOC)[5]:**

Cette procédure s'applique à l'utilisation de l'éclateur à sphères, par exemple pour étalonner un voltmètre de choc. On règle la tension de manière à obtenir, pour une distance précise entre sphères :

- 10 chocs consécutifs avec
- 5 chocs sans décharge
- 5 chocs avec décharge

C'est à dire 50% de décharges disruptives !

La lecture doit indiquer à ce moment la tension selon CEI 52 (courbe de Paschen) avec une tolérance de  $\pm 3 \%$ .

Cet étalonnage se fait en général à 80% de la tension de choc pour ne pas engendrer trop de contraintes sur l'appareil en essai, s'il est nécessaire pour l'étalonnage (capacité non négligeable).

**I.7. CONCLUSION :**

Dans ce chapitre, nous avons cité les dispositifs expérimentaux pour créer les différents types de tension, (circuit d'essai, etc), nous avons présenté les modèles en circuit des générateurs utilisés au labo, ainsi que la forme d'onde pour chaque essai.

Finalement nous avons donné les corrections atmosphériques d'essai pour bien préciser les valeurs mesurées.

Dans le chapitre qui suit nous présentons les différentes méthodes de mesure pour la tension alternative, continu et de choc.

## II.1. INTRODUCTION:

Des tensions élevées peuvent être mesurées dans une variété de façons. La mesure directe de la haute tension est possible jusqu'à environ 200 kV, et plusieurs formes de voltmètres ont été mise au point qui peut être connecté directement à travers le circuit d'essai. Des tensions élevées sont également mesurées en se retirant de la tension en utilisant des transformateurs et des diviseurs potentiels. L'amorçage des inter-sphères et d'autres inters-électrodes sont également utilisés, en particulier dans l'étalonnage de compteurs dans les mesures de haute tension. Les Tensions transitoires peuvent être enregistrées à l'aide des diviseurs de tension et oscilloscopes.

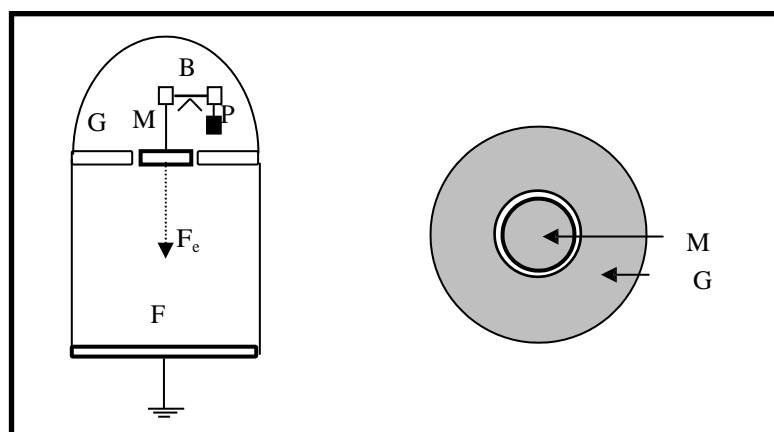
## II .2. MESURE DIRECTE DES TENSIONS ELEVEES :

### II.2.1. VOLTMETRE ELECTROSTATIQUE:

Il fonctionne suivant le principe de la force d'attraction électrique  $F_e$  entre deux charges.

Le disque mobile en figure II.1 M relié au potentiel HT à mesurer, et situé au centre de l'anneau de garde G, est attiré par le disque fixe F, l'attraction est d'autant plus forte que le potentiel est élevé. Une aiguille d'indication de mesure est reliée à l'électrode M, la force de rappel du disque M étant assurée par un contrepois P qui permet aussi de régler le calibre de mesure.

L'anneau de garde G, de même diamètre que l'électrode fixe F, assure l'uniformité du champ électrostatique suivant l'axe vertical entre les électrodes fixe et mobile[8].



**Figure II.1.** Voltmètre Electrostatique avec le disque mobile et l'anneau de garde

L'énergie électrostatique accumulée est :  $W = \frac{1}{2} CU^2$

La capacité vaut :  $C = \epsilon_0 S/x$

Etant donné qu'il s'agit d'un champ uniforme, la tension  $U$  est égale à  $U = E x$ .

Soit  $W = \frac{1}{2} \epsilon_0 (S/x) E^2 x^2$  Comme  $dW = F dx$

$F = dW/dx = \frac{1}{2} \epsilon_0 S E^2$

Soit donc:  $F = \frac{1}{2} \epsilon_0 S V^2/x^2$

La force appliquée sur  $M$  est  $F = \frac{1}{2} \epsilon_0 S V^2/x^2$

Avec:  $S$  (cm<sup>2</sup>) : Surface du disque mobile  $M$  ;  $x$ (cm) : longueur inter-électrodes,

$V$ (kV) : ddP entre les électrodes.

Les gammes de mesure de l'appareil se règlent en modifiant la distance  $d$  entre les électrodes.

La précision augmente,

- en augmentant  $d$  : au-delà d'une certaine valeur, le voltmètre devient volumineux et encombrant.
- en diminuant  $l$  : en descendant en dessous d'une certaine valeur, ceci empêche la mesure des tensions plus grandes car le champ qui augmente ( $E=V/l$ ) finit par provoquer le claquage entre les électrodes  $M$  et  $F$ .

La précision de mesure de ces appareils égale à environ 0.1, est bonne [4,5]. De plus, le voltmètre électrostatique permet de mesurer des tensions allant jusqu'à 270 kV.

Des voltmètres spéciaux peuvent mesurer des tensions de 600 kV et plus ; dans ce cas, le voltmètre est placé dans une enceinte étanche où l'espace inter électrodes est rempli par un gaz électronégatif comme le SF<sub>6</sub> ou le nitrogène, et porté à une haute pression de 15 atmosphères. Quelques fois, le gaz pressurisé est remplacé tout simplement par du vide.

Il n'y a pratiquement pas d'énergie perdue par ce voltmètre car le seul courant qui puisse circuler est un courant de fuite entre les électrodes qui est négligeable. Les pertes sont donc négligeables lors de la mesure des tensions continues et alternatives. Néanmoins, comme ces pertes sont proportionnelles à la fréquence de la tension elles deviennent considérables lors de la mesure des hautes tensions HF (Haute Fréquence de l'ordre du MHz).

C'est le meilleur moyen recommandé pour la mesure des tensions continues et alternatives.

## II .2.2 MESURE PAR ECLATEUR :

L'éclateur en figure II.2 est constitué de deux électrodes sphériques identiques, dont l'une est reliée à la terre et l'autre reliée au potentiel à mesurer, où la distance inter-électrodes  $d$  est réglable.

Il peut être conçu pour être utilisé soit [2]:

- Dans une position horizontale (voir la figure ci-dessous) qui est la disposition la plus fréquemment utilisée ;
- dans une position verticale, utilisée pour les sphères de grand diamètre  $D$  ( $D \geq 50\text{cm}$ ).

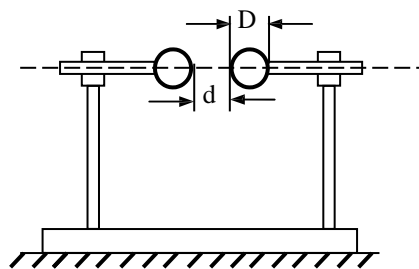


Figure II.2. Éclateur a sphère

### II.2.2.1. PRINCIPEDEFONCTIONNEMENT :

Chaque éclateur possède un abaque, qui est une courbe d'étalonnage entre la tension critique de claquage  $U_c$  et la longueur inter-électrodes  $d$  (voir figure ci-dessous).

La tension à mesurer est appliquée aux deux électrodes, puis on diminue la distance  $d$  jusqu'à une valeur critique  $d_c$  qui provoque le claquage. Comme chaque éclateur possède un abaque tracée  $U_c = f(d_c)$  qui fait correspondre à chaque distance critique la tension critique

$U_c$ , cet abaque donne la mesure de la tension appliquée qui correspond à la valeur  $d_c$ . Par exemple, la tension à mesurer provoque un claquage de l'éclateur pour une distance critique  $d_c = 9\text{ cm}$ . Si on suppose que la figure II.3 ci-dessous représente l'abaque de cet éclateur, la tension mesurée est donc 200 kV.

Si par exemple, l'éclateur claque à  $d_c = 50\text{ cm}$ , l'abaque montre que la tension appliquée dans ce cas est de 1000 kV.

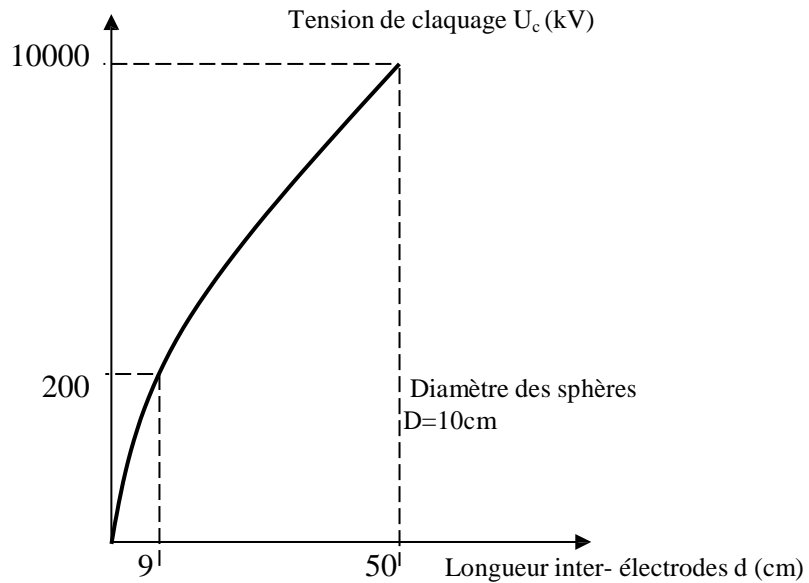


Figure II. 3 abaque d'éclateur a sphère

L'éclateur peut être utilisé pour la mesure des trois types de tension : alternative et onde de choc (valeur crête), ainsi que la tension continue. Il compte parmi les tous premiers appareils utilisés pour la mesure des HT. Il constitue la référence conventionnelle permettant d'étalonner tous les types de voltmètres utilisés dans un laboratoire d'essais à haute tension.

