

CHAPITRE IV

INTRODUCTION A LA HAUTE TENSION

GENERATION DES HAUTES TENSIONS

I –INTRODUCTION

Les tensions appliquées aux éléments du réseau haute tension causent des contraintes sur les isolants. Ces isolants sont normalement conçus pour résister durablement aux tensions de service normal. Mais des surtensions peuvent apparaître et sont d'origine interne (manœuvres par exemple) ou d'origine externe (foudre surtout). Ces surtensions peuvent endommager les isolants et les équipements et pour cela on doit tester ces derniers et étudier leurs comportements lors de ces surtensions. Bien sûr les équipements sont aussi testés pour les tensions pour lesquelles ils ont été conçus avant d'être commercialisés ou utilisés.

On distingue trois catégories de hautes tensions : Les tensions continues (DC), les tensions alternatives à la fréquence industrielle (AC, 50 Hz), et les tensions de manœuvres (switching impulses) ou encore les tensions de foudre (lightning impulse). Dans ce qui suit on va étudier les méthodes de les générer et de les mesurer.

II – GENERATION DE LA HT CONTINUE

Ces tensions sont utilisées pour tester les équipements utilisés dans les liaisons CCHT (HVDC) c.a.d. les courants continus haute tension. On peut aussi les utiliser pour tester les câbles HT car les courants capacitifs élevés engendrés par les tensions AC rendent les tests difficiles, quoique cette situation ne donne pas des résultats fiables car les câbles sont utilisés généralement pour le transport AC.

La valeur de la tension continue est donnée par la valeur moyenne

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$$

Avec T la période d'oscillation de la tension V(t). La déviation de la tension instantanée de la valeur moyenne est caractérisée par l'ondulation

$$\delta V = (V_{\max} - V_{\min}) / 2$$

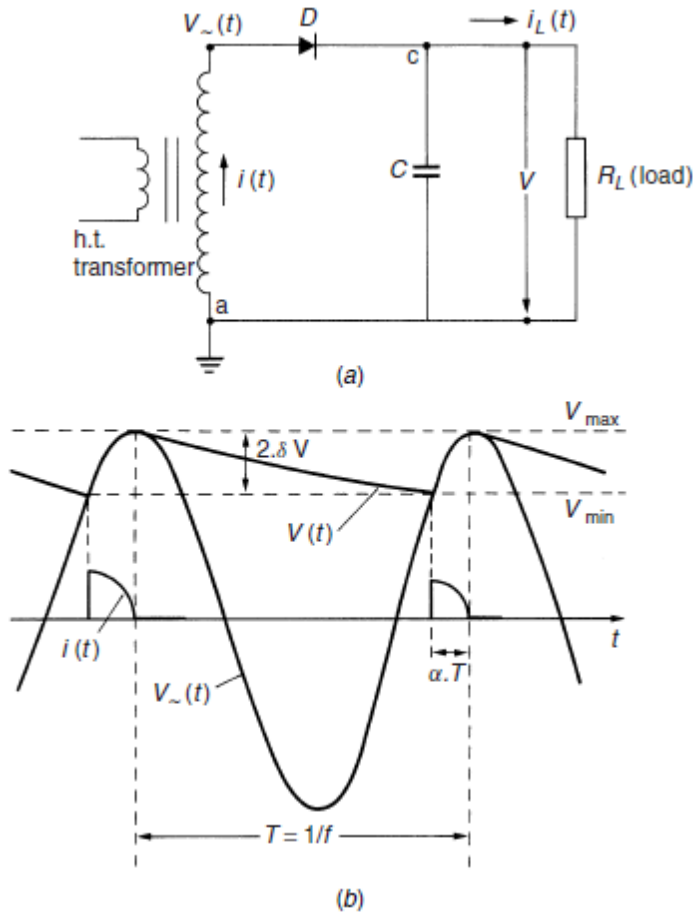
et la valeur relative de cette ondulation ne doit pas dépasser 5 % en général.

On distingue deux méthodes pour la génération : Par les redresseurs ou par les générateurs électrostatiques. Ces derniers donnent une tension ayant une ondulation très faible en général.

REDRESSEMENT

C'est la méthode la plus efficace et malgré que la tension inverse maximale d'une diode au silicium ne dépasse pas 2,5 kV, on peut obtenir des unités supportant des dizaines ou des centaines de kV en associant des diodes en série et en distribuant les tensions équitablement entre ces diodes en utilisant des anneaux de garde.

