

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي بلحاج بوشعيب لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent
Institut des Science et de la Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de master en :

***Domaine* : SCIENCE ET TECHNOLOGIE**

***Filière* : Electrotechnique**

***Spécialité* : Réseau électrique et la technique de la haute tension**

Thème

**Etude de la génération de la haute tension
impulsionnelle**

Présenté par :

Sukker Yazan Rawhi Issa

Devant les jurys composé de :

Pr. Younes Mohammed	Professer	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. Aissou Massinissa	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Mlle. Touhami Aicha	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadreur

Année universitaire 2014/2015

Dédicace

Je dédie ce travail a

A mes très chers parents

A mes frères et sœurs

A toute ma famille

*A tous mes chers amis sans exception pour leurs soutiens et
encouragements*

Sukker Yazan

Remerciement

Tout d'abord, merci pour le bon « DIEU » qui m'a donné la volonté et le courage pour le parachèvement de ce travail.

Je tiens à remercier Mlle TOUHAMI Aicha mon encadreur qui n'a pas lésiné sur les moyens et sur son temps pour m'apporter son aide précieuse et qui m'a permis de mener à bien ce travail.

A Mr. BENZAZZA chef de Département de Génie Electrique du Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent et à tous mes Professeurs, je tiens à leur exprimer toutes ma reconnaissance pour leurs dévouements, la confiance qu'ils m'ont accordés, leur rigueur et la qualité des commentaires et suggestions dont ils m'ont fait part.

Je remercie tous les ami(e)s de près et de loin qui ne m'ont pas privé de leurs soutiens, et leurs bonnes humeurs quotidiennes.

Sommaire

Chapitre I : Technique de production de la haute tension impulsionnelle

Introduction général	1
I.1 Haute tension	2
I.1.1. Classe de tension	2
I.1.2. But de la haute tension	2
I.1.3 Principaux domaines d'application de la haute tension	3
I.2 Générateurs de tension impulsionnelle	4
I.3 L'onde de choc	4
I.3.1 Différents types de chocs	5
I.3.1.1 <i>choc de manœuvre</i>	5
I.3.1.2 <i>choc de foudre</i>	6
I.4 Les circuits générateurs d'impulsion de tension	8
I.4.1 Générateur de choc de manœuvre et de foudre à un étage à composants capacitifs-résistifs.	8
I.4.2 Générateur de choc de manœuvre et de foudre à un étage à composantes capacitif-inductif- résistif	9
I.4.3 Générateur de choc multi étages (générateur de Marx)	9
I.4.3.1 <i>Schéma équivalent d'un générateur de choc multi étages</i>	12
I.4.3.2 <i>Exemple : Un générateur de choc à 8 étages</i>	12
I.4.4 Générateur de choc de manœuvre à transformateur	14
I.4.4.1 <i>Application du générateur de choc à transformateur</i>	14
I.4.5 Générateur de choc à front raide	14
I.5. Techniques de mesure en haute tension	15
I.5.1 Éclateur à sphère (spintermètre)	15
I.5.1.1 <i>Tensions disruptives</i>	16
I.5.2 Diviseurs de tension	18

I.5.2.1 <i>Diviseur de choc purement résistif</i>	18
I.5.2.2 <i>Diviseur de choc purement capacitif</i>	19

**Chapitre II :
Analyse des circuits des productions de haute tension impulsionnelle**

II.1. Introduction	19
II.2. Analyse du circuit de générateur d'impulsion de la série de type de R-C	19
II.2.1. Méthode d'analyse d'un circuit électrique par la transformation de Laplace... ..	20
II.2.2. Dimension des éléments du circuit	25
II.3. Analyse du circuit de générateur d'impulsion de la série de type de R-L-C.....	27

**Chapitre III :
Les applications**

III.1. Introduction.....	29
III.2. Définition de rendement	29
III.3. Normalisation de la tension de choc	29
III.4. Les divers couplages de générateurs de choc	30
III.5. Description des tableaux.....	31
III.6. Définition des abaques	34
III.7. Exemples de calcul	35
Conclusion Général.....	38

Bibliographie

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction Générale

Les générateurs haute tension impulsionnelle sont très variés et indispensables pour effectuer des essais diélectriques sur les isolants, les appareils et les systèmes en simulant les surtensions transitoires pouvant apparaître dans les réseaux électriques et alimenter des appareils à haute tension.

Dans ce modeste travail on a présenté dans le premier chapitre les définitions de l'onde de choc et les circuits générateurs d'impulsion de tension et les Techniques de mesure en haute tension.

Dans le deuxième chapitre est consacré à l'analyse mathématique dans circuits générateur haute tension impulsionnelle à un étage avec différent couplage des éléments R, L, C.

En dernier chapitre on traite différentes applications soit les dimensionnent de générateur à partir des paramètres de l'onde de choc ou bien le calcul des éléments de générateur connaissant les paramètres de l'onde.

CHAPITRE I

*Technique De Production De La Haute
Tension Impulsionnelle*

I.1 Haute Tension :

L'étude de la haute tension traite des systèmes soumis à l'action de champs électriques élevés qui, pour les phénomènes traités, sont prépondérants par rapport aux champs magnétiques.

Le recours à l'utilisation de hautes tensions pour faciliter le transport de l'énergie électrique, pour charger et accélère des particules en physique et dans les applications industrielles de l'électricité statique, nécessite la connaissance des méthodes de calcul et techniques particulières à la haute tension.

I.1.1 Classe de tension :

Le tableau I.1 présente les différentes classes de tension faisant du domaine de la haute tension.

Niveau de tension	Classe de tension nominale KV_{eff}	Réseau de	Extension
Moyenne tension(MT)	1-45	Répartition	Région
Haute tension(HT)	45-300	Transport	Pays
Très haute tension(THT)	300-750	Transport inter connexion	Pays, entre-Pays
Ultra haute tension(UHT)	> 750	Interconnexion	Continent, Pays-continent

Tableau I.1: Classes de tension

I.1.2 But de la haute tension :

L'étude de la haute tension aboutit à la conception et à la réalisation de produits, Appareils et systèmes aptes à générer et à supporter des champs électriques élevés.

I.1.3 Principaux domaines d'application de la haute tension :

Domaine	Application
Réseaux -Tension alternative -Tension continue	-Ligne aériennes - Câbles -Transformateurs de mesure de tension -Transformateurs de mesure de courant -Sectionneurs -Parafoudre -Disjoncteurs -Mise à la terre -Condensateurs -Transformateurs de puissance -Alternateurs
Electricité statiques	-Générateurs électrostatiques -Moteurs électrostatique -Filtres électrostatique -Imprimante électrostatique -Peinture électrostatique
Médecine	-Effet biologiques des champs électriques -Diagnostic par rayons X -Ozonothérapie
Electronique	-Tube cathodique -Générateurs piézo-électrique -Allumage électriques -Flash électronique -Lampes à décharge
Physique	-Microscope électronique -Accélérateurs de particules
Foudre	-Captage de la foudre -Protection contre la foudre paratonnerres -Eclateurs, parafoudre, câble de garde

Tableau I.2 : Principaux domaines d'applications de la haute tension

I.2 Générateurs de tension impulsionnelle

Les générateurs de haute tension impulsionnelle travaillent en haute fréquence (4 kHz – 20 kHz) et en régime de choc. Ils sont destinés:

- A effectuer des essais diélectrique sur les isolants, les appareilles et les systèmes en simulant les surtensions transitoires, pouvant apparaître dans les réseaux électrique.
- A alimenter des appareils à haute tension (par exemple: générateur d'ozone, appareil de soudure par impulsion, laser)
- Simuler les surtensions des lignes comme l'onde de la foudre par exemple, pour l'étude et la recherche.
- Réaliser des testes d'essais sur les appareillages haute tension destines à fonctionner lors des surtensions, tels que les appareils de protection contre les surtensions (les parafoudres).

Les formes d'ondes génères généralement sont de type manœuvre et foudre.

I.3 L'onde de choc :

La tension de choc (ou impulsion) est une très haute tension unidirectionnelle, applique pendant un temps très bref de l'ordre de quelques μ s. C'est une tension qui croit rapidement jusqu'à une valeur crête, puis décroît jusqu'à zéro.

L'impact d'un coup de foudre sur un réseau électrique génère une onde de tension sur la ligne qui crée dans l'enroulement des transformateurs une distribution inégale du potentiel et provoque la détérioration de l'isolement.

Le terme choc doit être distingué du terme surtension qui se réfère aux phénomènes transitoires se produisant dans les équipements électriques et les réseaux en service.

I.3.1 Différents types de chocs :

I.3.1.1 Le choc de manœuvre :

Le choc de manœuvre est défini par la figure (I-1). Les générateurs de choc de manœuvre sont destinés à la simulation conventionnelle des surtensions de manœuvre positives ou négative.

L'onde 250 / 2500 μs
($T_1 = 250 \mu\text{s}$ et $T_2 = 2500 \mu\text{s}$)

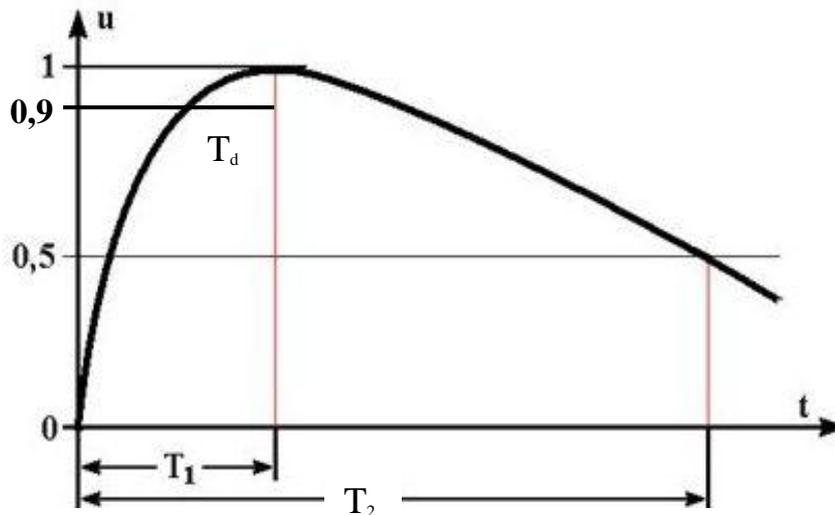


Figure I-1 : Forme général de l'impulsion de manœuvre

T_1 : temps de pic

T_2 : temps au mi valeur

T_d : temps de 90% de la valeur de pic

La figure I-1 illustre la pente de chargement de l'onde. Le temps de pic T_1 est le temps d'intervalle entre l'actuelle origine et l'instant où la tension atteint sa valeur maximale, cette définition pourrait être critique, comme il est difficile d'établir l'actuel valeur de crête avec une haute précision. Un paramètre additionnel est donc T_d le temps à 90% de la crête évaluée.

Les impulsions d'interruptions (manœuvre) standard ont des paramètres de temps en incluant la tolérance de :

$$T_1 = 250 \mu\text{sec} \pm 20\%$$

$$T_2 = 2500 \mu\text{sec} \pm 60\%$$

Elle est donc décrite comme l'impulsion 250/2500. Pour les investigations fondamentales concernant l'isolation, les écartements d'air ou autres. Le temps de pic doit être varié entre environ 100 et 1000 μsec . Comme la rupture des systèmes d'isolations peut être sensible envers la forme de l'onde de tension.

1.3.1.2 Le choc de foudre

Le choc de foudre est défini par la figure I-2. Les générateurs de choc de foudre sont destinés à la simulation conventionnelle des surtensions de foudre positives ou négatives. Les valeurs caractéristiques des temps de coupure de choc coupé sur la queue sont présentées à la figure I-3 ou, sur le front à la figure I-4.