La précision de mesure dépend entre autres de l'uniformité du champ entre les sphères, celle-ci pourrait être améliorée avec une forme géométrique des électrodes moins arrondie et plus plate (voir figure II.4).

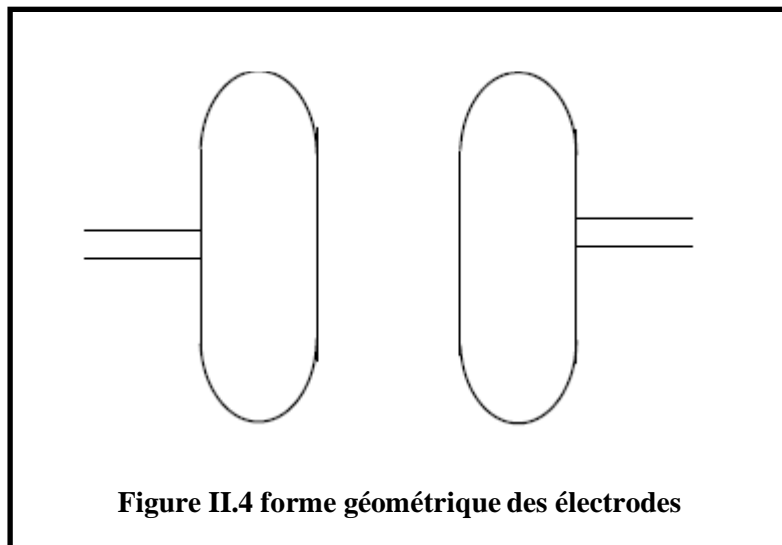


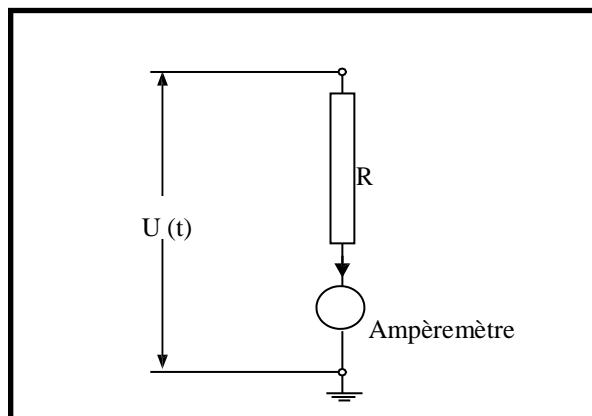
Figure II.4 forme géométrique des électrodes

**Remarque :** L'éclateur constitue la référence conventionnelle permettant d'étalonner tous les types de voltmètres utilisés dans un laboratoire d'essais à HT.

**II.2.3. MESURE GALVANOMETRIQUE:**

La mesure de la tension est effectuée par la dérivation d'un courant  $I$  à travers une grande résistance de mesure  $R$  ( $R \geq 1 \text{ M}\Omega$ ) comme la présenté à la figure II.5. La mesure du courant  $I$  donne la valeur de la tension  $U = RI$ .

Vu la grande valeur de  $R$ , le courant  $I$  doit être très petit (de l'ordre du milliampère) pour minimiser l'échauffement par effet Joule [2,4]. D'autre part, la mesure d'un courant faible pourrait éventuellement être faussée par des courants parasites, tels que les courants de fuite ou ceux produits par effet couronne.



**Figure II.5. Méthode de mesure Galvanométrique.**

La précision de mesure dépend de la qualité de la résistance qui ne doit pas varier énormément avec la température et avoir un faible coefficient de température ; la précision est généralement très bonne, de l'ordre de 0,01 %.

La précision de mesure est difficile à garantir étant donné que la valeur de la résistance est fonction de la température, de l'humidité, du vieillissement, etc...

**II.3. DIVISEURS DE TENSION**

**II.3.1. DIVISEUR RESISTIF [2]:**

Un diviseur de tension est formé d'une grande résistance R<sub>1</sub> et d'une petite résistance R<sub>2</sub> placées en série.

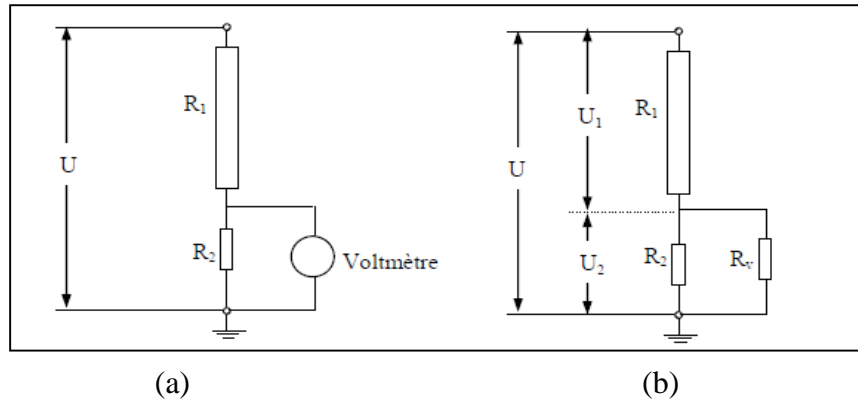


Figure II.6. (a) Diviseur résistif- (b) circuit électrique équivalent.

**II.3.1.1. RAPPORT DE DIVISION (g):**

$$g = \frac{u}{u_2} = \frac{R_1 + R'_2}{R'_2} \dots\dots\dots(I.18)$$

avec  $\frac{1}{R'_2} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_v}$  ou R<sub>v</sub> résistance du voltmètre.

ou  $R_v \gg R_2 \Rightarrow R'_2 \approx R_2 \Rightarrow g = \frac{U}{U_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \dots\dots\dots(I.19)$

comme aussi  $R_1 \gg R_2 ; g = \frac{u}{u_2} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow U = \frac{R_1}{R_2} \times u_2$

La mesure de la ddP U<sub>2</sub> aux bornes de R<sub>2</sub> nous donne la valeur de la tension globale U.

Comme il s'agit d'un rapport ( R<sub>1</sub> / R<sub>2</sub> ), les variations de température, d'humidité et de vieillissement ayant lieu en général dans le même sens, la précision de mesure est peu affectée (généralement inférieure à 1 %).

**II.3.2. DIVISEUR CAPACITIF [ 2 ] :**

En tension alternative, on recourt au diviseur capacitif pour minimiser les pertes d'énergie.

La capacité C<sub>1</sub> est un condensateur a haute tension dont la valeur de capacité est beaucoup plus faible que celle du condensateur C<sub>2</sub> de la branche basse tension. D'autre part, on néglige la grande impédance du voltmètre devant celle de C<sub>2</sub>.

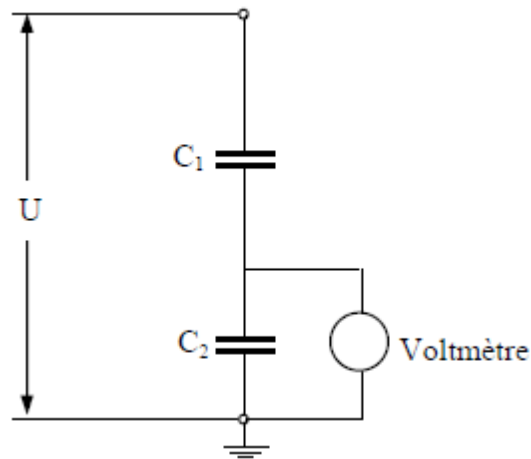


Figure II.7. Diviseur de tension capacitif

### II.3.2.1. RAPPORT DE DIVISION :

$$g = \frac{u}{u_2} = \frac{\left(\frac{1}{C_1 w} + \frac{1}{C_2 w}\right) I}{\frac{1}{C_2 w} I} = \frac{\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)}{\frac{1}{C_2}} = \frac{C_2 + C_1}{C_1} \quad \dots\dots\dots(I.20)$$

comme  $U = \frac{C_2 + C_1}{C_1} U_2$ , la mesure de  $U_2$  nous donne la tension globale  $U$ .

Notons que puisque  $C_2 \gg C_1 \Rightarrow \frac{u}{u_2} = \frac{C_2}{C_1}$ .

### II.3.3. TRANSFORMATEUR DE MESURE:

On utilise aussi tout simplement un transformateur de tension abaisseur de petite puissance; afin de connaître la tension à mesurer il suffit de multiplier la tension mesurée au secondaire par le rapport de transformation.

Il donne des mesures très précises, mais il est surtout utilisé pour la mesure des tensions des réseaux de puissance et rarement utilisé dans les laboratoires.

