

GENERATEURS DE HAUTE TENSION

Les générateurs de haute tension sont utilisés dans :

- a) les laboratoires de recherche scientifique ;
- b) les laboratoires d'essai, pour tester les équipements haute tension avant leur utilisation (isolateur, câble, transformateur, appareils de coupure ...) ;
- c) de nombreuses applications utilisant la haute tension (rayons X, effet couronne, générateur d'ozone, séparation électrostatique, laser...).

Il y a trois types de tensions : • Tension alternative • Tension continue • Tension de choc

I) GENERATEURS DE TENSION ALTERNATIVE

I.1) Transformateur élévateur

Le transformateur élévateur représente la source de haute tension la plus répandue et la plus utilisée dans la pratique. Ce sont des transformateurs de faible puissance (de quelques centaines de VA à quelques kVA). Ces transformateurs qui sont destinés principalement aux laboratoires d'essais, doivent avoir une très bonne isolation car ils sont appelés à supporter les nombreux claquages qui surviennent lors des tests.

I.2) Circuit résonnant

Dans les essais réalisés en haute tension, quelques fois il se produit une explosion de l'équipement testé, suite à l'apparition d'une forte surtension générée par résonance électrique.

Exemple : considérons un isolant de capacité C alimenté par une

Haute Tension délivrée par un transformateur.

$\omega r_1 + j\omega L_1$: impédance primaire du transformateur

$\omega r_2 + j\omega L_2$: impédance secondaire du transformateur

$L\omega$: impédance shunt du transformateur,

C : charge capacitive d'impédance $1/\omega C$.

$$U = (r_1 + r_2)I + j \left((\omega L_1 + \omega L_2) - j \frac{1}{\omega C} \right) I$$

Si par hasard $\omega(L_1 + L_2) \approx \frac{1}{\omega C}$ une résonance accidentelle se produit, le courant devient tellement grand que la surtension aux bornes de la charge atteint jusqu'à 20 à 50 fois la tension appliquée et peut provoquer une explosion de la charge.

Le phénomène de résonance est mis à profit pour produire de très hautes tensions (figure 3) ; une impédance de réglage variable insérée en série avec le circuit du transformateur permet de régler et d'augmenter la tension à des valeurs très grandes (jusqu'à 600 kV)

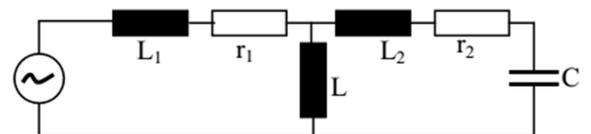


Figure 2 : Circuit électrique équivalent du transformateur et de l'isolant testé

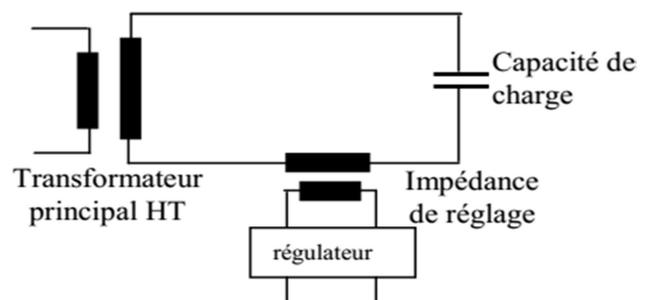


Figure 3 : Circuit résonnant

II) GENERATEURS DE HAUTE TENSION CONTINUE

La haute tension continue est utilisée dans de nombreuses applications, telles que :

- Réseaux HVDC (High Voltage Direct Current)
- Recherche fondamentale : il est plus facile de travailler et d'analyser les phénomènes avec

une tension constante qu'avec une tension constamment variable.

- De nombreuses applications nécessitent une tension continue (rayons X de la radiologie, séparation électrostatique, filtre électrostatique...).
- Dans les applications où les essais de test d'équipement à charge capacitive sont très nombreux ; pour des raisons économiques on évite la tension alternative.

II.1) Redresseur de tension alternative

a) Redresseur à simple alternance :

C : capacité de lissage du redresseur + capacité de l'objet en essai + capacités parasites.

R : résistance de l'objet testé + résistance de fuite du condensateur de lissage.