Le choc de foudre normalisé est un choc plein ayant une durée conventionnelle de front de $1,2\mu\text{s}$ ($\pm 30\%$) et une durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur de $50\mu\text{s}$ ($\pm 20\%$). Le choc de foudre coupé normalisé est un choc qui est soudainement interrompu par une décharge disruptive provoquant une chute de tension pratiquement jusqu'à zéro.

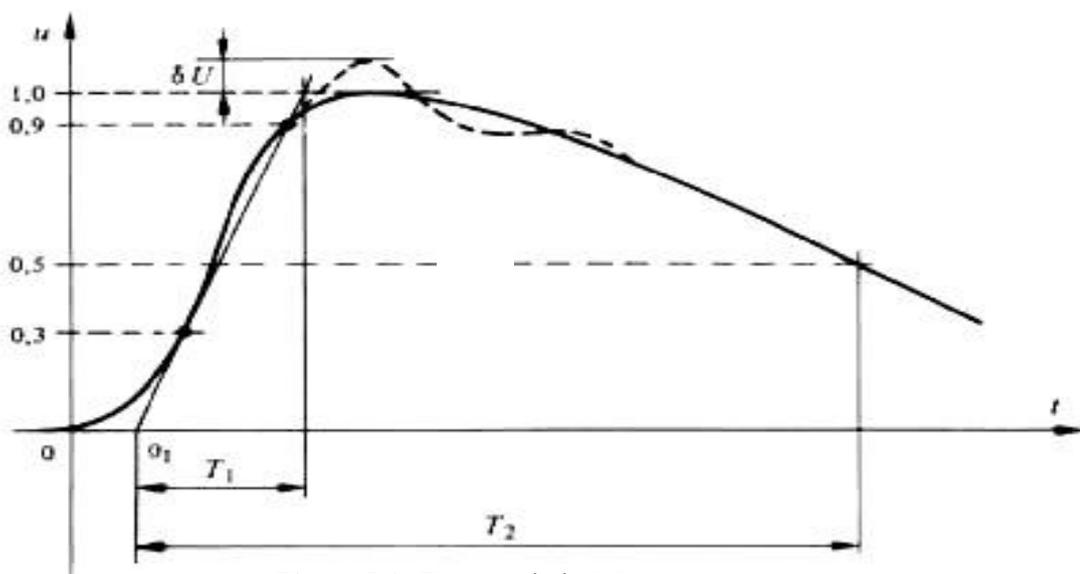


Figure I-2: Forme général de l'impulsion de foudre

Choc de foudre normale $1,2/50\mu\text{s}$: O_1 , origine conventionnelle du front, durée conventionnelle du front (temps de montée) $T_1 = 1,2 \pm 0,36\mu\text{s}$ durée conventionnelle de la queue (durée jusqu'à la mi-amplitude) $T_2 = 50 \pm 10\mu\text{s}$. Oscillations: δU , 5% dans la région voisine de la crête de tension de choc; $\delta U = 10\%$ dans la région entre 0 et 50% de la valeur de crête.

Le rendement du générateur de foudre vaut 0,98 ; c'est le rapport entre la tension continue U_0 de charge du condensateur et la tension crête U_{cr} de l'onde de choc de foudre.

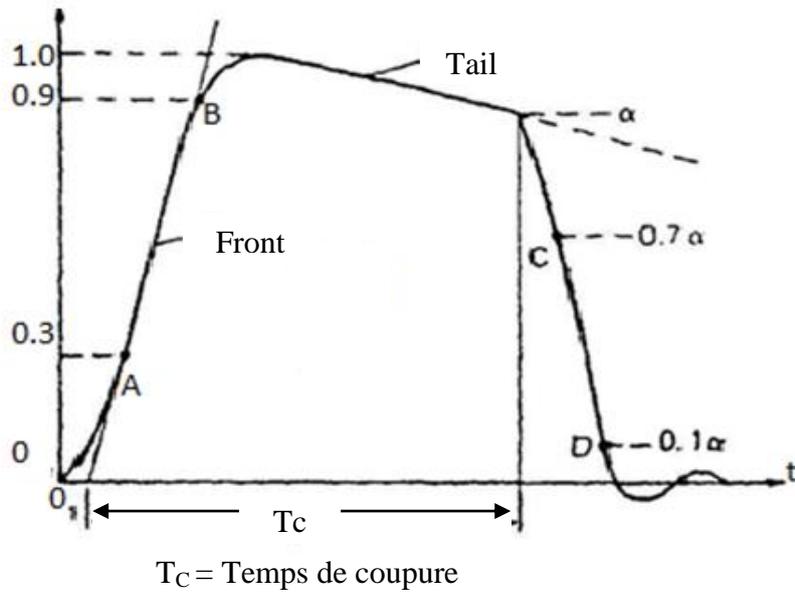


Figure I-3: Onde coupée a la queue

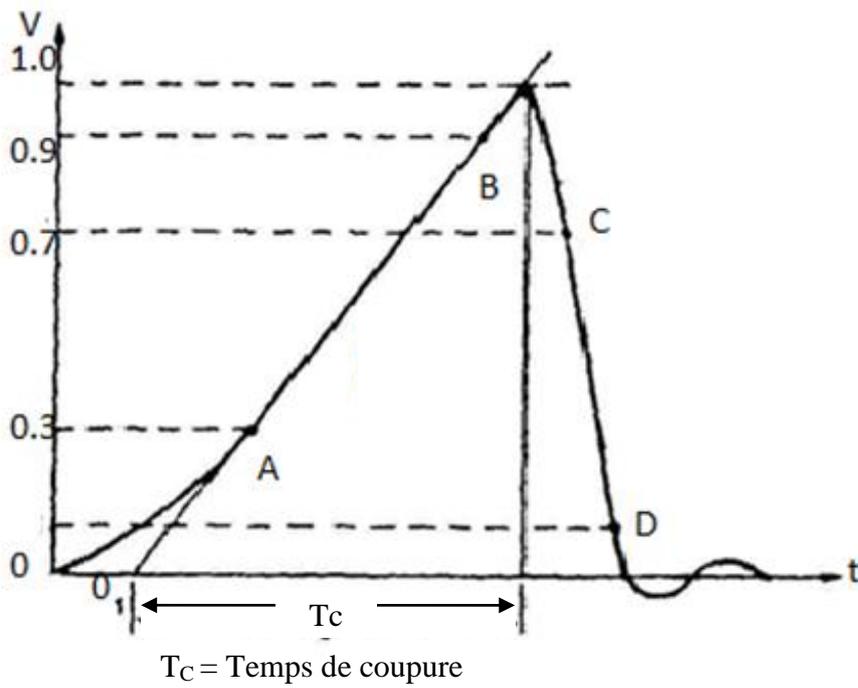


Figure I-4: Onde coupée a le front

I.4 Les circuits générateurs d'impulsion de tension :**I.4.1 Générateur de choc de manœuvre et de foudre à un étage à composants capacitifs-résistifs**

Afin de générer une onde de choc, on recourt, en général, au schéma de la figure (I- 5) comportant un redresseur, des capacités et des résistances. L'inductivité des circuits (quelque μH), peut être négligée, pour des fréquences équivalentes de l'ordre du mégahertz :

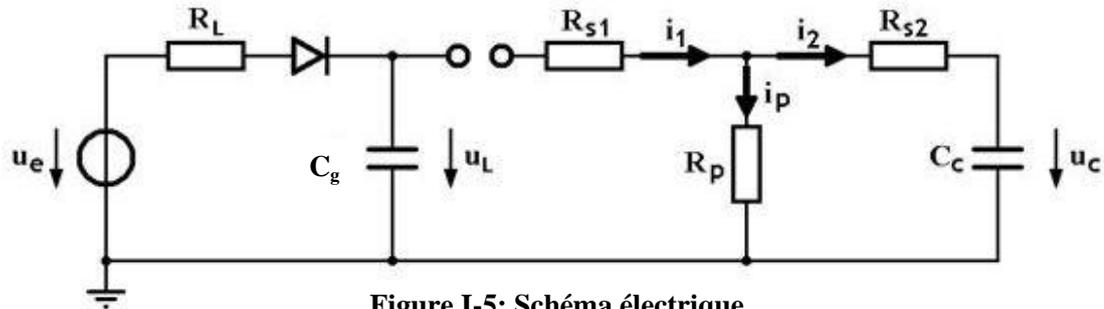


Figure I-5: Schéma électrique

C_g capacité de choc

R_L résistance de limitation

R_p résistance parallèle

R_{s1} résistance série amont

R_{s2} résistance série aval

C_c capacité charge (comprend la capacité de l'objet en essai)

Fonctionnement:

Le générateur de choc fonctionne, dans une première ($t < 0$) où l'interrupteur est ouvert, en régime de charge du condensateur de choc C_g . Cette phase de charge peut durer quelques millisecondes, pour de petits générateurs, (énergie de quelques J) à quelques minutes, pour de gros générateurs (énergie de quelques centaines de kJ). Dans une deuxième phase ($t \geq 0$) où l'interrupteur est fermé, le condensateur de charge C_g se décharge dans le circuit comprenant les éléments R_{s2} , C_c et R_p en donnant une onde de haute tension impulsionnelle.

I.4.2 Générateur de choc de manœuvre et de foudre à un étage à composants capacitif-inductif-résistif

On peut également utiliser des générateurs de choc capacitif-inductif-résistif figure (I- 6) où l'on recourt à un schéma comportant une inductance et une résistance.

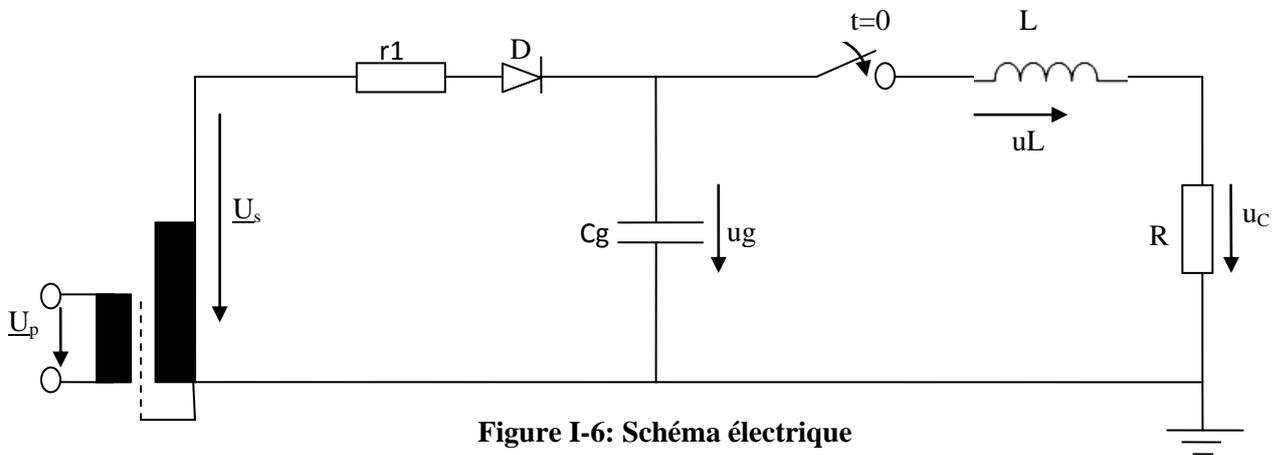


Figure I-6: Schéma électrique

C_g capacité de choc

L inductance série

R résistances de charge, comprenant la résistance série de l'inductance

Fonctionnement:

Le fonctionnement du générateur de choc de la figure (1-6) est du même type que celui étudié d'avant. Seuls diffèrent les éléments du circuit de décharge (L , R).