### II.3.4. OSCILLOSCOPE A MEMOIRE:

L'oscilloscope n'est pas un appareil destiné pour la mesure en HT, mais il permet d'enregistrer en mémoire les tensions très brèves comme les ondes de choc. Ils sont généralement utilisés dans les expériences brusques et brèves, telles que le contournement ou le claquage. Ils offrent l'avantage de visualiser l'allure de la tension et ne donnent que la valeur crête de la tension. La tension visualisée sur l'oscilloscope est prélevée à l'aide d'une sonde spéciale HT.

**II.3.4. OSCILLOSCOPE DE CHOC :**

Les phénomènes de choc enregistrés étant de l'ordre de la  $\mu\text{s}$ , on utilise des oscilloscopes spéciaux, appelés oscilloscopes de choc.

**II.4. CONCLUSION :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté des différentes méthodes de la mesure en haute tension les plus simples utilisées, il s'agit du voltmètre à électrostatique. Cette méthode a pris sa place sur le marché, aussi la méthode d'éclateur à sphère qui permet de mesurer la haute tension pour les trois types de la tension et étalonner tous les voltmètres de laboratoire.

Les diviseurs de tension quelle que soit résistive ou capacitive servent à minimiser la tension mesurée avec un rapport de division très grand et pour maintenir les appareils de mesure a supporté la tension contrôlée.



### III.1. INTRODUCTION:

Pour mieux comprendre le développement d'une décharge électrique et en particulier une décharge couronne une source de haute tension est nécessaire. Les sources disponibles au laboratoire sont lourdes et nécessite un équipement supplémentaire. On effet, on dispose d'une source de tension alternative qui faut redresser pour obtenir une tension continue en plus du volume du dispositif qui est lourd et ne peut être déplacé.

Nous avons pensé à désigner un dispositif simple qui peut être alimenté en 220V et donné en sortie une tension variable de 0 à 30kV. Notre première inspiration a été introduite par le dispositif d'alimentation d'un LIFTER [9].

Une telle réalisation nécessite obligatoirement une phase de simulation étant donné qu'on ne peut plus concevoir et réaliser un circuit sans vérifier si les choix et les calculs préalables conduisent bien aux fonctions et aux performances souhaitées. Donc on a besoin d'un outil puissant permettant de tenir compte de la dynamique des composants. Le logiciel PSpice est une bonne alternative, étant donné qu'il se présente dans la suite Orcad qui permet, l'étude électrique, l'étude thermique et la réalisation du circuit imprimé.

D'abord conçu pour éliminer l'étape du prototype lors de la conception des circuits intégrés, le logiciel PSpice apporte des améliorations dont les résultats sont graphiquement visualisables.

Le choix de ce logiciel est dicté par le fait qu'il est basé sur le standard Spice, moteur de simulation incontournable, et qui est une référence dans l'industrie. C'est l'un des logiciels de simulation largement diffusé à travers le monde. Spice est l'acronyme de "Simulation Program for Integrated Circuit Emphasis", De plus il présente une très grande ergonomie et une convivialité certaine.

### III.1.PRESENTATION DE PSPICE :

Elles se manifestent en particulier à travers le fichier Capture, pour la saisie de la fonction électronique étudiée, et le fichier Probe pour la visualisation et l'analyse des résultats. PSpice peut simuler des circuits analogiques et digitaux utilisant des composants discrets et des circuits intégrés. Par conséquent, les domaines d'application de PSpice sont nombreux.

Ps spice a divers avantages :

Il est basé sur le standard industriel Spice et donne donc accès à d'immenses bibliothèques de modèles développées par les fabriquant.

Pspice est un logiciel très répandu dans les universités, les laboratoires et les bureaux de conception.

La prise en main du logiciel est facile.

Donc le PSpice est un outil puissant qui permet de réaliser des simulations de circuits électriques, analogique ou numérique ou mixte. Un peu complexe au premier abord, une fois passés les problèmes de prise en main pratique du logiciel et surtout après avoir saisi les différents modes de simulation possibles, il devient un outil puissant, rapide et pratique.

### III.3.CONCEPTION DU CIRCUIT :

La première contrainte de notre système est définie par la sortie qui est une tension variable de 0 à 30kV qui nécessite un transformateur HT figure III.1. Notre choix est allé vers une solution courante qui est la THT d'un téléviseur ou d'un moniteur de PC. Cette THT nécessite pour son fonctionnement une source de tension d'entrée variable à haute fréquence de 15 à 20kHz et d'amplitude de 0 à 60V entre la borne 1 et 2 du primaire. Donc une tension continue est nécessaire pour la rendre pulsée par la suite à l'entrée de notre THT. Pour la génération de l'impulsion on utilisera un transistor de puissance qui sera commuté à l'aide d'une horloge NE555 figure III.2 qui permet d'atteindre facilement une fréquence variable de 10 à 20kHz.

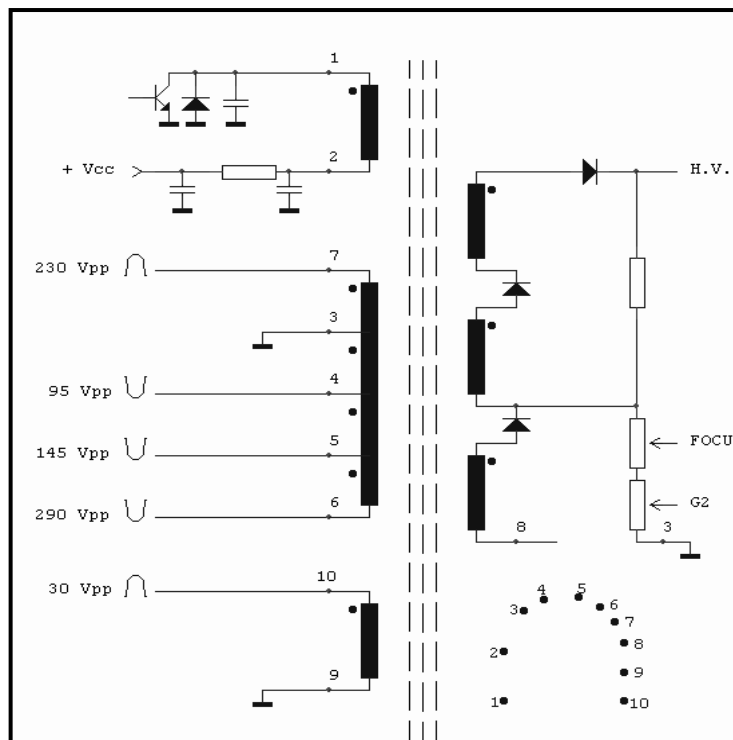


Figure III.1 : Schéma équivalent du THT

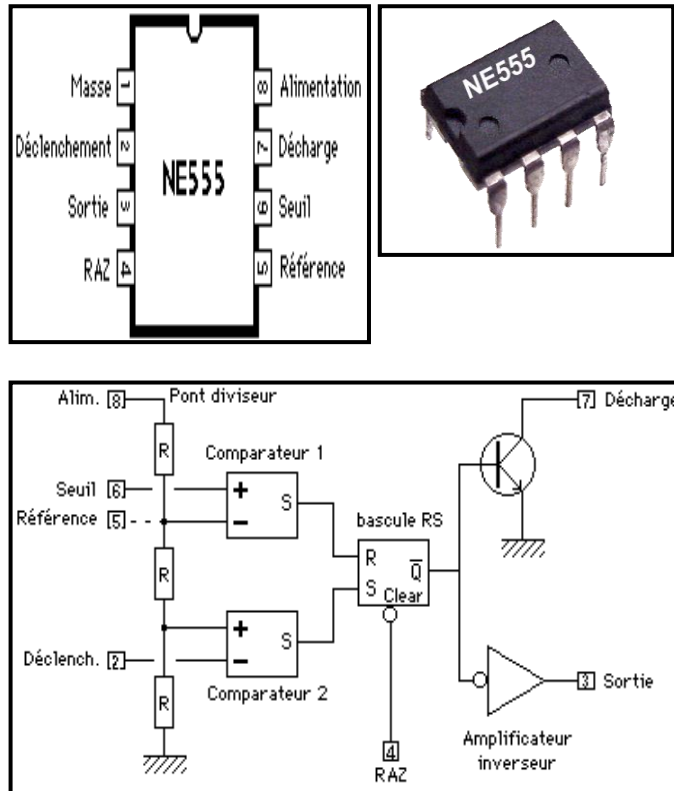


Figure III.2 : Brochage (Vue de dessus) et schéma équivalent du NE555

III.3.1. SCHEMA DU CIRCUIT :

La deuxième contrainte est l'énergie disponible, en effet on dispose d'une tension de 220V qui sera abaissée et redressée puis filtrée à l'aide d'un condensateur de 10000 $\mu$ F, qui servira en plus pour le stockage de l'énergie figure III.3. Une diode LED permet de vérifier le bon fonctionnement de cette partie.