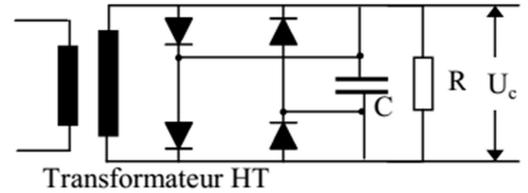


Figure 6 : Redresseur à double alternance en charge (pont de Graëtz)

b) Redresseur double alternance :

Contrairement au redresseur à simple alternance, l'alternance négative est également redressée. Il n'y a pas de très grande différence entre les montages redresseurs à simple et à double alternance, en présence d'une capacité de lissage.

c) Doubleur de tension :

Il y a plusieurs types de doubleurs de tension, mais le principe est le même; Le plus répandu est le doubleur de Schenkel.

Doubleur de Schenkel :

Pendant l'alternance négative le condensateur C1 se charge à la tension Vmax, à l'alternance suivante cette tension qui s'ajoute à la tension du transformateur donne une tension aux bornes de C égale à 2 Vmax. La tension à vide obtenue à la sortie est donc $U_c = 2V_{max}$.

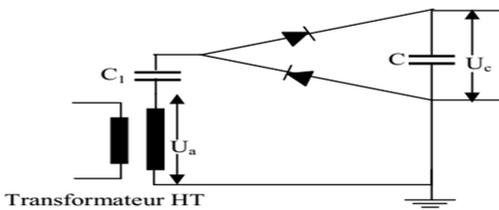


Figure 8 : Doubleur de Schenkel

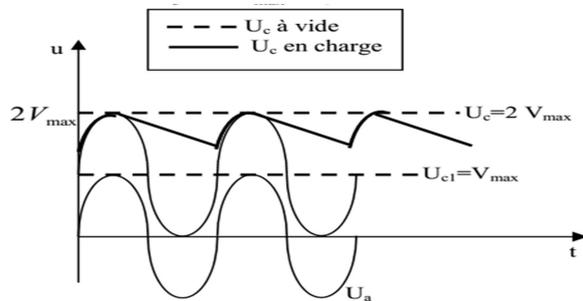


Figure 9 : Courbes des tensions redressées délivrées par le doubleur de Schenkel

Remarque : l'avantage du doubleur de Schenkel est qu'il constitue l'élément de base du redresseur en cascade.

d) Redresseur en cascade :

La cascade, appelée cascade de Greinacher ou de Cockcroft-walton, est constituée par une pile de doubleurs de type Schenkel.

Comme chaque étage délivre une tension à vide égale à $2V_{max}$, la tension obtenue (à vide) est $U_c = 2nV_{max}$ avec n : nombre d'étages.

En charge : $U_c = 2nV_{max} - \Delta U$

Remarque : le nombre optimal d'étages ne dépasse pas généralement 10, car au delà la chute de tension

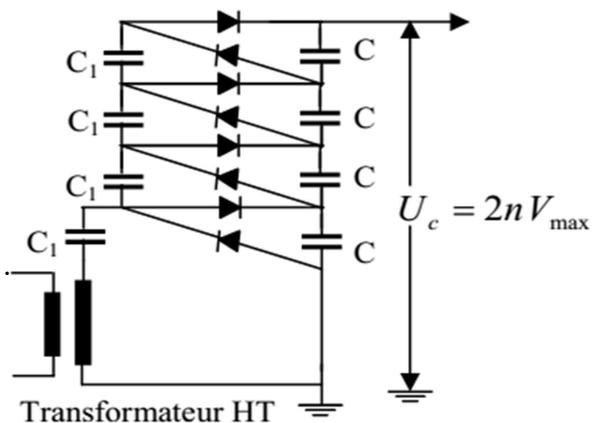


Figure 10 : Cascade de Greinacher ou de Cockcroft-walton à vide

devient trop importante. Ce type de générateur délivre une tension qui peut atteindre 5 MV ; mais l'ordre de grandeur du courant délivré qui est de 10 mA reste faible.

II.2) Multiplicateur de tension

La première phase consiste à fermer les interrupteurs S1 pour charger en parallèle les condensateurs Ci .Après, on ouvre les interrupteurs S1 et on ferme S2 : les tensions des condensateurs Ci qui sont maintenant en série, s'ajoutent pour donner aux bornes de C une tension de sortie $U_c = nU_0$. avec n : nombre de condensateurs Ci.