I.4.3 Générateur de choc multi étages (générateur de Marx) :

C'est un générateur formé de plusieurs générateurs de choc élémentaires placés en cascade. On obtient, dans ce cas, des tensions de choc de sortie multipliées par le nombre d'étages du générateur.

La tension produite est impulsionnelle, il est caractérisé par :

- ❖ Temps de front (t_f) : temps mis par l'onde pour passer de 30% de sa valeur à 90% V
- ❖ Temps de queue (t_q) : temps mis par l'onde pour passer de 90% à 50% de sa valeur
- ❖ Temps de crête (t_c) : temps compris entre 0 et U_{cr} (tension de crête)

Principe de fonctionnement:

Le générateur de Marx fonctionne sur le principe suivant :

***1^{ère} étape :** On charge en parallèle les condensateurs C_1 , de chaque étage par l'intermédiaire de la source de tension continue à travers les résistances de charge R , les résistances série R_1 et parallèle R_2 à la tension d'amorçage.

***2^{ème} étape :** On décharge en série les condensateurs C_1 par l'intermédiaire des éclateurs de couplage G_1 , à la suite de l'impulsion de trigger provenant du bloc d'allumage et ionisant le premier éclateur.

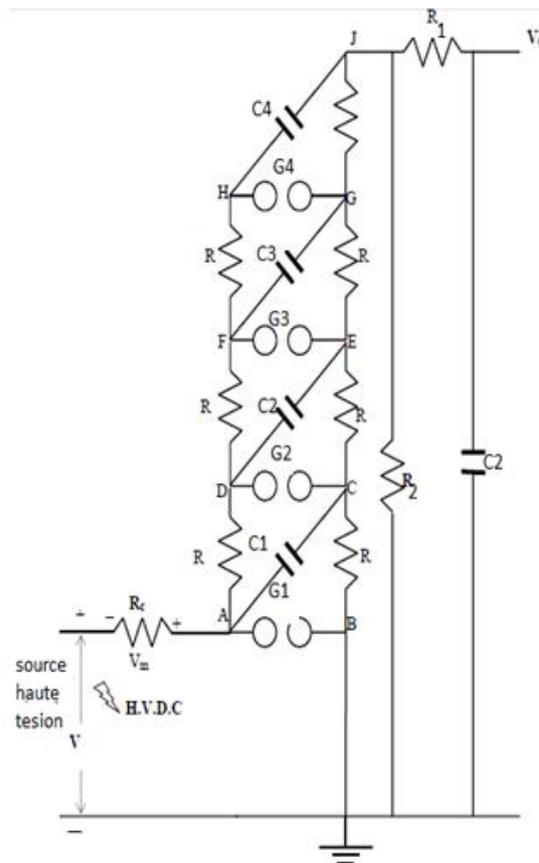


Figure I-7: circuit de base d'un générateur de choc à quatre étages

Le circuit de la figure peut être décomposé en deux montages superposés, le circuit de charge figure (I-8) et le circuit de décharge figure (I-9). Une source de haute tension continue est utilisée pour charger les condensateurs identiques de C_1 à C_2 à travers les résistances de charges R qui ont généralement la valeur de $10K\Omega$ à $100K\Omega$. Les résistances de montée et de queue sont représentées par R_1 et R_2 respectivement, tandis que C_1 est la capacité de charge de générateur.

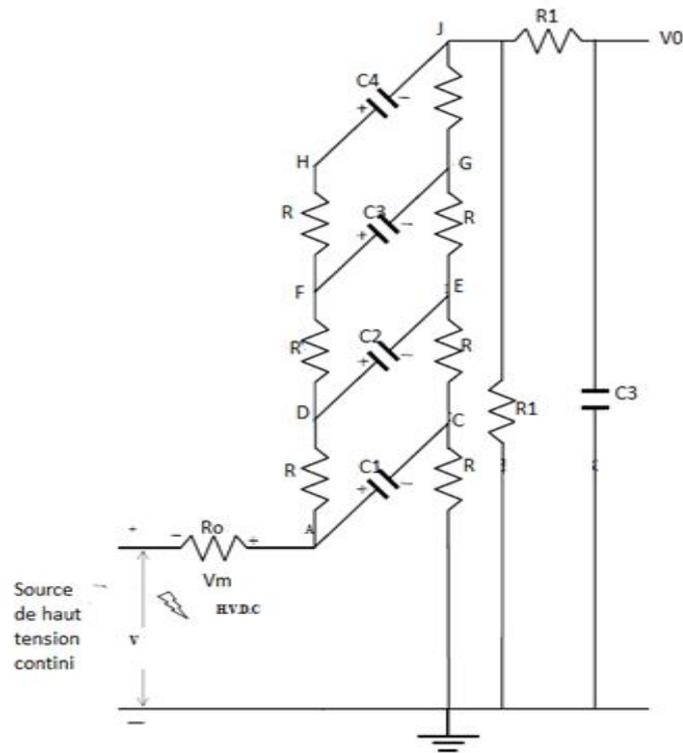


Figure (I-8): circuit de base d'un générateur de choc à quatre étages (charge)

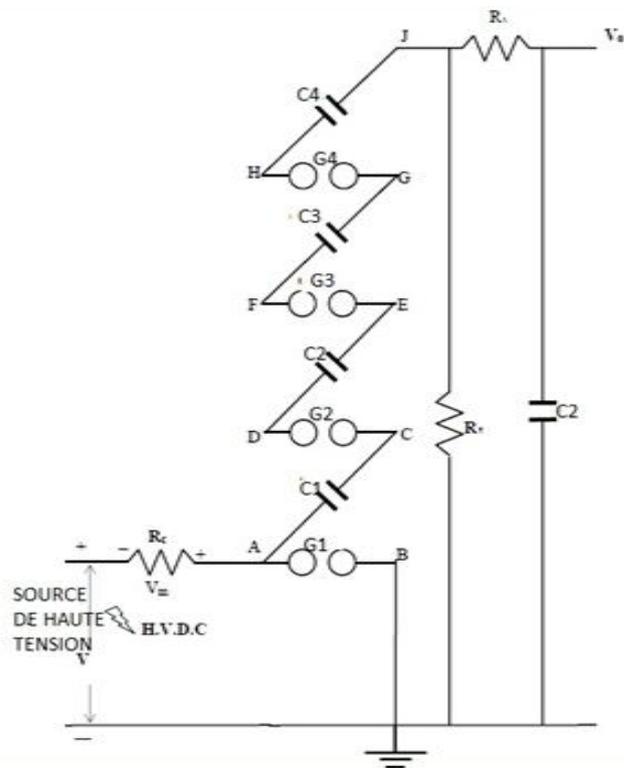


Figure (I-9): circuit de base d'un générateur de choc à quatre étages (décharge)

I.4.3.1 Schéma équivalent d'un générateur de choc multi étages :

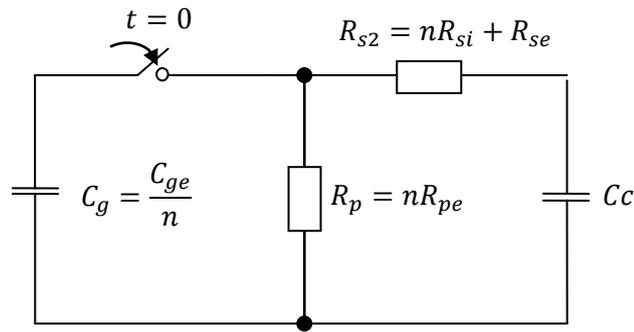


Figure (I- 10) : Schéma électrique

I.4.3.2 Exemple : Un générateur de choc à 8 étages

Élément par étage	Éléments équivalents	Onde de choc	
		Manœuvre 250 /2500 μs	Foudre 1.2/50 μs
Cge		1 μF	1 μF
	Cg=Cge	0.125 μF	0.125 μF
Cc	Cc	1 nF	1 nF
Rsi		15 Ω	15 Ω
Rse		43.2 KΩ	240Ω
	Rse = nRsi + Rse	43.32 KΩ	360 Ω
Rpe		2.6 KΩ	68 Ω
	Rp = nRpe	20.8 KΩ	54.4 Ω

Tableau I.3 : Les valeurs caractéristiques courantes

Les éléments Cge, Cc, Rsi, Rse, et Rpe sont définies comme suit :

Cge : capacité de choc

Cc : capacité de charge

Rsi : résistance série interne

Rse : résistance série externe

Rpe : résistance parallèle externe

Si la tension de charge maximale est de 800 KV, l'énergie accumulée est de :

$$W = \frac{1}{2} C_g U^2 = \frac{1}{2} 0,125 \cdot 10^6 (800 \cdot 10^3)^2 = 40 \text{KJ.}$$



Figure (I- 11) : Générateur de Marx

I.4.4 Générateur de choc de manœuvre à transformateur

On peut produire également des chocs de manœuvre s’approche au plus près des conditions réelle de formation de ce type de surtension dans le réseau, en provoquant des enclenchements de transformateurs, les deux méthode utilisée consistent à enclencher, au moyen d’un éclateur de couplage ou d’un système statique, un transformateur ou une cascade de transformateur sur :

- Une batterie de condensateur chargée à une tension positive ou négative.
- Le réseau électrique à fréquence industrielle ou une source alternative à faible impédance (machine tournante, alternateur de court-cuivrant, etc.....)

I.4.4.1 Application du générateur de choc à transformateur

Les générateurs de choc à transformateur sont utilisés :

- Pour les essais diélectriques au laboratoire à haute tension et sur tout sur le site encombrement réduit.
- Pour la charge de bancs de condensateur en application industrielles en physique.
- Dans les flashes et stroboscope.
- Dans les allumages (Gaz-gasoil-Explosifs.etc)

I.4.5 Générateur de choc à front raide

Pour obtenir des temps de montée de choc a front raide ($T_1 =$ quelques dizaine de ns), on utilise le circuit suivante :

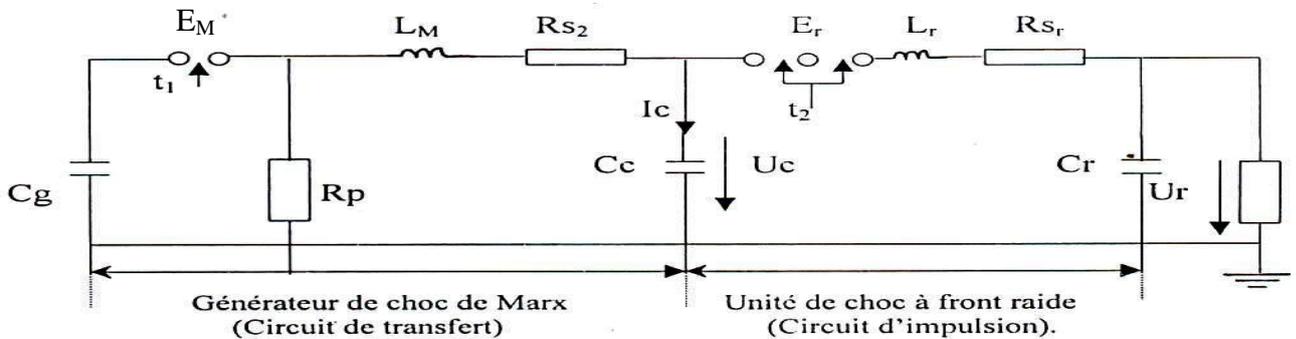


Figure (I- 12): Schéma électrique

Principe de fonctionnement

Après avoir chargé les condensateurs C_g du générateur de Marx, on décharge à l’instant t_1 par une impulsion sur l’éclateur E_m . Les étages en série sur la capacité de charge C_c de l’unité à front-raide.