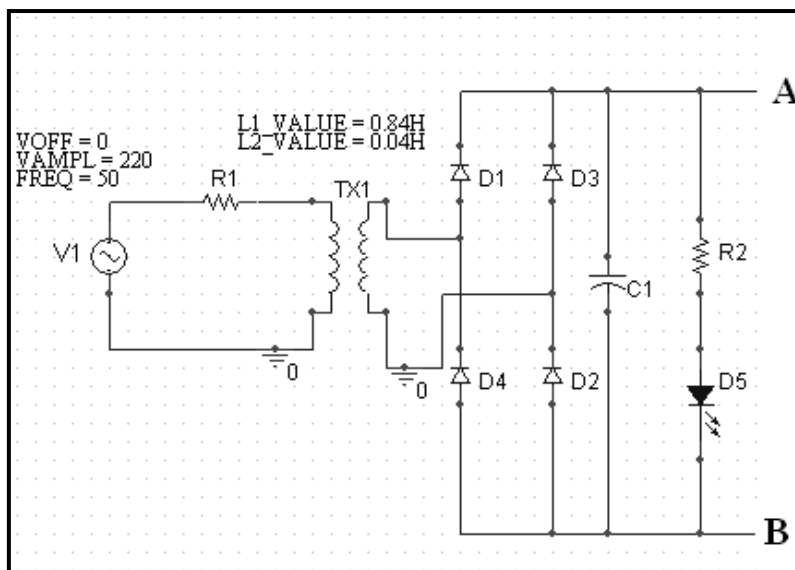


Figure III.3: Schéma de la première partie du circuit.

La deuxième partie de notre circuit doit nous permettre de générer en plus d'une tension de 12V régulé une tension variable de 0 à 60V.

Pour le régulateur, on utilise un régulateur de tension (78L12) figure III.4.

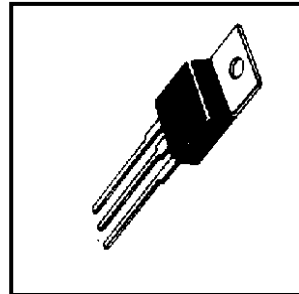


Figure III.4: Régulateur de tension 78L12.

Pour la tension variable, on utilise le circuit de la figure III.5 que l'on peut contrôler par la valeur de la résistance R3.

Le choix des résistances est défini par leur valeur en ohm et par leur puissance dissipatif. On effectue un calcul simple permet de constater que la résistance R4 va subir des valeurs de courant important.

$$V_S = 60 - 12 = 48V \quad \dots\dots\dots(I.21)$$

$$I = \frac{V_S}{R_5} = \frac{48}{1,8 \cdot 10^3} = 26,66mA \quad \dots\dots\dots(I.22)$$

La puissance dissipée est alors de :  $P = R \cdot I^2 = 1,8 \cdot 10^3 \cdot (26,66 \cdot 10^{-3})^2 = 1.28W$

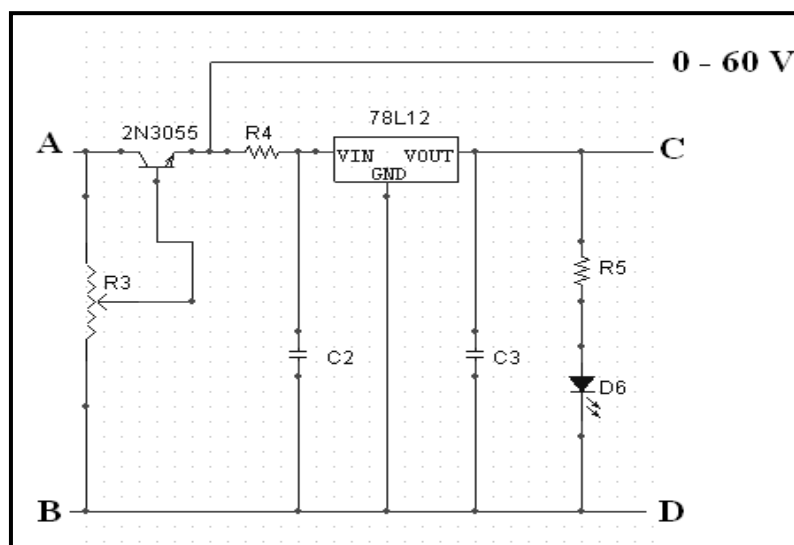
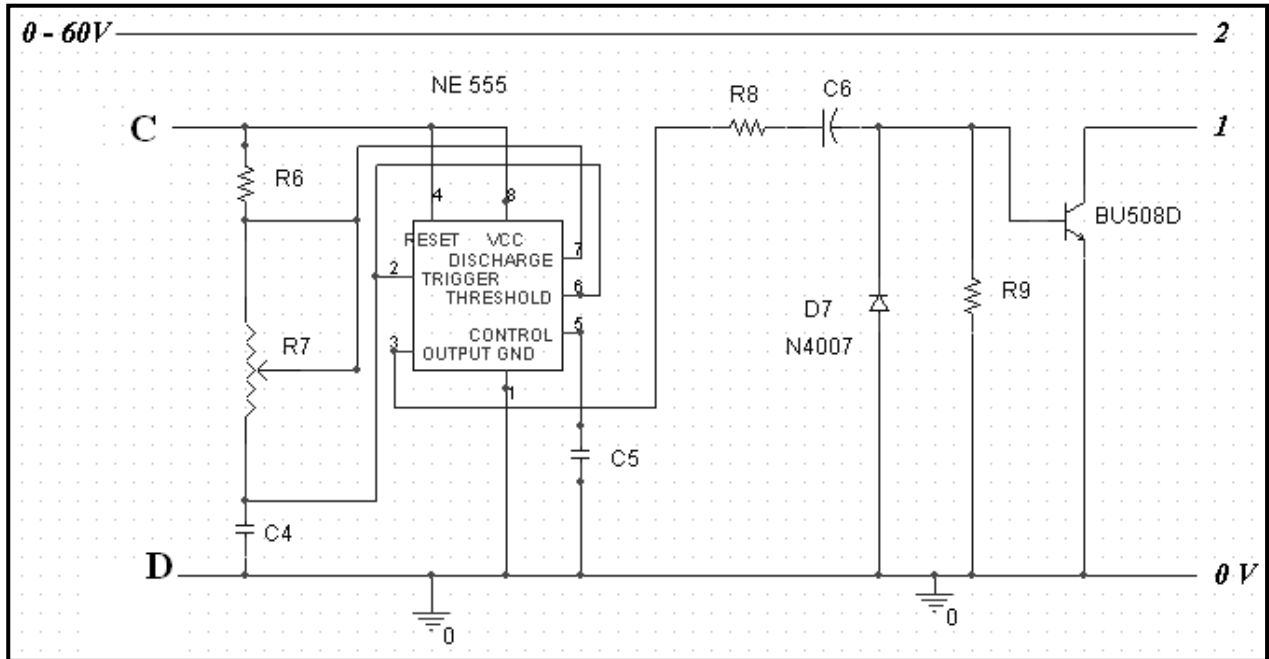


Figure III.5 : Schéma de la deuxième partie du circuit.

Le choix minimum pour le fonctionnement en toute sécurité est de 2W.

La troisième partie de notre circuit et qui permet d'être branché directement à la THT, est représentée par la figure III.6. Le NE555 génère des impulsions variables de l'ordre de 10 à 20kHz et qui permette de commuter notre transistor de puissance BU508D au niveau de sa base.



**Figure III.6 :** Schéma de la troisième partie du circuit.

Afin de vérifier le bon choix de nos composants le schéma figure III.7 a été implanté dans le module SCHEMATIC de « Orcad PSpice ».