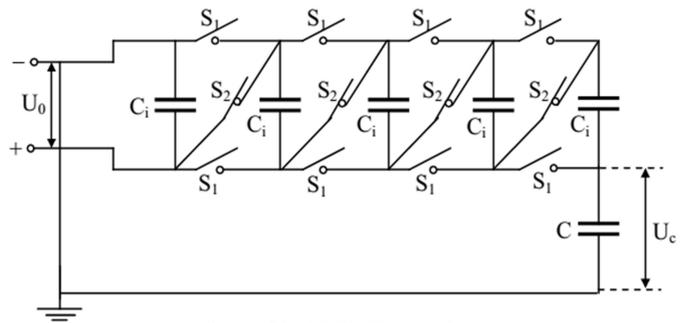


Figure 11 : Multiplicateur de tension

III) GENERATEURS DE TENSIONS DE CHOC

Définition : La tension de choc (ou impulsion) est une très haute tension **unidirectionnelle**, appliquée pendant un temps très bref de l'ordre de **quelques μs**. C'est un courant ou une tension qui croît rapidement jusqu'à une valeur crête, puis décroît jusqu'à zéro.

Les générateurs de choc sont nécessaires pour :

- Simuler les surtensions des lignes comme l'onde de la foudre par exemple, pour l'étude, recherche.
- Réaliser des tests d'essais sur les appareillages haute tension destinés à fonctionner lors des surtensions, tels que les appareils de protection contre les surtensions.

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

Tous les générateurs de choc sont identifiés par les deux constantes de temps t1 et t2 :

$$t_1 = 1,67(T_{90} - T_{10}) \text{ et } t_2 = T_{50}$$

L'onde de choc standard normalisée pour l'étude de :

- la **foudre** est l'onde **1,2/50 μs** ($t_1 = 1,2 \mu s$ et $t_2 = 50 \mu s$).
- la surtension de **manœuvre** : l'onde **250/2500μs**

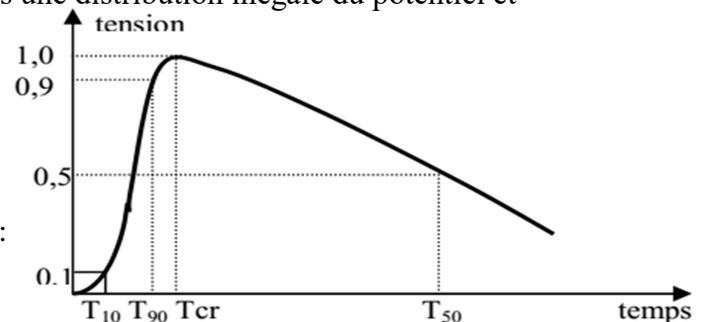


Figure 12 : Onde de choc conventionnelle

Le temps de montée à la valeur crête T_{cr} est appelé temps de **front**, et le temps de diminution T_{50} est appelé temps de **queue**.

III.1) Générateur de choc à un étage

La tension continue V charge le condensateur C1 jusqu'à produire le claquage de l'éclateur E ; une tension brusque (choc) est ainsi appliquée aux extrémités de la charge capacitive C2.

C1 : capacité de choc (réservoir d'énergie) , C2 : capacité de l'objet en essai ; $C1 = (10...20) C2$

R1 : résistance de front d'onde (**serie**) ; **R2** : résistance de queue d'onde (**parallèle**) ;

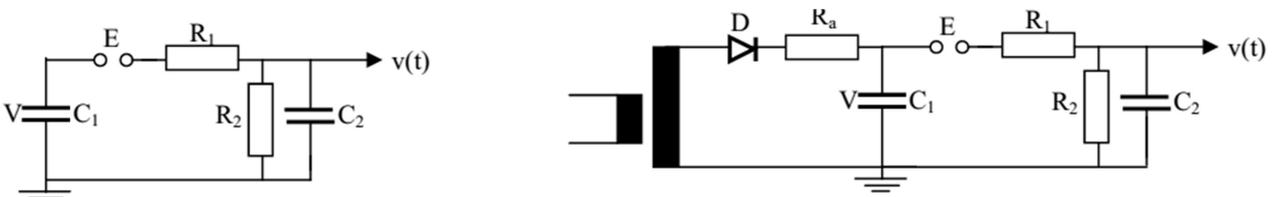


Figure 13 : Générateur de choc à un étage

En général, le condensateur $C1$ se charge par l'intermédiaire d'un transformateur HT associé à une diode D . la résistance d'amortissement R_a empêche une charge trop rapide. La constante de temps lors du processus de charge $\tau = R_a C1$ 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 $C2$ à travers la résistance série de front $R1$. la résistance parallèle de queue d'onde $R2$ étant beaucoup plus grande que $R1$, les capacités $C1$ et $C2$ vont se décharger ensuite plus lentement dans cette résistance $R2$.