La tension $U_c(t)$ apparaît aux bornes du condensateur C_c . A ce moment (t_2), on décharge C_c au moyen d’une impulsion sur l’éclateur E_r , on obtient alors aux bornes de R un choc à front-raide $U_r(t)$. La différence de temps qui sépare t_1 et t_2 peut être ajustée électriquement, celle-ci fixe la tension U_c a la charge de C_r .

I.5 Techniques de mesure en haute tension

Plusieurs méthodes de mesure de la haute tension impulsionnelle ont été utilisées les principaux sont :

I.5.1 Éclateur à sphère (spintermètre)

Le spintermètre ou éclateur à sphères est formé de deux sphères de diamètre D , isolées du sol, dont on peut ajuster l'écartement d (figure I- 13). La mesure de la tension s'effectue au seuil de décharge disruptive par la mesure de l'écartement des sphères et l'utilisation, d'abaques liant la tension disruptive à l'écartement en fonction:

- du type de connexion (une sphère à la terre, par exemple);
- du diamètre des sphères;
- des conditions atmosphériques.

Cet appareil constitue la référence conventionnelle permettant d'étalonner tous les types de voltmètres utilisés dans un laboratoire d'essais à haute tension.

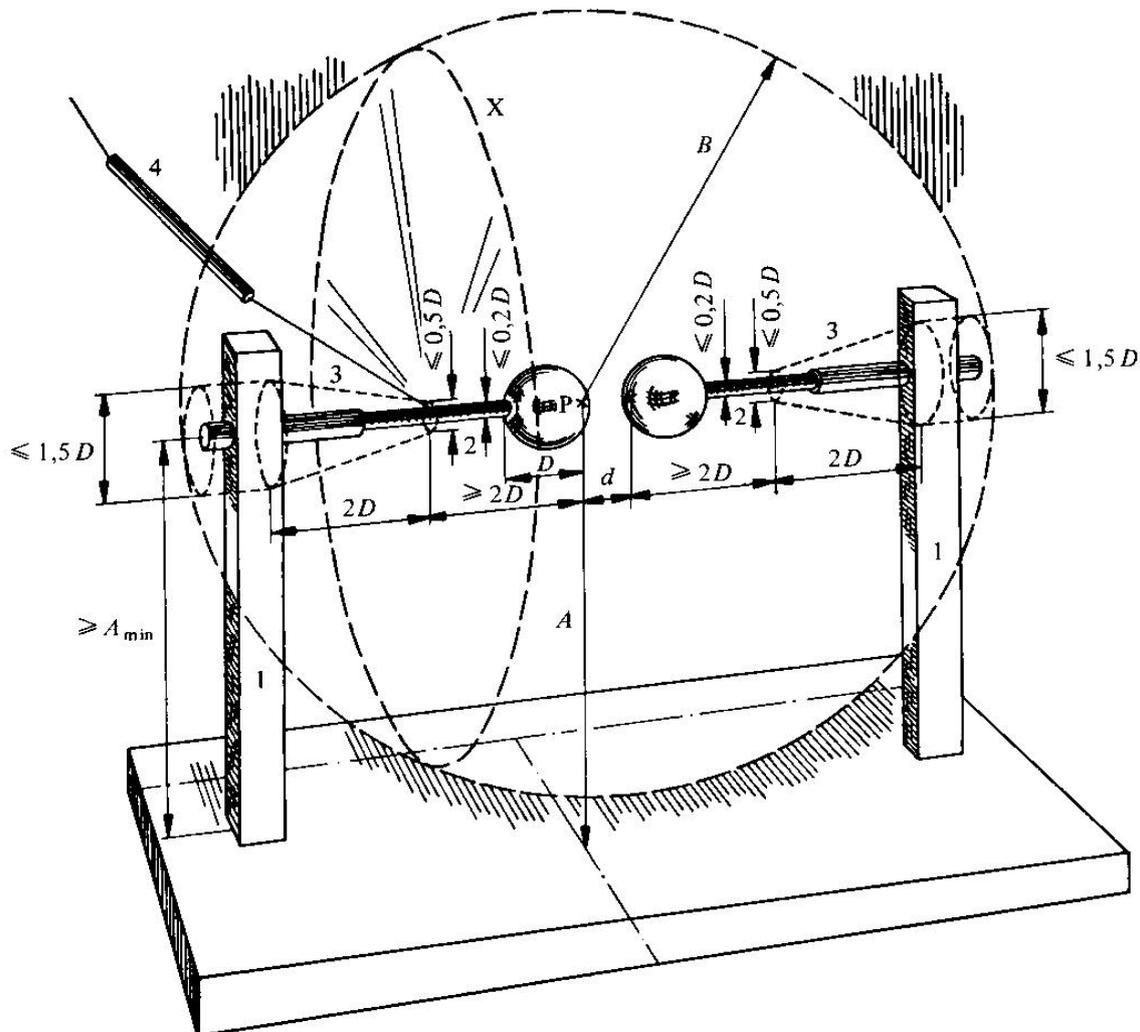


Figure (I- 13): Spintermètre

- 1 support isolant
- 2 tiges support de la sphère
- 3 mécanismes de manœuvre
- 4 connexions à haute tension Avec résistance en série

P point d'étincelle de la Sphère haute tension

A hauteur de P au-dessus du plan de terre

B rayon de l'espace qui doit être dégagé de tout objet étranger

X plans que les organes du repère 4 ne doivent pas traverser à moins d'une distance B de distance d'éclatement

1.5.1.1 Tensions disruptives

Les tensions disruptives U_d en fonction de la distance d'éclatement d pour un spintermètre dont une sphère est reliée à la terre, en fonction du diamètre des sphères (paramètre) et aux conditions atmosphériques normales de:

- température: 20°C ;
- pression : 760 mm Hg à 0°C ;
- humidité: 11 gr/m^3 .

Sont données au tableau suivant :

Valeurs de crête des tensions disruptives en kilovolts (tensions disruptives à 50% pour les tensions de choc) :

- Valables pour :
- les tensions alternatives
 - les tensions de choc **négatives** pleines normales ou de plus grande durée de queue
 - les tensions continues des deux polarités

Conditions atmosphériques de référence : 20°C et 1013 millibars (760 mm Hg à 0°C)

Ecartement des sphères cm	Diamètre des sphères cm											
	2	5	6.25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
0,05	2,8											
0,10	4,7											
0,15	6,4											
0,20	8,0	8,0										
0,25	9,6	9,6										
0,30	11,2	11,2										
0,40	14,4	14,3	14,2									
0,50	17,4	17,4	17,2	16,8	16,8	16,8						
0,60	20,4	20,4	20,2	19,9	19,9	19,9						
0,70	23,2	23,4	23,2	23,0	23,0	23,0						
0,80	25,8	26,3	26,2	26,0	26,0	26,0						
0,90	28,3	29,2	29,1	28,9	28,9	28,9						
1,0	30,7	32,0	31,9	31,7	31,7	31,7	31,7					
1,2	(35,1)	37,6	37,5	37,4	37,4	37,4	37,7					
1,4	(38,5)	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9					
1,5	(4,0)	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5					
1,6		48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1					
1,8		53,0	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5					
2,0		57,5	58,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0			
2,2		61,5	63,0	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5			
2,4		65,5	67,5	69,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0			
2,6		(69,0)	72,0	74,5	75,0	75,5	75,5	75,5	75,5			
2,8		(72,5)	76,0	79,5	80,0	80,5	81,0	81,0	81,0			
3,0		(75,5)	79,5	84,0	85,0	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0		
3,5		(82,5)	(87,5)	95,0	97,0	98,0	99,0	99,0	99,0	99,0		
4,0		(88,5)	(95,0)	105	108	110	112	112	112	112		
4,5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5,0			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5,5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	
6,0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	

Note 1. Les valeurs de ce tableau ne sont pas exactes pour la mesure des tensions de choc en dessous d'environ 10kV.

Note 2. Les valeurs entre parenthèses, relatives aux écartements supérieurs à 0,5 D, sont d'une précision douteuse.

Tableau I.4 : Valeur de crête des tensions disruptives en Kilovolt

Un coefficient correctif tenant compte de la pression et de la température est donnée par

$$\delta = \frac{0.92 P}{273+t}$$

P = pression en cm Hg

T = C°

I.5.2 Diviseurs de tension

Le diviseur est formé de deux impédances en série : la partie haute tension et la partie basse tension ces impédances en général de même nature peuvent être soit des résistances soit des capacités, soit les deux à la fois mises en série ou en parallèle.

I.5.2.1 Diviseur de choc purement résistif

La figure (I-14) présente un diviseur de choc purement résistif, c'est-à-dire simplifié en négligeant la présence des éléments parasites.

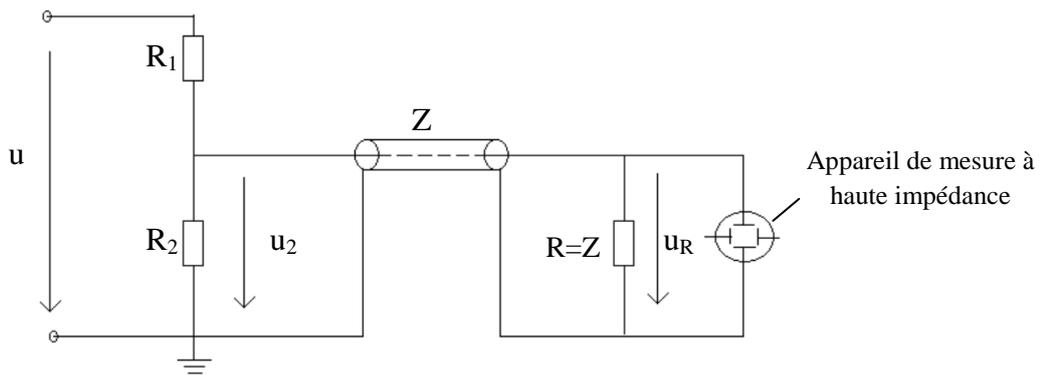


Figure I-14 : Diviseur de choc purement résistif

Dans le cas de la propagation des phénomènes de choc, on doit adapter le câble coaxial à la sortie avec une résistance R égale à l'impédance caractéristique Z du câble afin d'éviter les réflexions parasites ($Z=10$ à 100Ω). R est parfois déjà inséré dans l'appareil de mesure.

De même la résistance R_2 doit si possible être égale à l'impédance caractéristique Z du câble coaxial afin d'éviter les réflexions parasites.

Rapport de transformation du diviseur purement résistif :

$$g = \frac{u(t)}{u_2}$$

$$g = \frac{u(t)}{u_2} = \frac{R_1 + R_{e2}}{R_{e2}}$$

$$\text{avec } R_{e2} = \frac{R_2 Z}{R_2 + Z}$$

I.5.2.2 Diviseur de choc purement capacitif

La figure (I-15) présente un diviseur de choc purement capacitif, c'est-à-dire simplifié donc négligeant la présence des éléments parasites.