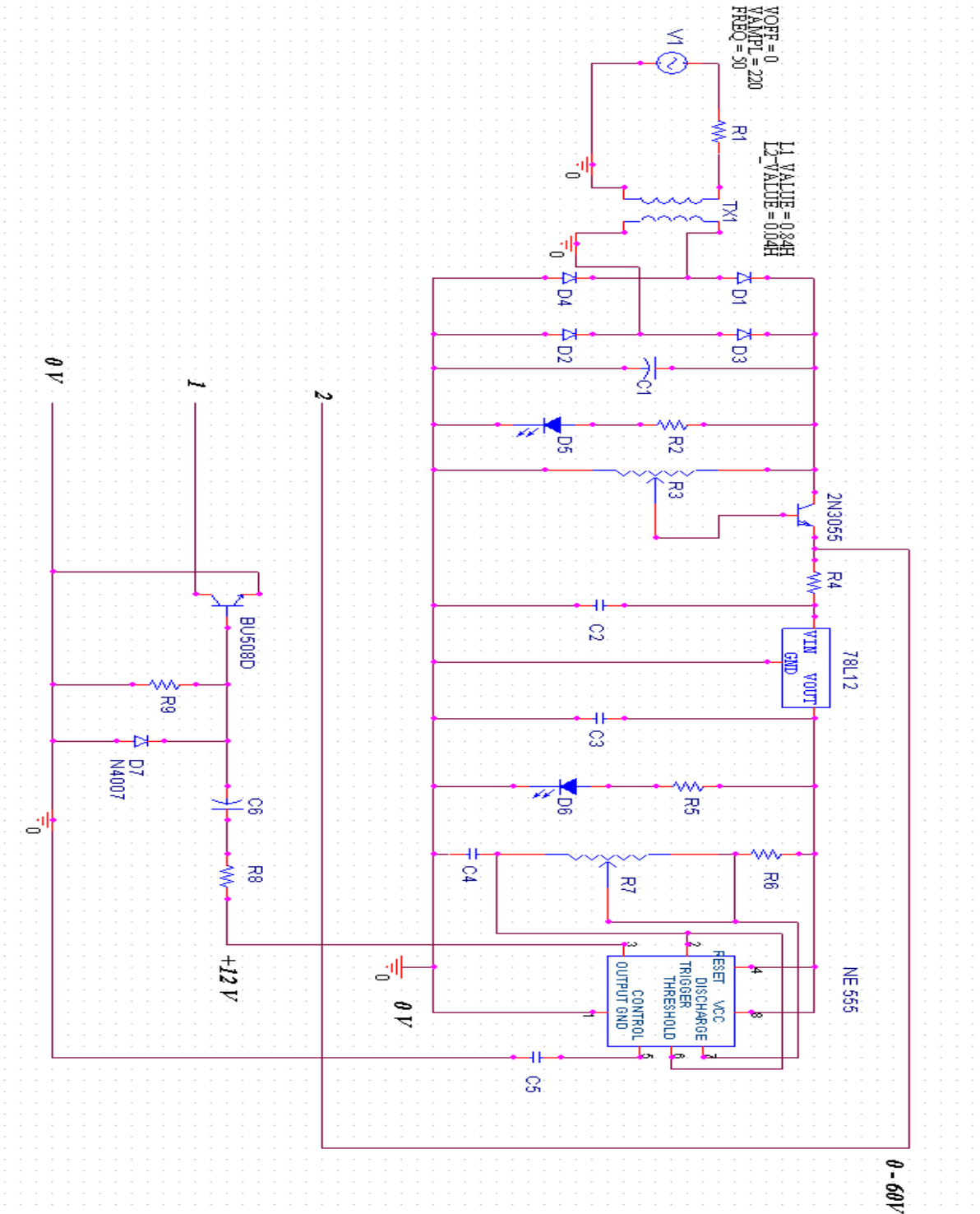


Figure III.7: Schéma général de l'alimentation HT (0 – 30 kV)

Sur le tableau suivant, on trouve la description des éléments qui constituent le circuit :

Symboles	Description	Quantité
V1	Source de tension alternative 220V/ 50Hz.	01
T1	Transformateur 220/48V	01
D1,D2, D3, D4	Pont de diodes	01
R1	Résistance de $1\Omega$	01
C1	Capacité polarisée de $10000\mu\text{F}$	01
C6	Capacité polarisée de $100\mu\text{F}$	01
R2	Résistance de $4.7\text{k}\Omega$	02
D5 et D6	LED	02
R3 et R7	Potentiomètre de valeur max = $4.7\text{k}\Omega$	02
C2 et C 3	Capacités de $100\text{nF}$	02
C4	Capacité de $15\text{nF}$	01
C5	Capacité de $10\text{nF}$	01
R5	Résistance de $1.8\text{k}\Omega$	01
2N3055	Transistor bipolaire	01
78L12	Régulateur de tension	01
NE 555	Temporisateur	01
D7	N4007	01
R8	Résistance de $10\Omega$	01
R6, R9	Résistances de $1\text{k}\Omega$	02

TABLEAU DE COMPOSANTS

### III.4. PRESENTATION DES COMPOSANTS ET LA CONCEPTION:

#### III.4.1. LE NE555 :

C'est un circuit intégré utilisé dès que la notion de temps est importante dans un montage.

Comme il est bon marché et relativement simple d'utilisation, c'est un circuit intégré "classique" en électronique. Ce circuit peut être monté selon 2 configurations :

**Monostable** : Comme son nom l'indique, le circuit possède un unique état stable. Il est utilisé comme générateur d'impulsion ponctuelle.

**Astable** : Le dispositif possède 2 états stables et sans aucune intervention extérieure, il passe naturellement d'un état à l'autre.

### III.4.1.1. DESCRIPTION DU BROCHAGE :

**Broche 1** : Masse

**Broche 8** : Alimentation

La tension entre la broche 8 et la broche 1 (masse) doit être comprise entre 4,5V et 16V. Dans notre cas, elle est de 12V.

**Broche 3** : Sortie

Prend l'état haut ( $V_{alim}$ ) ou bas ( $0 V$ ). Fournit une intensité maximale de 200 mA.

**Broche 4** : RAZ (Remise à zéro)

Met au repos de la bascule RS (sortie Q à l'état bas, et donc sortie -Q à l'état haut), si on applique un potentiel  $< 0,7V$ . Lorsque cette broche n'est pas utilisée, il est conseillé de la relier à  $V_{alim}$  afin d'éviter les mises au repos parasites.

**Broche 7** : Décharge

On place un condensateur entre cette broche et la masse. En mettant à l'état haut la sortie de la bascule RS, on commande la décharge quasi instantanée du condensateur dans le transistor.

**Broches 2** (Déclenchement), et 6 (Seuil) :

On y applique des potentiels  $V_{decl}$  et  $V_{seuil}$  pour commander l'état de la sortie (état haut ou bas) et l'état du transistor (bloqué ou passant).

**Broche 5** : Tension de Référence

On a deux possibilités :

Si cette broche est inutilisée (reliée à la masse par un condensateur de filtrage de 10 nF ) alors

$V_{seuil}$  est comparé à  $\frac{2}{3}V_{alim}$  et  $V_{decl}$  est comparé à  $\frac{1}{3}V_{alim}$ .

Si cette broche est utilisée (on y applique un potentiel  $V_{ref}$ ) alors  $V_{seuil}$  est comparé à  $V_{ref}$  et

$V_{decl}$  est comparé à  $1/2 V_{ref}$ .

III.4.1.2. LE MONTAGE MONOSTABLE :

A)- SCHEMA DU MONTAGE :

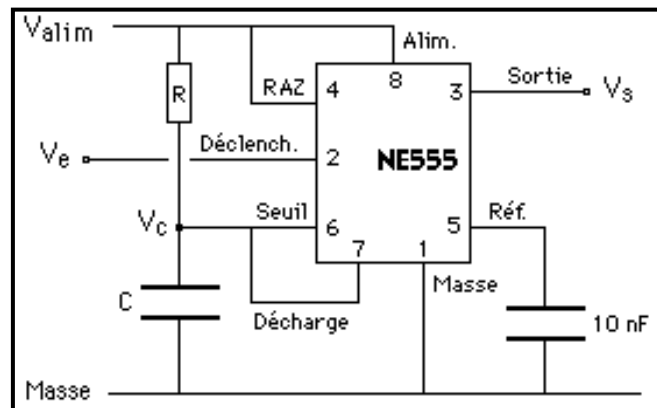


Figure III.8: Schéma du montage monostable.

B)- FONCTIONNEMENT DU MONTAGE :

L'état "de base" du montage est le suivant : la tension d'entrée  $V_e$  est haute (c'est à dire  $V_e > \frac{1}{3}V_{a\lim}$ ); la sortie est donc basse et le transistor est passant. Le condensateur C ne peut pas se charger et on a  $V_c = V_{seuil} = 0V$  (courbes en noir).

Le montage va réagir à une impulsion de  $V_e$  c'est à dire à un bref passage de  $V_e$  à l'état bas ( $V_e < \frac{1}{3}V_{a\lim}$ ).

➤ **Cas d'une impulsion brève (durée < R.C . Ln3) :**

$V_{decl}(=V_e)$  devient inférieur à  $\frac{1}{3}V_{a\lim}$  ; la sortie passe à l'état haut et le transistor est bloqué.

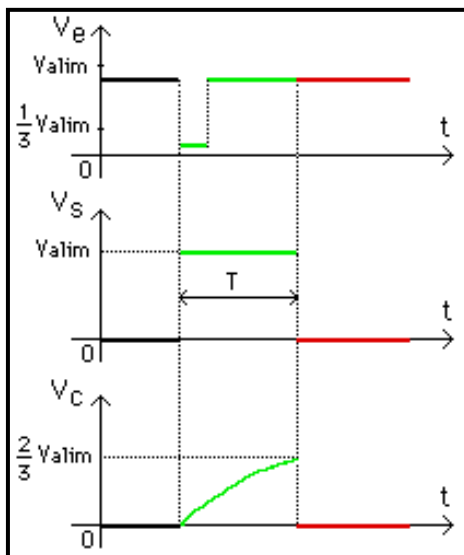
Le condensateur C se charge lentement à travers R selon la loi.

$$V_c = V_{a\lim} \left( 1 - e^{-\frac{t}{R.C}} \right) \dots\dots\dots(I.23)$$

Quand  $V_{decl}$  repasse à l'état haut ( $V_{decl} > \frac{1}{3}V_{a\lim}$ ), le condensateur continue de se charger tant

que  $V_{seuil} < \frac{2}{3}V_{a\lim}$ .

Quand  $V_{seuil}$  atteint  $\frac{2}{3}V_{a\lim}$ , la sortie revient à l'état bas et le transistor est passant; le condensateur C se décharge quasi instantanément dans le transistor et  $V_{seuil}$  passe à 0V.



A-Cas d'une impulsion brève

On retrouve la situation "de base"; le montage est prêt à réagir à une autre impulsion. Le montage fournit donc un potentiel  $V_s$  haut ( $= V_{alim}$ ) en sortie pendant une durée  $T$ , en réponse à une impulsion en entrée.