Les résistances **$R1$ et $R2$** servent à contrôler les constantes de temps respectivement de **front** et de **queue** de l'onde. Ainsi, un temps de front bref requiert une charge rapide du condensateur $C2$ et un temps de queue long nécessite une décharge plus lente ; ceci est réalisé en choisissant une résistance $R2$ très grande par rapport à $R1$.

III.2) Générateur de choc à plusieurs étages (Générateur de Marx)

Des tensions continues plus élevées sont obtenues avec le générateur de Marx, c'est un ensemble de générateurs de choc à un étage, montés en cascade. Les tensions obtenues sont de l'ordre du MV (maximum réalisé env. 6 MV).

Dans une première phase, le sectionneur I fermé permet la charge en parallèle des n condensateurs C à travers de grandes résistances de charge R_{ch} ; l'alimentation étant assurée par une source continue de tension U_0 (généralement comprise entre 50 et 200 kV).

Ensuite, dans une deuxième phase, le sectionneur est ouvert et l'amorçage de tous les éclateurs E_i est commandé presque simultanément (la tension de claquage des éclateurs à sphères étant ajustée légèrement au-dessus de U_0); à ce moment précis les condensateurs C se trouvent en série et constituent une source de tension égale à nU_0 .

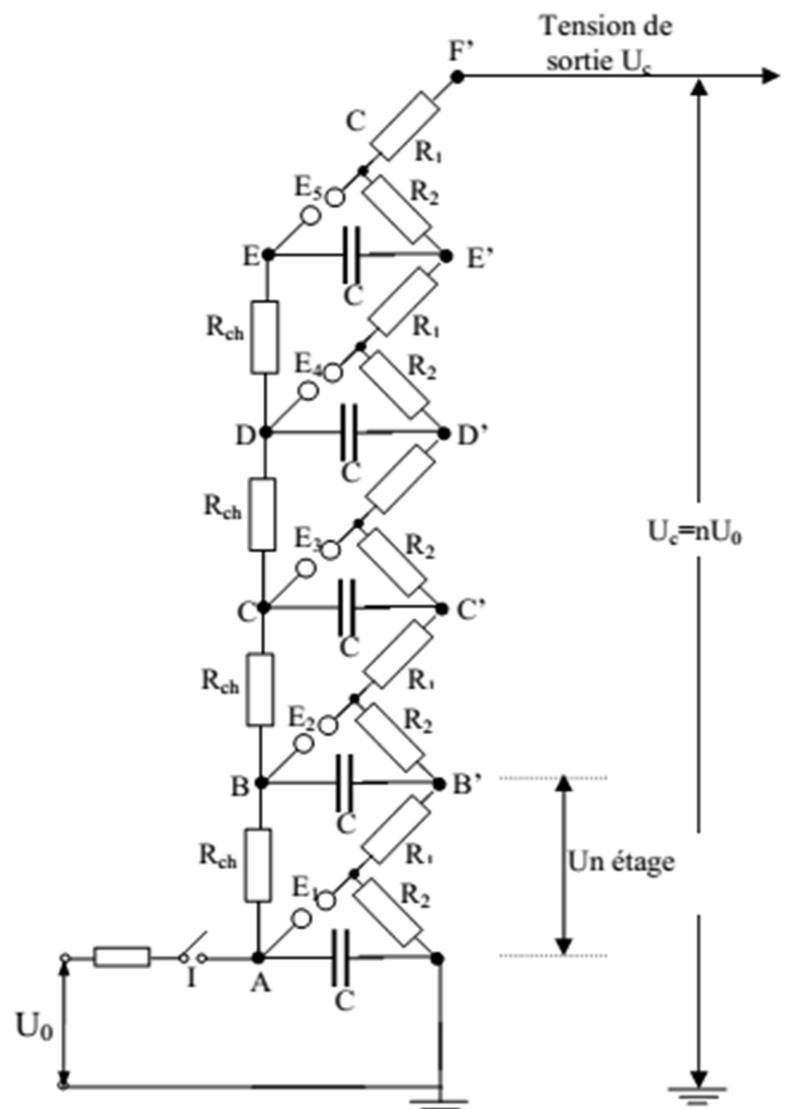


Figure 16 : Générateur de Marx à 5 étages