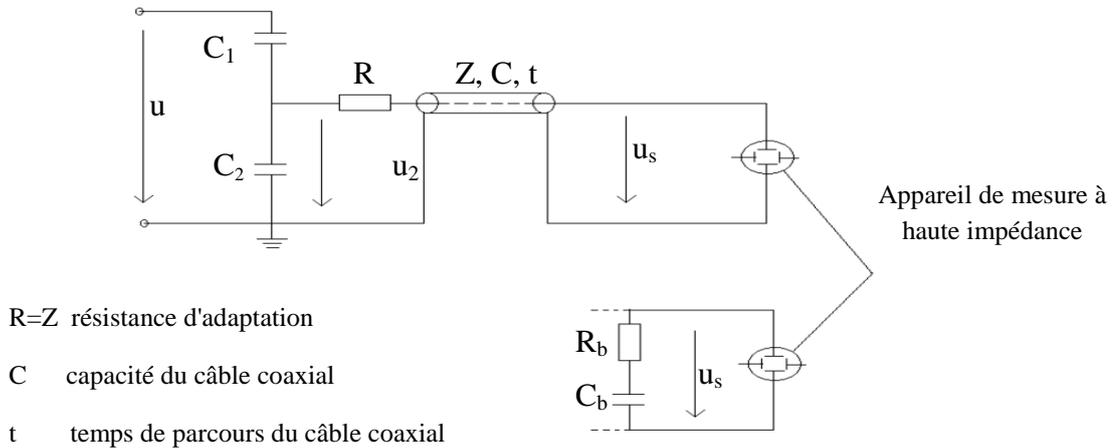


Figure I-15 : Diviseur de choc purement capacitif

Les phénomènes de courte durée par rapport au temps de propagation dans le câblé sont transmis de la manière suivante:

de tension $U_2(t)$ aux bornes de C_2 est divisée à l'entrée de câble par la diviseur constitué de R et de l'impédance caractéristique de câble en arrivant sur l'oscilloscope (circuit ouvert) la tension $U_2(t)/2$ est réfléchi et multipliées par 2 . la tension réfléchi $U_2(t)$ en arrivant du côté diviseur, voit R et C_2 qui est un court circuit aux fréquences considérés. $U_2(t)$ est donc absorbée par R pour les phénomènes lents. Le rapport de diviseur est $g = \frac{C_1 + C_2 - C}{C_1}$ au lieu de

$$g = \frac{C_2}{C_1}$$

Pour améliorer la qualité de réponse du diviseur capacitif dans une longue bande de fréquence, on propose de placer un circuit R_b, C_b en série à la sortie du câble.

Si $R_b = Z$, alors $C_b = C_1 + C_2 - C$
 Si $R_b \neq Z$, alors $C_b = \frac{Z}{R_b} (C_1 + C_2)$.

Dans ces conditions:

- A haute fréquence (front d'onde), la capacité C_b se comporte comme un C.C et le câble est fermé en principe sur son impédance caractéristique pure, l'amplitude de U_2 vaut alors $U_2/2$
- A basse fréquence (queue d'onde), la capacité C_b se comporte comme un circuit ouvert et l'on est ramenée sur 1^{er} montage.

CHAPITRE II

*Analyse Des Circuits Des Productions De
La Haute Tension Impulsionnelle*

II.1 Introduction:

La tension impulsionnelle peut être produite au laboratoire avec différentes combinaisons des éléments R-L-C dans un circuit.

Les circuits équivalents sont donnés ci-dessous. Initialement le condensateur C se charge avec tension continue puis se décharge à travers les éléments (LR;R₁ R₂ C₂) la tension de décharge V₀(t) est de forme bi exponentielle.

II.2 Analyse du circuit de générateur d'impulsion de la série de type de R-C

Deux basiques circuits à un étage sont sur la figure ci dessous:

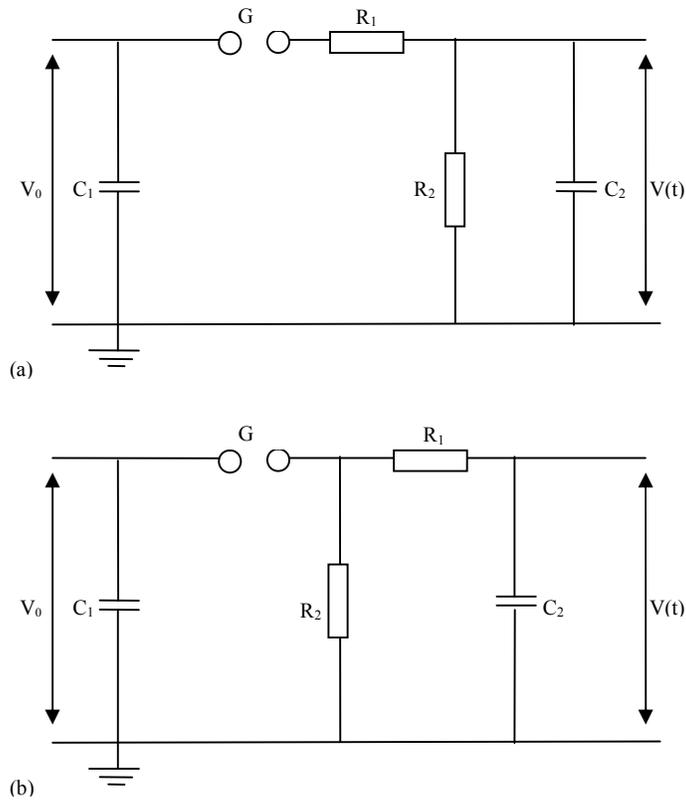


Figure II- 1 : Générateurs d'impulsion à un seul étage (a) et (b)

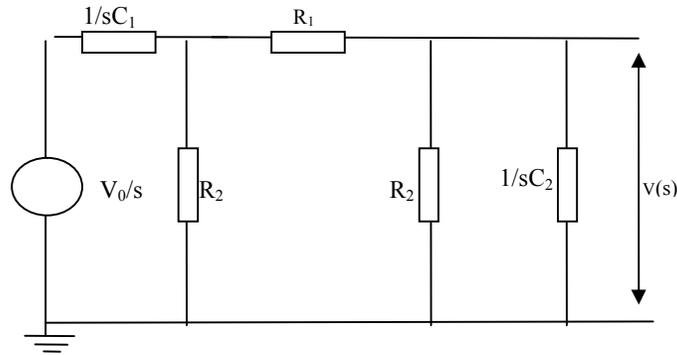


Figure II- 2 : Circuit équivalent en transformé de Laplace

C_1 : capacité de décharge.

C_2 : capacité de charge

R_1 : résistance de front

R_2 : résistance de décharge

La capacité C_1 est lentement chargée par une source continue jusqu'à la rupture de l'éclateur. L'éclateur agit comme un limiteur de tension et un interrupteur très rapide à la fermeture, son temps de claquage est très court en comparaison avec T_1 .

Ce générateur peut être utilisé pour des tensions allant de quelque kilo volt à un méga volt, l'éclateur offre des bonnes conditions d'exploitation.

Avant de commencer l'analyse nous devons mentionner le paramètre le plus significatif des générateurs d'impulsions. C'est l'énergie maximale (w) emmagasinée à l'intérieur de la capacité de décharge C_1 .

$$w = \frac{1}{2} \times c_1 (V_{0max})^2 \quad (II- 1)$$

C_1 est toujours plus grande que C_2

Pour l'étude nous pouvons utiliser le circuit de transformation de Laplace comme indique dans la figure II-2.

II.2.1 Méthode d'analyse d'un circuit électrique par la transformation de Laplace :

- Etape 1 : transformer le circuit en domaine de s en remplaçant les sources par leurs transformées et les éléments R , L , et C par leurs impédances selon le tableau ci-dessous.

- Etape 2 : établir les équations d'équilibre du circuit transformé par les méthodes habituelles (série, parallèle, Thévenin, Norton, lois des mailles, lois des nœuds...). Les équations obtenues sont algébrique.

- Etape 3 : résoudre les équations, déterminer les réponses en domaine de s .
- Etape 4 : faire la transformation inverse pour revenir au domaine temporel.

Eléments	Impédance complexe
R	R
L	Ls
C	$1/Cs$

Tableau II.1: transformée de Laplace des éléments

Pour le circuit figure II-1 a) la tension de sortie est donnée par l'expression suivante :

$$V(s) = \frac{V_0}{s} \times \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (\text{II- 2})$$

Ou:

$$Z_1 = \frac{1}{C_1 s} + R_1 \quad (\text{II- 3})$$

$$Z_2 = \frac{(R_2 / C_2 s)}{R_2 + 1 / C_2 s} \quad (\text{II- 4})$$

Par substitution on trouve:

$$V(s) = \frac{v_0}{k} \times \frac{1}{s^2 + as + b} \quad (\text{II- 5})$$

Tel que:

$$a = \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right) \quad (\text{II- 6})$$

$$b = \left(\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right) \quad (\text{II- 7})$$

$$k = R_1 C_2 \quad (\text{II- 8})$$

Pour le circuit II-1 b) on trouve la même expression avec les constantes suivantes:

$$a = \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right)$$

$$b = \left(\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right)$$

$$k = R_1 C_2$$

Pour les deux circuits on obtient dans le domaine du temps d'après le tableau de la transformé inverse la même expression:

$$V(t) = \left(\frac{V_0}{k} \right) \frac{1}{\alpha_2 - \alpha_1} [e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}] \quad (\text{II- 9})$$

Ou α_1 et α_2 sont les racines de l'équation $s^2 + as + b = 0$ ou :

$$\alpha_1, \alpha_2 = a/2 \pm \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - b} \quad (\text{II- 10})$$

La tension de sortie $V(t)$ est donc la superposition de deux fonctions exponentielles de différents signes selon l'équation (II- 9) la racine négative conduite à une grande constante de temps $1/\alpha_1$ par rapport à $1/\alpha_2$ de la racine positive.

Un graphe de l'expression (II- 9) est montré ci-dessous, une comparaison entre la figure (I- 3) et (I- 4) démontre la possibilité de générer deux types d'impulsion de tensions avec ces circuits :

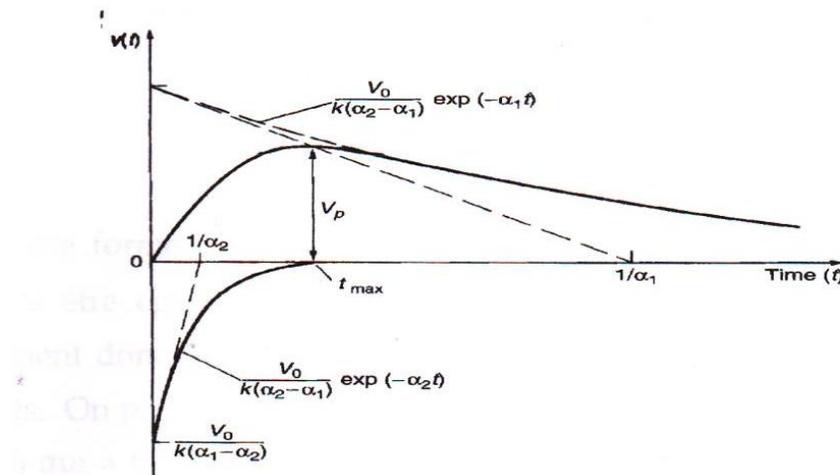


Figure II- 3: L'onde de tension et ces composantes suivant le circuit de la figure II- 1

Bien que les deux circuits soient équivalents, une grande différence peut se produire si on calcule le rendement de tension η . Ce rendement est défini comme :

$$\eta = \frac{V_p}{V_0} \quad (\text{II- 11})$$

V_p étant la valeur de pic de la tension de sortie comme il est indiqué dans la figure II. Elle peut être calculée si on trouve t_{max} de $\frac{dv(t)}{dt} = 0$, ce temps de monté jusqu'a la valeur pic et donné par :

$$t_{max} = \frac{\ln(\alpha_2/\alpha_1)}{(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (\text{II- 12})$$

On substitue cette équation dans (II- 9) on trouve:

$$\eta = \frac{(\alpha_2/\alpha_1)^{-[(\alpha_2/\alpha_1) - \alpha_1]} - (\alpha_2/\alpha_1)^{-[\alpha_2/(\alpha_2 - \alpha_1)]}}{k(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (\text{II- 13})$$