On peut calculer  $T$ , qui est le temps nécessaire au condensateur  $C$  pour se charger de  $0V$  à

$\frac{2}{3}V_{alim}$  à travers  $R$  :

On a :

$$\frac{2}{3}.V_{alim} = V_{alim} - (V_{alim} - 0).e^{\frac{-T}{R.C}} \dots\dots\dots(I.24)$$

Soit :

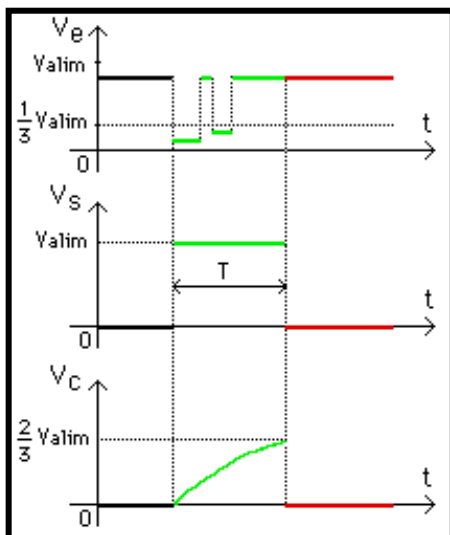
$$T = R.C. \ln 3 \dots\dots\dots(I.25)$$

$T$  est indépendant de  $V_{alim}$  et de la durée de l'impulsion.

➤ **Cas de plusieurs impulsions brèves :**

Si on applique à l'entrée plusieurs impulsions ( $V_e$  passe plusieurs fois sous la barre des  $\frac{1}{3}V_{alim}$ ) brèves (la somme des largeurs des impulsions restant inférieure à  $T$ ), le comportement du montage n'est pas changé.

La durée  $T$  vaut toujours  $T = R.C. \ln 3$



B-Cas de plusieurs impulsions brèves

➤ Cas d'une impulsion longue (durée > RC . ln3) :

Si on applique à l'entrée une impulsion de largeur  $> T (= R.C. \ln 3)$  alors la réponse sera de même largeur.

La tension aux bornes du condensateur dépasse la valeur de  $\frac{2}{3} V_{alim}$ .

On retrouve la situation "de base" quand la tension d'entrée repasse au dessus de  $\frac{1}{3} V_{alim}$ .

III.4.1.3. LE MONTAGE ASTABLE :

A)- SCHEMA DU MONTAGE :

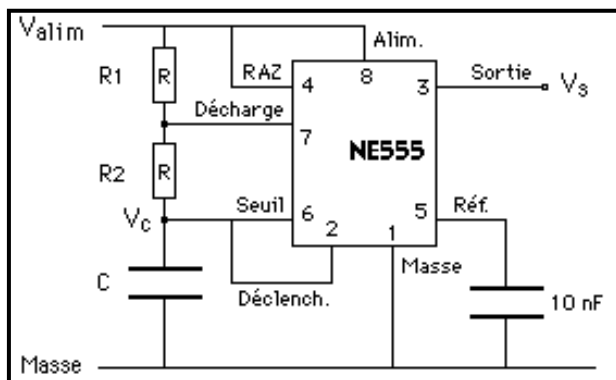


Figure III.9 : Schéma du montage astable.

**B)- FONCTIONNEMENT DU MONTAGE :**

**B)-1.HYPOTHESE :**

Le condensateur est supposé initialement déchargé :  $V_c = 0$  V. On a donc  $V_{seuil}$  et  $V_{decl}$  nuls, ce qui implique  $V_s = V_{alim}$ .

**B)-2.EVOLUTION TEMPORELLE DE  $V_c$  ET DE  $V_s$  :**

Le condensateur se charge à travers  $R_1 + R_2$  sous  $V_{alim}$  avec  $V_c(0)$  nul selon

$$V_C = V_{alim} \cdot e^{\frac{-t}{(R_1+R_2) \cdot C}}, \text{ jusqu'à ce que } V_c \text{ qui est égale à } V_{seuil} \text{ et } V_{decl} \text{ atteigne } \frac{2}{3} V_{alim}.$$

La sortie passe à l'état bas et le transistor devient passant; le condensateur se décharge à

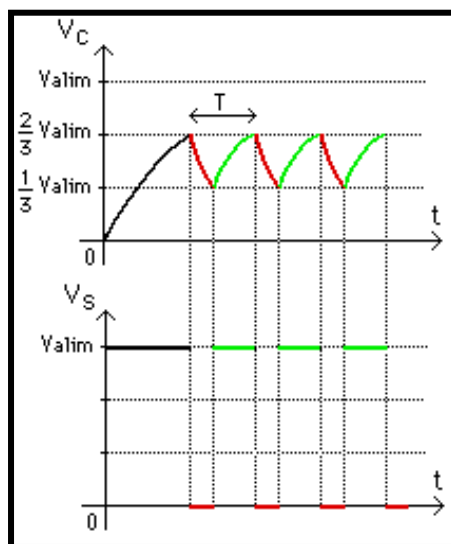
travers  $R_2$  selon  $V_C = \frac{2}{3} V_{alim} \cdot e^{\frac{-t}{R_2 \cdot C}}$  jusqu'à ce que  $V_c$  qui est égale à  $V_{seuil}$  et  $V_{decl}$

atteigne  $\frac{1}{3} V_{alim}$ .

La sortie passe à l'état haut et le transistor est bloqué; le condensateur se charge à travers

$$R_1 + R_2 \text{ sous } V_{alim} \text{ selon } V_C = V_{alim} \cdot \left( 1 - \frac{2}{3} \cdot e^{\frac{-t}{(R_1+R_2) \cdot C}} \right) \text{ jusqu'à ce que } V_c \text{ atteigne } \frac{2}{3} V_{alim}.$$

La sortie passe alors à l'état bas et le transistor est passant. On retrouve alors la situation précédente (en rouge).



**C- Evolution temporelle de  $V_c$  et de  $V_s$**

**III.4.1.4. CALCUL DE LA PERIODE T D'OSCILLATION :**

La période d'oscillation  $T$  est égale à la somme de la durée de charge du condensateur ( $V_c$  variant de  $\frac{1}{3}V_{a\lim}$  à  $\frac{2}{3}V_{a\lim}$ ) et de la durée de décharge ( $V_c$  variant de  $\frac{2}{3}V_{a\lim}$  à  $\frac{1}{3}V_{a\lim}$ ).

$$T = (R_1 + R_2).C.\ln 2 + R_2.C.\ln 2 \dots\dots\dots(I.26)$$

$$T = C.\ln 2.(R_1 + 2.R_2) \dots\dots\dots(I.27)$$

T est indépendant de la tension d'alimentation.

**III.4.2.LE REGULATEUR DE TENSION 78L12:**

C'est l'un des régulateurs de la série L78xx à 3 broches qui sont disponibles dans les boîtiers TO220 et TO3. Ce régulateur peut procurer une régulation locale éliminant les problèmes dus à une alimentation unique. Il possède une protection en courant, une protection thermique et de nombreuses autres protections le rendant pratiquement indestructible.

**III.4. 3.LE TRANSISTOR BIPOLAIRE 2N3055:**

Le 2N3055 est un transistor NPN de silicium plat. Il est destiné pour la commutation de puissance dans les circuits, pour les régulateurs série et shunt et en sortie d'étage des amplificateurs de haute de fidélité.

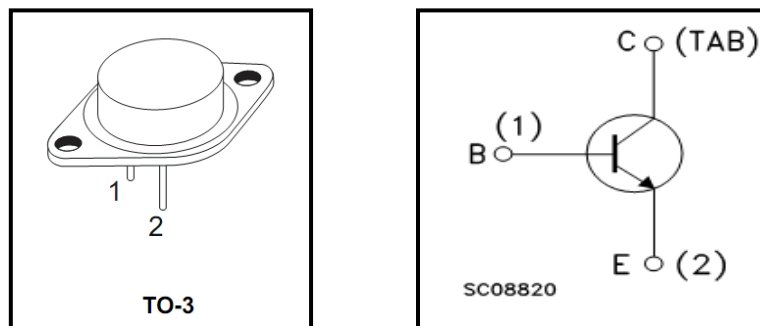


Figure III.10: Schéma équivalent du 2N3055.

**III.4. 4.TRANSISTOR DE PUISSANCE BU508D:**

Transistor de puissance haute tension, commutation rapide avec une diode intégrée. Utilisé dans les primaires du transformateur HT des télévisions couleur.

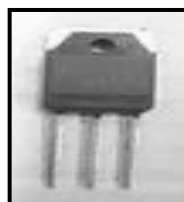


Figure III.10.1:Schéma équivalent du BU508D

### III.5. RESULTATS DE SIMULATION :

Les résultats sont satisfaisants et peuvent être observés sur les figures III.11 à III.15. Le voltmètre est placé à la sortie de la résistance  $R_8$ , on fait varier  $R_7$ , on trouve les figures ci-dessous :