Pour une forme d'impulsion donnée T_1 / T_2 les valeurs de α_1 et α_2 doivent être égales. Les différences en rendement η peut être due seulement donc à la différence dans la valeur $k=R_1.C_2$ pour les deux circuits. On peut premièrement calculer ce terme pour le circuit figure II-1 b) qui a toujours un rendement élevé pour un rapport donné de C_2/C_1 . Comme durant la décharge les résistances R_1 et R_2 ne forment pas un système de division de tension, le produit $R_1.C_2$ est trouvé dans l'équation (II- 10) en formant:

$$\alpha_2 \times \alpha_1 = b \quad (\text{II- 14})$$

$$\alpha_2 + \alpha_1 = a$$

Et par substitution de a et b dans l'équation (II- 7) après on obtient :

$$k = R_1.C_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_2 + \alpha_1}{\alpha_2.\alpha_1} \right) \left[1 - \sqrt{4 \frac{\alpha_2.\alpha_1}{(\alpha_2 + \alpha_1)^2} \left(1 + \frac{C_2}{C_1} \right)} \right] \quad (\text{II- 15})$$

Pour $C_2 \leq C_1$ qui est réalisée dans tous les circuits pratique et avec $\alpha_1 > \alpha_2$ pour tous les formes d'ondes normalisées, on peut simplifier cette équation par :

$$k \approx \frac{(1 + C_2/C_1)}{(\alpha_2 + \alpha_1)} \quad (\text{II- 16})$$

La substitution de l'expression dans l'équation (II- 13) donne finalement:

$$\eta = \frac{c_1}{c_1 + c_2} = \frac{1}{(1 + (C_2/C_1))} \quad (\text{II- 17})$$

Si encore l'inégalité $\alpha_1 > \alpha_2$ est prise au compte. Le rendement de la tension pour ce circuit s'élèvera donc continuellement si C_2/C_1 diminue jusqu'à zéro.

Equation (II- 17) indique la raison pour laquelle la capacité de décharge C_1 doit être très grande que celle de la charge C_2 .

Moins favorable est le circuit II- 1 b), le calcul de η peut être basé sur la substitution de α_1 et α_2 dans l'équation (II- 10) et au traitement du rapport

$R_1 / R_2 = (C_1 / C_2)$ qui augmente lourdement avec la diminution des valeurs de C_2 / C_1

Avec une approximation minimale et l'inégalité de $\alpha_1 > \alpha_2$ on peut trouver le résultat:

$$\eta = \frac{C_1}{(C_1 + C_2)} \frac{R_2}{(R_2 + R_1)} = \frac{1}{(1 + C_2/C_1)} \frac{1}{(1 + R_1/R_2)} \quad (\text{II- 18})$$

La comparaison avec l'équation (II- 18), montre la diminution de η en raison du facteur additionnelle. Comme le rapport R_1/R_2 dépend de la forme de l'onde. La simple dépendance de C_2/C_1 seulement est perdue.

Pour une 1,2 / 50 impulsion et les impulsions similaire, l'augmentation rapide de R_1/R_2 conduit à une diminution de η pour $(C_2/C_1) < 0,1$.

Le rendement prend des valeurs optimales et décroît pour les grandes valeurs de C_2/C_1 ainsi que pour les petites, on peut montrer que pour in très petit rapport C_2/C_1 , ce circuit ne peut pas fonctionner.

En pratique, les deux circuits sont utilisés, cependant avec une forme mixte et modifiée. Si les diviseurs de haute tension résistifs sont placés en parallèle avec l'objet du test, les valeurs de leurs résistance vont contribuer à la décharge du circuit la résistance de front R_1 est souvent divisé dans les générateurs multi étage traiter ultérieurement. Néanmoins, la dépendance des facteurs d'efficacité de la tension η est affichée dans la figure II-3. Pour l'impulsion de tension standard 1,2 / 50 ainsi que pour certaines autres formes d'onde, plusieurs infos sont disponibles.

II.1.2 Dimension des éléments du circuit :

La tâche commune est de trouver la valeur des résistances R_1, R_2 comme C_1, C_2 sont connue en générale. Pour les générateurs larges, la décharge des capacités est toujours donnée et dimensionnée pour un bon rendement (efficacité). Pour certain rang de C_2 , cette capacité totale de chargement peut facilement être mesurée si elle n'est pas connue d'avance. Alors la valeur inconnue de la résistance peut être calculées en utilisant l'équation (II- 14) et les valeurs a et b grâce à l'équation (II-6), (II- 7).

Le résultat sera :

$$R_1 = \frac{1}{2C_1} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_1+C_2)}{\alpha_1\alpha_2.C_2}} \right] \quad (II- 19)$$

$$R_2 = \frac{1}{2(C_1+C_2)} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_1+C_2)}{\alpha_1\alpha_2.C_2}} \right] \quad (II- 20)$$

$$R_1 = \frac{1}{2C_2} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_1+C_2)}{\alpha_1\alpha_2.C_1}} \right] \quad (II- 21)$$

$$R_2 = \frac{1}{2(C_1+C_2)} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_1+C_2)}{\alpha_1\alpha_2.C_1}} \right] \quad (II- 22)$$

Toutes ces équations contiennent les constantes de temps $1/\alpha_1$ et $1/\alpha_2$ qui dépendent la forme d'onde. Il y'a cependant, aucune relation simple entre ces constantes de temps et les temps T_1, T_2 et T_p tels qu'ils sont définis dans les recommandations national ou international.

Ce rapport peut être trouvé en utilisant les définitions à l'expression analytique de $v(t)$, c'est-à-dire équation (II- 9)

La relation est irrationnelle et doit être calculé numériquement. Le tableau suivant montre le résultat de certaines formes d'ondes sélectionné.

T_1/T_2 (μs)	T_p/T_2 (μs)	$1/\alpha_1$ (μs)	$1/\alpha_2$ (μs)
1.2/5	-	3.48	0.8
1.2/50	-	68.2	0.405
1.2/200	-	284	0.381
250/2500	-	2877	104
-	250/2500	3155	62.5

Tableau II.2: le résultat de certaines formes d'ondes

Les valeurs nominales standard de T_1 et T_2 sont difficiles à réaliser dans la pratique, que même pour des valeurs fixes de C_1 , la valeur C_2 de charge varie et les valeurs exactes de R_1 et R_2 selon les équations (II- 21) et (II- 22) ne sont en général pas disponible. Ces résistances doivent être dimensionnées pour la haute tension du générateur et sont donc coûteux. Les tolérances admissibles pour T_1 et T_2 sont donc nécessaires et utilisées pour gradeur les valeurs des résistances. Un enregistrement de tension de sortie réelle $V(t)$ sera, en outre nécessaire si la forme recevable impulsionnelle doit être testée.

Une autre raison pour une telle mesure est liée à la valeur de la tension d'essai, tel défini dans les recommandations. Cette grandeur correspond à la crête, si la forme de l'impulsion de la foudre est lisse. Toutefois, des oscillations ou un dépassement pourra se produire à la crête de l'impulsion. Si la fréquence de ces oscillations n'est pas moins de 0,5 MHz ou la durée du dépassement n'est pas inférieure à 1 microseconde, une courbe moyenne devrait être tirée par le biais de la courbe. L'amplitude maximale de cette courbe moyenne définit la valeur de la tension d'essai. Une telle correction est seulement tolérée, à condition que leur seul pic amplitude ne soit pas plus de 5 pour cent de la valeur de crête. Les oscillations sur le front de l'impulsion (inférieur à 50 pour cent de la valeur de crête) sont tolérées, à condition que leur seul pic l'amplitude ne dépasse pas 25 pour cent de la valeur de crête. Il convient de souligner que ces tolérances autorisées constituent la différence entre des valeurs théoriques et celles effectivement constatées par la mesure, en raison d'erreurs de mesure.

Remarque :

Avec l'augmentation de l'utilisation des appareils de mesures numérique pour l'enregistrement des impulsions de tension, il est devenu évident que la définition d'une {courbe moyenne} pour l'évaluation des paramètres de l'impulsion de foudre, formes d'onde avec les oscillations ou les dépassements comme prévu par les normes, est insuffisante. Tous les logiciels sont programmés pour évaluer les paramètres, ils ont besoins des instructions claires, qui ne sont pas encore disponibles. Comme cette question est encore en cours d'examen une révision des normes actuelles peut fournir la solution, pas d'autres observations à ce problème sont données.

II.3 Analyse du circuit de générateur d'impulsion de la série de type de R-L-C

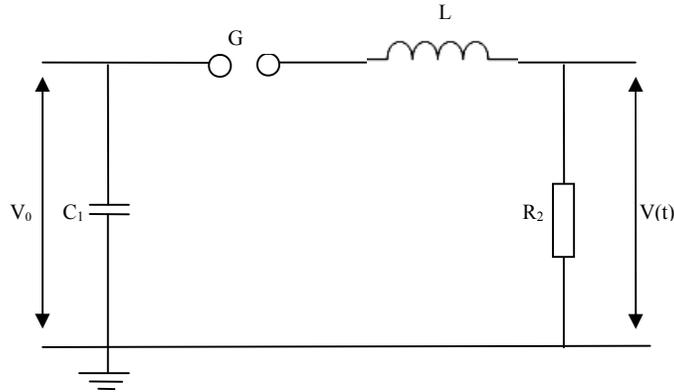


Figure II- 3: circuit générateur de type R-L-C

Le courant à travers la résistance de charge R est donnée par

$$V = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + Ri + L \frac{di}{dt} \quad (\text{II-23})$$

Avec condition initiale $t=0$ étant $i(0) = 0$ et la charge nette dans le circuit $q=0$.

Écrit l'équation ci-dessus comme une transformation équation de Laplace.

$$V/s = \left(\frac{1}{Cs} + R + Ls \right) I(s) \quad (\text{II-24})$$

Ou

$$I(s) = \frac{V}{L} \left[\frac{1}{s^2 + \frac{Rs}{L} + \frac{1}{LC}} \right] \quad (\text{II-25})$$

La tension aux bornes de la résistance R (qui est la tension de sortie) est, $v_0(s) = I(s) R$;

$$V_0 = V \frac{R}{L} \frac{1}{s^2 + \frac{Rs}{L} + \frac{1}{LC}} \quad (\text{II-26})$$

Pour un état plus amorti, $R/2L \geq 1/\sqrt{LC}$

D'où, les racines de l'équation $s^2 + \frac{Rs}{L} + \frac{1}{LC}$ sont:

$$\alpha = s_1 = \frac{-R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (\text{II-27})$$

$$\beta = s_2 = \frac{-R}{2L} - \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (\text{II-28})$$

La solution de l'équation pour $v_0(t)$ est

$$V_0(t) = \frac{v\left(\frac{R}{2L}\right)}{\sqrt{\left[\frac{R^2}{2L} - \frac{1}{LC}\right]}} [\exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t)]$$

$$= V_0[\exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t)] \quad (\text{II-29})$$

$$V_0(t) = \frac{v\left(\frac{R}{2L}\right)}{\sqrt{\left[\frac{R^2}{2L} - \frac{1}{LC}\right]}} = \frac{v}{\sqrt{\left[1 - \frac{4L}{CR^2}\right]}} \quad (\text{II-30})$$

La somme des racines $(\alpha + \beta) = -\frac{R}{2L}$

Et le produit des racines $\alpha\beta = \frac{1}{LC}$

Le front d'onde et la queue d'onde temps sont commandés par le changement des valeurs de R et L simultanément avec un générateur donné capacité C, β ou le front d'onde temps est déterminé après le choix d'une valeur convenable pour L et α ou la queue d'onde temps est commandé par la valeur de R dans le circuit. L'avantage de ce circuit est sa simplicité. Mais le contrôle de la forme d'onde est ni flexible ni indépendante. Un autre inconvénient est que le circuit de base est modifié lorsqu'un objet de test qui sera capable principalement dans la nature, est connecté aux bornes de la sortie. D'où, la forme d'onde est changée avec le changement d'objet de test.

CHAPITRE III

Les Applications

III.1 Introduction :

La performance d'un générateur de choc s'exprime par :

- la tension maximale de charge (U_{g_0}) du condensateur
- le nombre d'étage n
- le rendement (qui sera traité à partir de certains exemples)

Afin d'éviter des calculs longs et fastidieux dans la pratique des laboratoires à haute tension, il a tabulé un abaque ou nomogramme (figure III.1, III.2) à partir des équations résolues par des méthodes de calcul. Le tableau III.1 détermine les facteurs et coefficients de l'onde de choc et le rendement du générateur de choc.

III.2 Définition de rendement :

Le rendement du générateur de choc est le rapport entre la tension continue U_{g_0} de condensateur C_g et la tension de crête \hat{U} de l'onde de choc.

$$\eta = U_{g_0} / \hat{U} \quad (\text{III.1})$$

III.3 Normalisation de la tension de choc :

Afin de normaliser la tension de choc pour effectuer des calculs systématique au moyen d'abaques ou nomogrammes, on recourt à l'équation :

$$\eta U_c(t) = \alpha U_{g_0} / (\alpha^2 - 1)^{1/2} [\exp - [\alpha - (\alpha^2 - 1)^{1/2}] t / \tau - \exp - [\alpha + (\alpha^2 - 1)^{1/2}] t / \tau]$$

$U_c(t)$: Tension de choc à la borne de l'objet en fonction du temps (t)

\hat{U} : Tension de crête de l'onde de choc

\hat{U}_{g_0} : Tension maximum de charge du condensateur de choc (C_g)

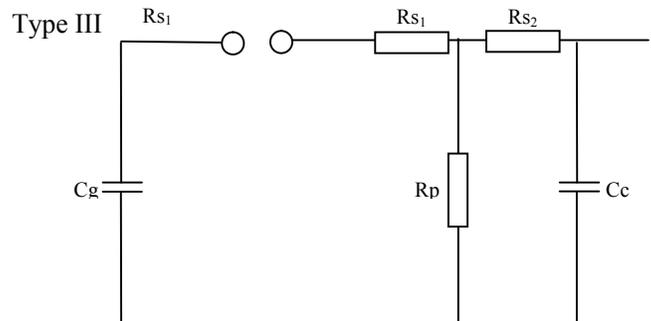
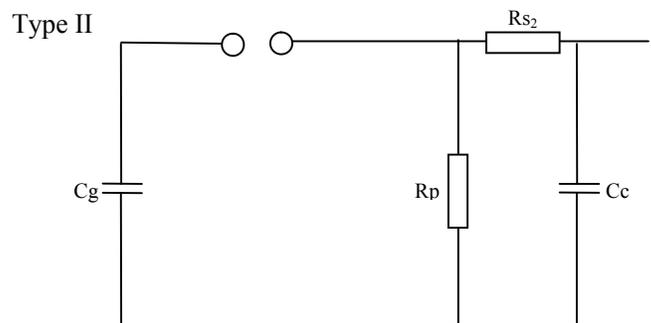
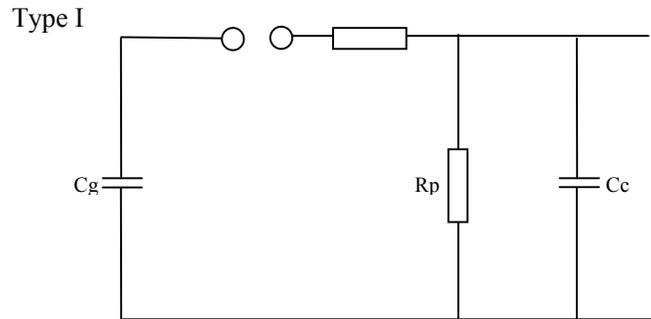
η : Facteur déterminant le rapport entre la tension de charge U_{g_0} et la tension maximum de choc \hat{U} (rendement du générateur de choc)

ζ : Coefficients déterminant le temps

α : Facteur déterminant l'allure de la tension de choc

III.4 Les divers couplages de générateurs de choc :

Les différents types de couplage sont définis par les schémas suivants :



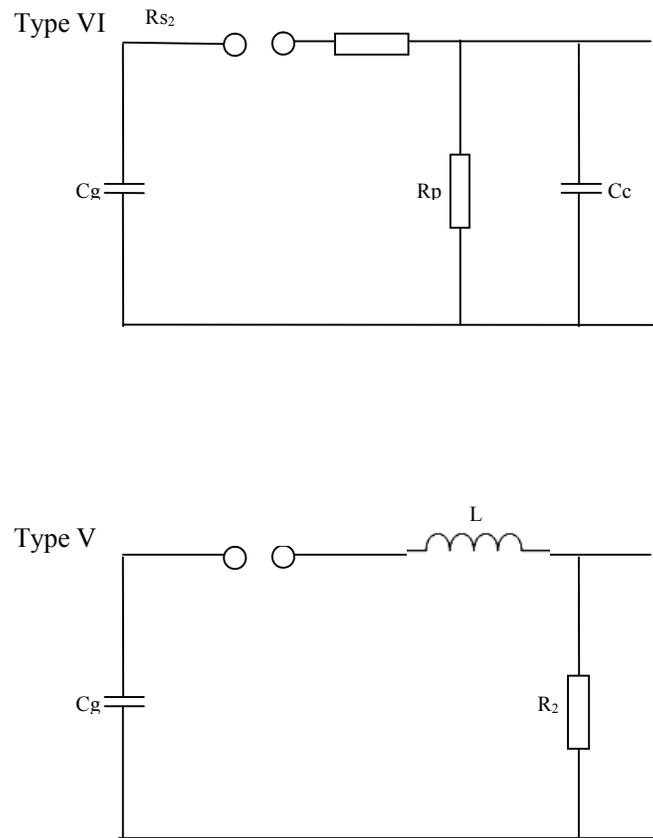


Figure III.1: Les différents types de couplage

III.5 Description des tableaux

Les tableaux III.1 & III.2 résume l'ensemble des formules de passage permettant de déterminer :

- la forme de l'onde de choc $U_c(t)$, à partir des caractéristiques du générateur de choc (R_{s_i} , R_p , R , C , C_g , C_c , L).soit, η et α
- la caractéristique du générateur de choc (R_{s_i} , R_p , R , L) C_g et C_c étant supposées connues, à partir de la forme de l'onde de choc $U_c(t)$ (tableau III.2)

Schéma de générateur de tension de choc	$\tau(s)$	$\eta(1)$	$\alpha(1)$
Type I	$(C_g.C_c.R_{s1})^{1/2}$	$1 + (C_c/C_g) + (R_{s2}/R_p)$	$\frac{1}{2} R_p C_g \frac{\eta}{\tau}$
Type II	$C_g.C_c.R_{s2}R_p$	$1 + (C_c/C_g) [1 + (R_{s2}/R_p)]$	$\frac{1}{2} R_p C_g \frac{\eta}{\tau}$
Type III	$C_g C_c.R_s(R_s+2R_p)^{1/2}$	$[1 + (C_c/C_g)][1 + (R_{s2}/R_p)]$	$\frac{1}{2} R_p C_g \frac{\eta}{\tau}$
Type IV	$(C_g C_c.R_{s1}R_p + R_p R_{s2} + R_{s2}R_{s1})^{1/2}$	$[1 + (R_s/R_p) + C_c/C_g].(1 + (R_{s2}/R_p))$	$\frac{1}{2} R_p C_g \frac{\eta}{\tau}$
Type V	$(LC_g)^{1/2}$		$\frac{R}{2} (C_g/L)^{1/2}$

Tableau III.1: Détermination de l'onde de choc à partir des caractéristiques connues de générateur de choc

Schéma de générateur de tension de choc	$X(1)$	$R_{S_i}(\Omega)$	$R_p(\Omega)$
Type I	$(1/\alpha^2)(1+C_g/C_c)$	$R_{S_i} = (\alpha \cdot T / C_g) [1 - (1-x)^{1/2}]$	$[\alpha \cdot T / (C_g+C_c)] [1 - (1-x)^{1/2}]$
Type II	$(1/\alpha^2)(1+C_g/C_c)$	$R_{S_i} = (\alpha \cdot T / C_c) [1 - (1-x)^{1/2}]$	$[\alpha \cdot T / (C_g+C_c)] [1 - (1-x)^{1/2}]$
Type III	$(1/4\alpha^2)(1+C_c/C_g)(1+C_g/C_c)$	$R_s = [2\alpha \cdot T / (C_g+C_c)] [1 - (1-x)^{1/2}]$	$[2\alpha \cdot T / (C_g+C_c)] [1 - (1-x)^{1/2}]$
Type IV			
Type V		$L(H) = T^2/C_g$	$R(\Omega) = 2\alpha \cdot T/C_g$

Tableau III.2 : Détermination des caractéristiques de générateur de choc à partir de l'onde de tension de choc connue

III.6 Définition des abaques

Afin d'éviter de longs calculs dans la pratique de laboratoire à haute tension, on a tabulé un abaque ou nomogrammes (figure III.1, III.2) on recourt à l'équation (III.2)