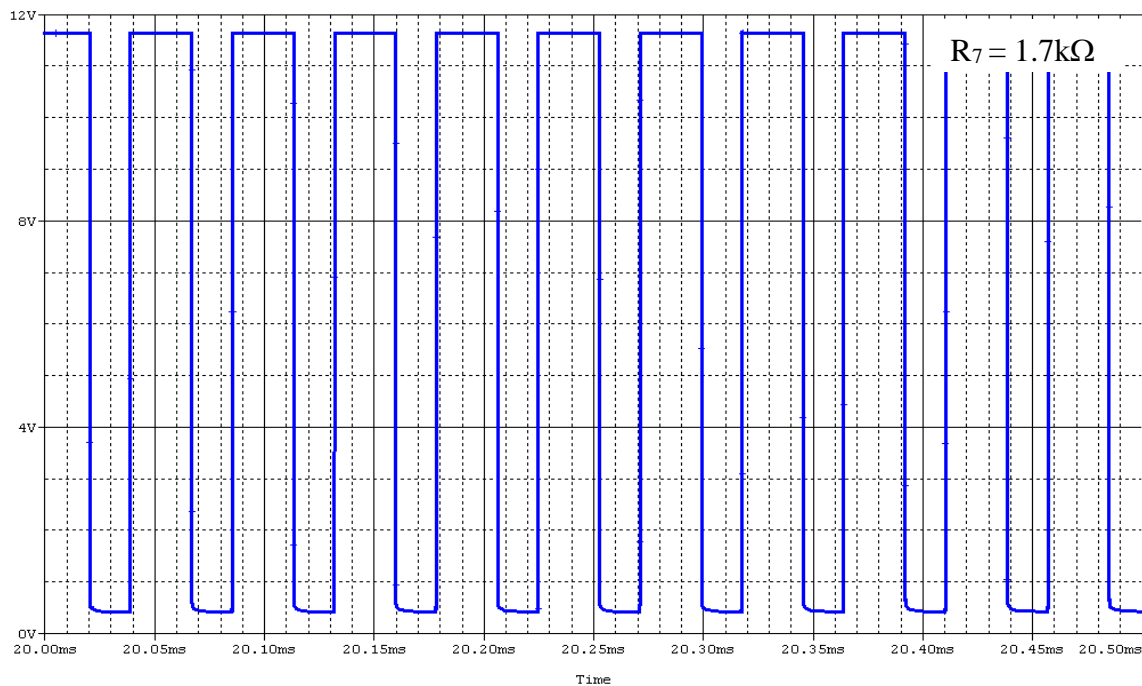


Figure III.11. La tension à la sortie de la résistance  $R_7 = 1.7k\Omega$

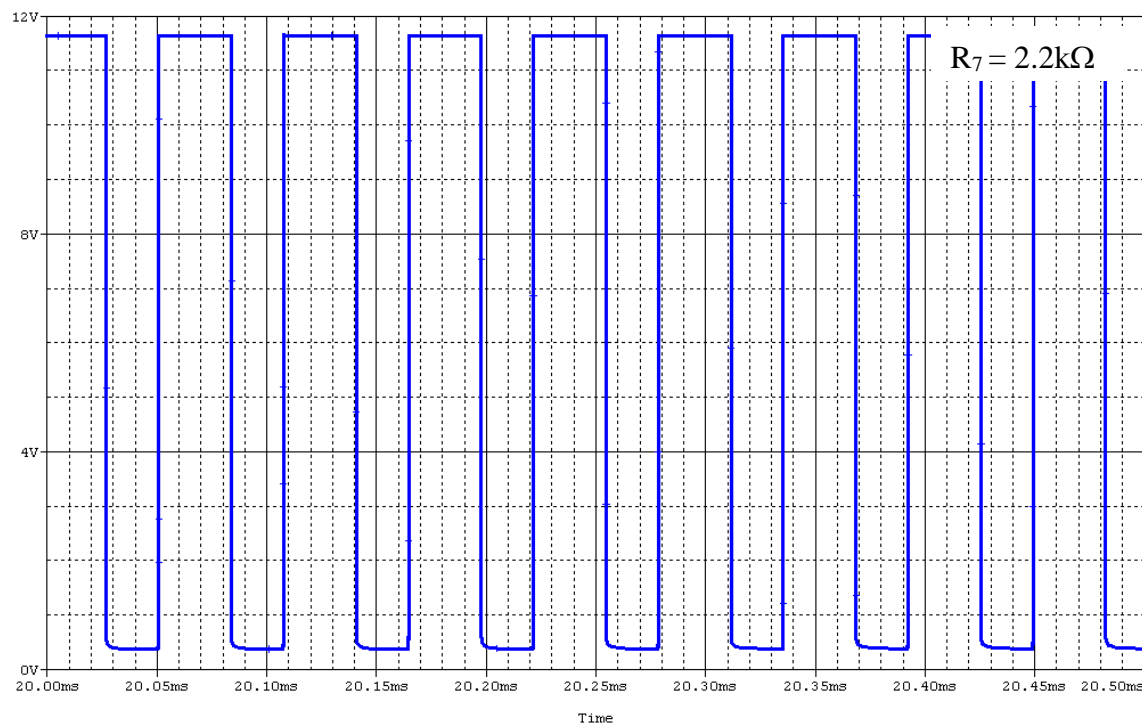


Figure III.12. La tension à la sortie de la résistance  $R_7 = 2.2k\Omega$

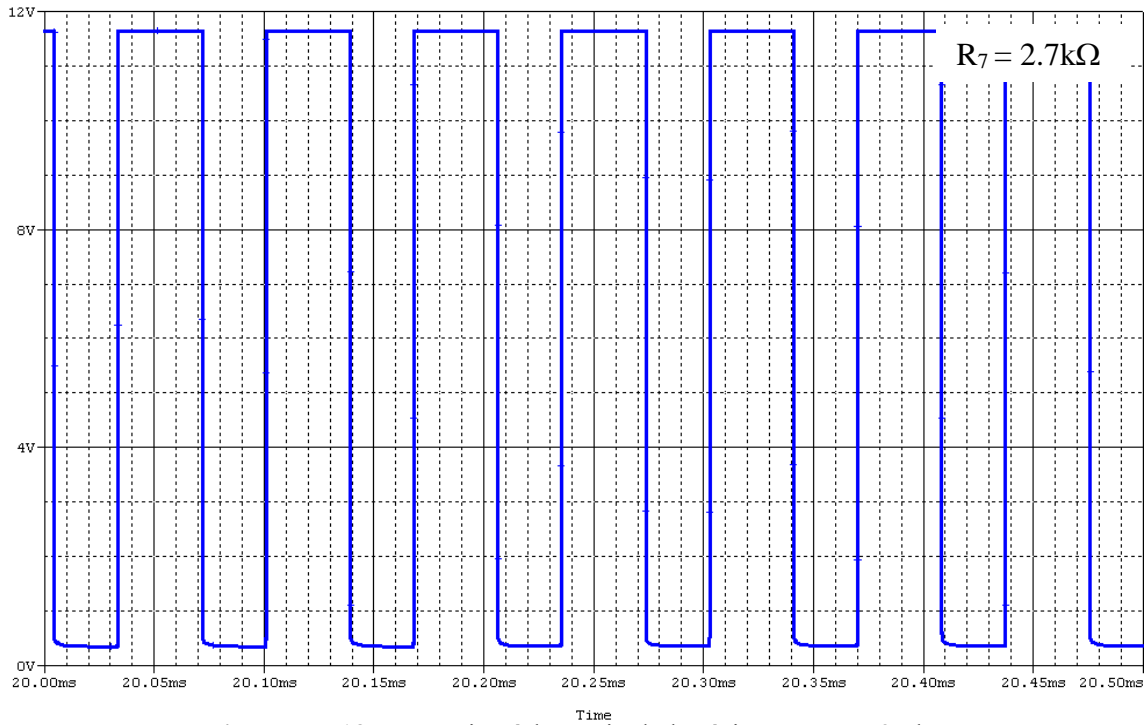


Figure III.13. La tension à la sortie de la résistance  $R_7 = 2.7k\Omega$

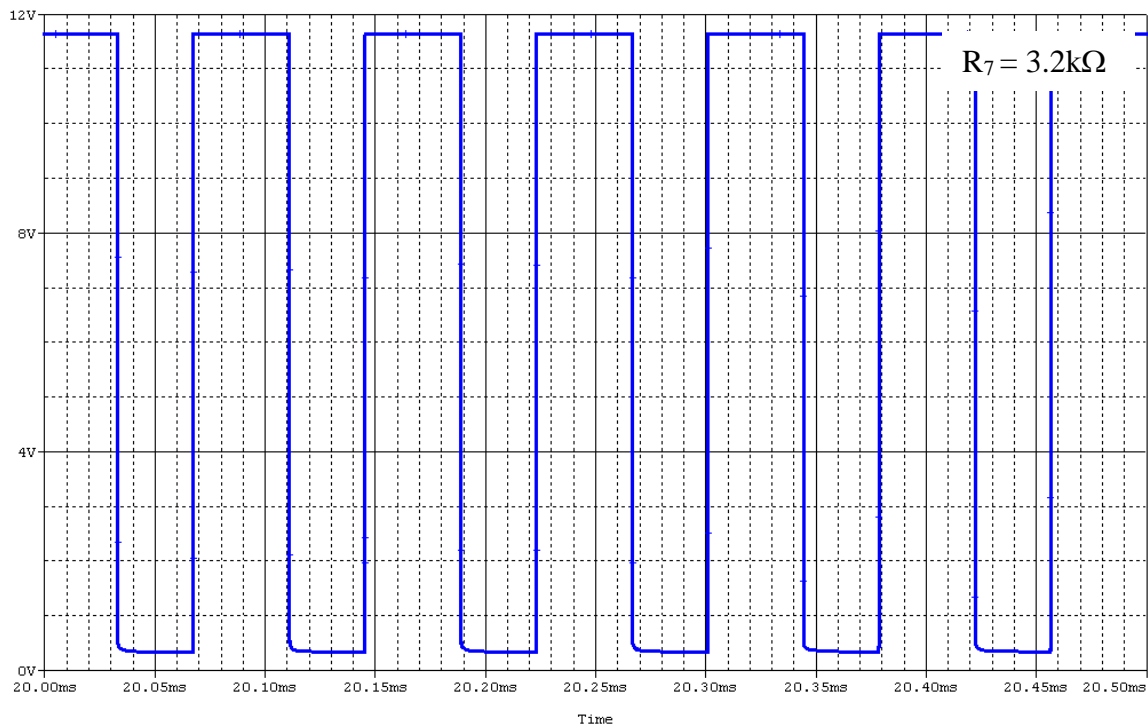


Figure III.14. La tension à la sortie de la résistance  $R_7 = 3.2k\Omega$

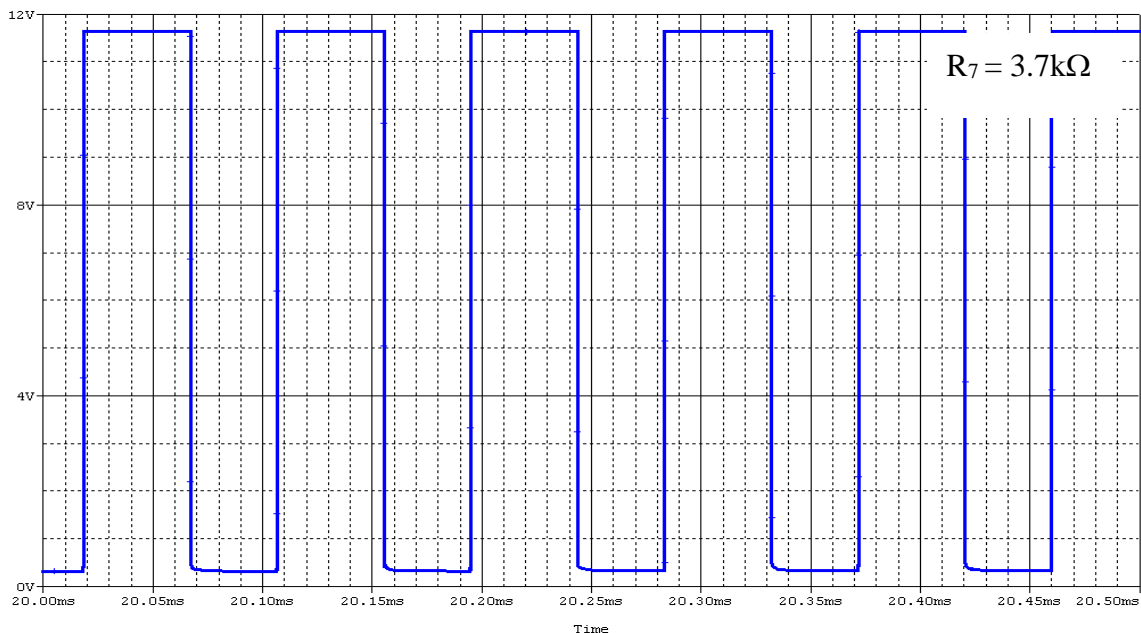


Figure III.15. La tension à la sortie de la résistance R7= 3.7kΩ

L'oscilloscope nous a donné les graphes suivants:

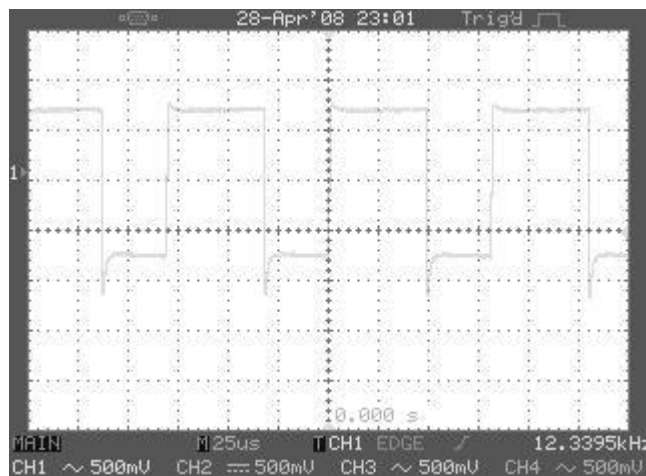
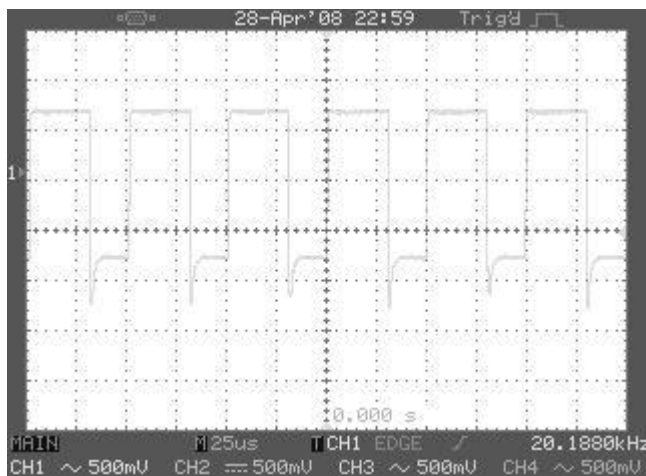


Figure III.16. Photo de la réalisation.

Nous avons constaté pour que notre circuit fonctionne correctement il faut attendre au moins 5mn pour avoir des tensions stable e sortie cella est due au manque de charge du condensateur C1. De même il faut attendre 2 à 3 min après avoir coupé l'alimentation principale pour avoir une absence total de tension HT en sortie c'est le temps de décharge du condensateur. Pour cella un interrupteur a été inséré en amant du régulateur afin de couper l'alimentation de la base du BU508D et pouvoir travailler en toute sécurité sur la partie haute tension.

Un deuxième constat a été fait sur le plan de l'élévation de la température des composants, en effet le BU508D subit des commutations de l'ordre de 20kHz ce qui risque de le détériorer rapidement un radiateur a été mis pour évacuer la chaleur emmagasiné dans le composant en plus un ventilateur qui permet une bonne circulation d'air à la surface des composants. En final une protection thermique à l'aide d'un fusible de 1A a été insérée à la sortie du pont de redressement.

### **III.6. CONCLUSION :**

Nous avons montré la faisabilité de la conception et sa mobilité. En effet, notre système est un système peut être portatif, léger avec une estimation du coût avoisinant les 12 000DA. La substitution de l'alimentation 220V à une source d'énergie renouvelable peut trouver des applications multiples étant donné que la tension d'entrée peut être de l'ordre de 50V.

Notre système sera monté à une plaque d'essai réaliser avec un composant d'un fil/plan afin étudier la conductivité de l'air à pression atmosphérique et de même le seuil de l'apparition de l'effet couronne.

## **Conclusion Générale**

La recherche bibliographique, entreprise dans le cadre du présent travail, nous a permis de prendre connaissance de la complexité de conception liés au génération de la tension. Cette complexité a essentiellement pour origine la diversité dans la configuration des composantes électroniques, les différents types et forme d'onde des tensions nécessite la bonne formation aux circuits des générateurs.

Les différents générateurs que nous avons entrepris avaient pour principal objectif de voir les circuits de base des générateurs en laboratoire simulant les formes de haute tension, qui on peut les mesures par des techniques de la mesure quel que soit classique ou modernes par voltmètres électrostatiques, galvanométriques et des oscilloscopes, aussi les utilisations des techniques du mesure pour l'atténuation des tensions élevées soit diviseur capacitive ou résistive et l'utilisation d'éclateur pour la mesure des trois types de tension alternative et onde de choc (valeur crête) , ainsi que la tension continue

La précision de mesure dépend de l'uniformité du champ entre les sphères d'éclateur, celle-ci pourrait être améliorée avec une forme géométrique des électrodes moins arrondie et plus plate.

Aussi l'utilisation du transformateur de mesure des tensions des réseaux de puissance et rarement utilisé dans les laboratoires

En effet, notre conception est un système portatif, léger avec une estimation du coût moins chère. Peut trouver des applications multiples étant donné que la tension d'entrée peut être source renouvelable de l'ordre de 50V.

Notre système sera monté à une plaque d'essai réaliser se composant d'un fil/plan afin étudier la conductivité de l'air à pression atmosphérique et de même le seuil de l'apparition de l'effet couronne, ainsi pour un dernier mot on espère que on a ajoute un petit pas à l'avance vers le développement de recherche scientifique dans ce domaine.

## BIBLIOGRAPHIE

[01] **M. Furrer**, ing. ETS, Haefely.

[02] **Kuffel E., Zaengl WS**, haute tension Engineering Fundamentals Pergamon Press, 1970,

(Collection Bibliothèque générale UQAC: TK3401K95.1970).

[03] **MS Naidu et Kamaraju V.** High Voltage Engineering, New York; 2e Ed, McGraw-Hill, 1996,(Collection Bibliothèque générale UQAC: TK3144N155.1996).

[04] **M. Aguet et M. Ianoz**, Haute Tension, Dunod, 1987 (Collection Bibliothèque générale UQAC: TK7T768.1990.22 et TK7T768.22).

[05] **J. R. Lucas**, l'ingénierie de haute tension, 2001.

[06] **CEI 60**, « Technique des essais à M.T, définitions et prescriptions générales aux essais », Première édition 1973.

[07] **CIGRE**, " Mesure de la sévérité de pollution des sites et application au dimensionnement des isolateurs pour les réseaux à courant alternatif ", Groupe de travail du comité d'étude, N°33, ELECTRA, N° 64, Mai 1979.

[08] **A. Tilmatine**, « cour de technique de haute tension », chapitre 9, université de sidi-belabess

[09] **J.Naudin** « Une alimentation THT très simple et bon marché » **JLN Labs**, Septembre 2002

[10] **CEI** - Publication 52 - 1960