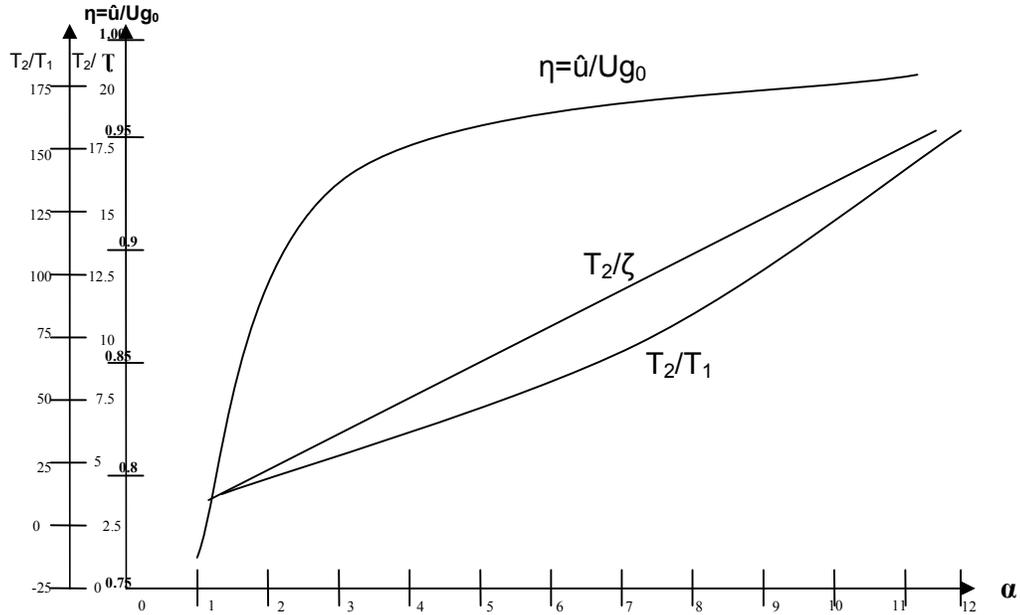


Figure III.2 Abaque de choc de foudre

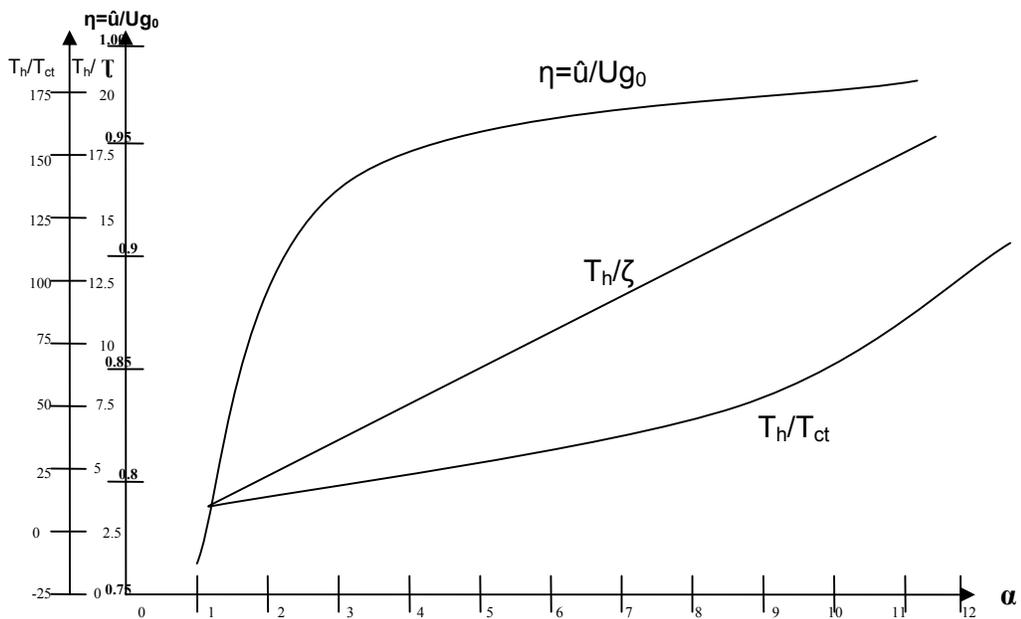


Figure III.3 Abaque de choc de manœuvre

III.7 Exemples de calcul

III.7.1 1^{ère} exemple : *Calcul des paramètres d'un choc en fonction des caractéristiques connues du générateur de choc.*

Nous présentons un générateur de choc de foudre type schéma II dont les éléments sont les suivants :

- La capacité de choc $C_g = 0,125 \mu\text{F}$
- La capacité de charge $C_c = 1 \text{ n F}$
- La résistance série $R_{s_i} = 360 \Omega$
- La résistance parallèle $R_p = 544 \Omega$

On se prépose de déterminer les durées conventionnelles du front T_1 et de queue T_2 . En se reportant tableau III.1, on peut déterminer les valeurs numériques de τ , η et α .

Calcul de τ

$$\tau = (C_g C_c R_{s_2} R_p)^{1/2} = 0,125 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-9} \cdot 360 \cdot 544$$

$$\tau = 4,9 \mu\text{s}$$

Calcul de η

$$\eta = 1 + C_c / C_g (1 + R_{s_2} / R_p) = 1 + 10^{-9} / 0,125 \cdot 10^{-6} (1 + 360/544)$$

$$\eta = 1,01$$

Calcul de α

$$\alpha = \frac{1}{2} R_p C_g \eta / \tau = \frac{1}{2} 544 \cdot 0,125 \cdot 10^{-6} \cdot 1,01 / 4,9 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha \approx 7$$

Pour la valeur de $\alpha \approx 7$, les abaques de la figure (III.1) donnent :

$$* T_2 / \tau = 10,2 \Rightarrow T_2 = 10,2 \cdot 4,9 + 49,98 \approx 50 \mu\text{s}$$

$$* T_2 / T_1 = 45 \Rightarrow T_1 = 50/45 = 1,11 \mu\text{s}$$

Conclusion :

Le choc obtenue est de type foudre 1.1/50 μs , c'est-à-dire qu'il est assimilable au choc de foudre normalise 1,2 $\pm 0,36 \mu\text{s}$ / 50 $\pm 10 \mu\text{s}$ (voir figure I-2). Le rendement du générateur de choc, à savoir le rapport entre la tension continue U_{g_0} de charge de condensateur C_g et la tension de crête U de l'onde de choc de foudre vaut 0.98 d'après l'abaque III.1.

III.7.2 2^{ème} exemple : *Calcul des caractéristiques d'un générateur de choc en fonction des paramètres de choc désirés:*

On prend l'exemple de générateur de choc de manœuvre type schéma II (voir tableau III.1) dont les éléments de circuit connu sont:

- La capacité de choc $C_g = 0.125 \mu\text{F}$
- La capacité de charge $C_c = 1 \text{ nF}$

Les paramètres de choc de manœuvre sont (figure I-1) :

- La durée conventionnelle de front $T_{cr} = 250 \mu\text{s}$
- La durée conventionnelle de la queue $T_h = 2500 \mu\text{s}$

On se propose de déterminer les valeurs de la résistance séries R_{s2} et la résistance parallèle R_p .

L'abaque de la figure III.3 montre que pour :

$$T_h / T_{cr} = 2500 \mu\text{s} / 250 \mu\text{s} = 10 \Rightarrow \alpha = 4$$

Le même abaque montre que pour cette même valeur de α

$$T_h / \tau = 7.40 \Rightarrow \tau = 2500 / 7.40 = 337.83 \approx 338 \mu\text{s}$$

D'après le tableau III.1 pour le schéma de type II on trouve :

$$X = (1/\alpha^2)(1+C_c/C_g) = (1/4^2) [1+10^{-9}/(0.125 \cdot 10^{-6})] = 0.063$$

D'où

$$R_{s2} = (\alpha \cdot \tau / C_c) [1 - (1-x)^{1/2}] = (4 * 338 / 10^{-9}) \cdot [1 - (1 - 0.063)^{1/2}]$$

$$\mathbf{R_{s2} = 43.3 \text{ K}\Omega}$$

$$R_p = [\alpha \cdot \tau / (C_g + C_c)] [1 + (1-x)^{1/2}] = [4 \cdot 338 / (0.125 * 10^{-6} + 10^{-9})] \cdot [1 + (1 - 0.063)^{1/2}] = 21.1 \text{ K}\Omega$$

$$\mathbf{R_p = 21.1 \text{ K}\Omega}$$

D'après l'abaque III.2 le rendement de générateur de manœuvre vaut 0.948

III.7.3 3^{ème} exemple :

Nous présentons ici un générateur de choc de foudre à un étage (figure I-6) dont les valeurs des éléments sont les suivants :

- R_{s2} résistance série de choc de foudre 375 Ω .
- R_p résistance parallèle de choc de foudre 6100 Ω .
- C_g capacité de choc 10.000 pF.
- C_c capacité de charge 1200 pF.

Calcul de τ :

$$\tau = (C_g C_c R_{s1} R_p)^{1/2} = (1000 * 10^{-12} * 1200 * 10^{-12} * 375 * 6100)^{1/2}$$

$$\zeta = 5.23 \mu s$$

Calcul de η :

$$\eta = 1 + C_c / C_g (1 + R_{s2} / R_p)$$

$$= 1 + [1200. 10^{-12} / 10000. 10^{-12} (1 + 375/6100)] = 1.12$$

$$\eta = 1.12$$

Calcul de α :

$$\alpha = 1/2 R_p C_g \eta / \zeta = 1/2 * 6100 * 1.12 / 5.23 * 10^{-6} * 10000 * 10^{-12}$$

$$\alpha = 6.53$$

Pour la valeur de $\alpha = 6.53$ les abaques de la figure III.1 et III.2 donnent :

- $T_2 / \tau = 9 \rightarrow T_2 = 9.5 * 5.23 = 49.68$
- $T_2 / T_1 = 40.5 \rightarrow T_1 = 49.62 / 41 = 1.21$

Le choc obtenu est du type foudre 1.20 / 49.68 μs c'est-à-dire qu'il est assemblé au choc de foudre normalisé 1.2 $\pm 0.36 \mu s$ / 50 $\pm 10 \mu s$.

Le rendement du générateur vaut 0.98.

Conclusion

Les générateurs haute tension impulsionnelle, sont importantes à échelle industriel pour le test diélectrique sur les isolants et divers appareil, également pour les filtres et production de l'ozone.

On a montré les techniques de production et mesure la haute tension impulsionnelle.

Les dimensions de générateur haute tension impulsionnelle dépend des paramètres de l'onde voulue.

Nous avons aussi analysé les divers circuits générateurs d'impulsion de tension pour obtenir les équations qui nous donne les paramètres de l'onde de choc.

Bibliographie

1/- MS NAIDU, V KAMARAJU, "High Voltage Engineering". Third Edition Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited

2/- MICHEL AGUET, MIRCEA LANOVICI, "Haute Tension". XXII EDITIONS GEORGI

3/- ABDEL-SALAM ANIS, EL-MORSHEDY RADWAN "High-Voltage Engineering" Second Edition CRC Press Taylor & Francis Group

Liste des figures

Figure I.1	Forme général de l'impulsion de manœuvre
Figure I.2	Forme général de l'impulsion de foudre
Figure I.3	Onde coupée a la queue
Figure I.4	Onde coupé a le front
Figure I.5	Schéma électrique de Générateur de choc de manœuvre et de foudre à un étage à composants capacitifs-résistifs
Figure I.6	Schéma électrique de Générateur de choc de manœuvre et de foudre à un étage à composantes capacitif-inductif-résistif
Figure I.7	circuit de base d'un générateur de choc à quatre étages
Figure I.8	circuit de base d'un générateur de choc à quatre étages (charge)
Figure I.9	circuit de base d'un générateur de choc à quatre étages (décharge)
Figure I.10	Schéma équivalent d'un générateur de choc multi étages
Figure I.11	Générateur de Marx
Figure I.12	Schéma électrique de générateur de choc à front raide
Figure I.13	Spintermètre
Figure I.14	Diviseur de choc purement résistif
Figure I.15	Diviseur de choc purement capacitif
Figure II.1	Générateurs d'impulsion à un seul étage
Figure II.2	Circuit équivalent en transformé de Laplace.
Figure II.3	L'onde de tension et ces composantes suivant le circuit de la figure II- 1
Figure II.4	circuit générateur de type R-L-C
Figure III.1	Les différents types de couplage
Figure III.2	Abaque de choc de foudre
Figure III.3	Abaque de choc de manœuvre

Liste des tableaux

Tableau I.1	Classes de tension
Tableau I.2	Principaux domaines d'applications de la haute tension
Tableau I.3	Les valeurs caractéristiques courantes
Tableau I.4	Valeur de crête des tensions disruptive en kilovolt
Tableau II.1	Transformée de Laplace des éléments
Tableau II.2	Le résultat de certaines formes d'ondes
Tableau III.1	Détermination de l'onde de choc à partir des caractéristiques connues de générateur de choc
Tableau III.2	Détermination des caractéristiques de générateur de choc à partir de l'onde de tension de choc connue

Résumé

Les générateurs haute tension impulsionnelle sont base sur la charge et décharge des condensateurs. La forme de l'onde impulsionnelle dépend dans les paramètres de générateur de choc.

Mot clé : (onde impulsionnelle, charge et décharge condensateurs, spintermètre)

Abstract

High voltage impulse generators are based on the charge and discharge capacitors. The form of the impulse wave depends on the shock generator parameters.

Keyword: (impulse wave, charge and discharge capacitors, spintermetre)

ملخص :

مولدات الجهد العالي الدفعية تستند على شحن و تفريغ المكثفات . شكل موجة الاندفاع يعتمد على عوامل مولد الصدمة الكهربائية .

الكلمات المفتاحية : (موجة الاندفاع, شحن و تفريغ المكثفات, جهاز قياس الجهد العالي الدفعي)