Le schéma d'un redresseur et la forme de la tension obtenue sont montrés ci-dessous.

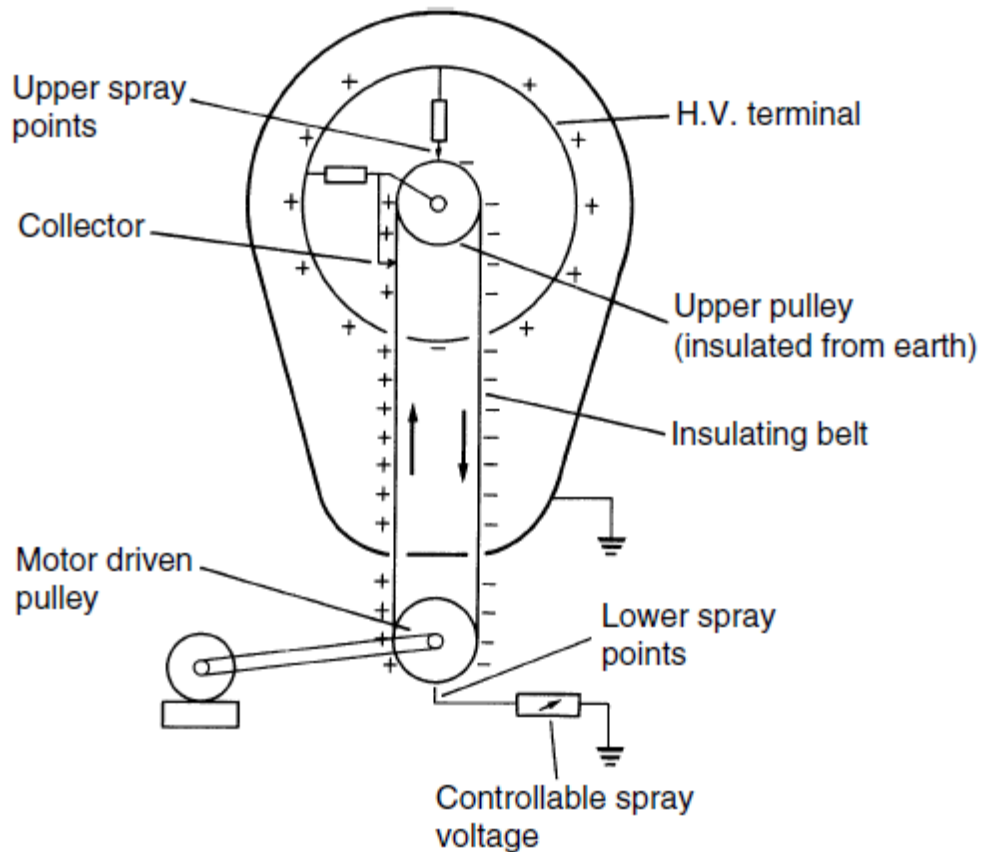


Le condensateur C sert à lisser la tension de sortie. La diode doit supporter la tension inverse de $2V_m$ où V_m est la valeur maximale de la tension du secondaire du transformateur. La charge représente l'objet à tester et sa résistance est très élevée avant le claquage. Si le courant de charge est nul, la diode ne conduit presque pas et le condensateur maintient la tension à V_m .

Pour obtenir des tension très élevées on peut utiliser des circuits en cascade ou des multiplicateurs de tension.

GENERATEURS ELECTROSTATIQUES

Ces dispositifs convertissent l'énergie mécanique directement en énergie électrique, où on pompe les charges contre des champs électriques. Le plus connu de ces générateurs est celui de Van de Graaff dont le principe est montré ci-dessous.



Une charge électrique est injectée sur une ceinture isolante par le biais d'une décharge couronne à une tension de 10 kV par rapport à la terre. Un moteur fait tourner la ceinture et la charge est collectée en haut par un point de décharge et déposée sur une électrode métallique isolée. Des tensions de MV peuvent être atteintes.

III – GENERATION DE LA HT ALTERNATIVE

Etant donné que les tensions AC dominent les réseaux électriques, il est normal que la majorité des tests sont liés à ces types de tensions. Les générateurs disponibles varient de 10kV jusqu'à 1,5 MV environ. En général les équipements sont testés à la fréquence de service (50 Hz), mais pour les bobines à noyau de fer on utilise des fréquences plus élevées pour éviter la saturation. Puisque les objets à tester apparaissent comme des capacités C_t , la puissance apparente de la source doit être

$$S_n = k V_n^2 \omega C_t$$

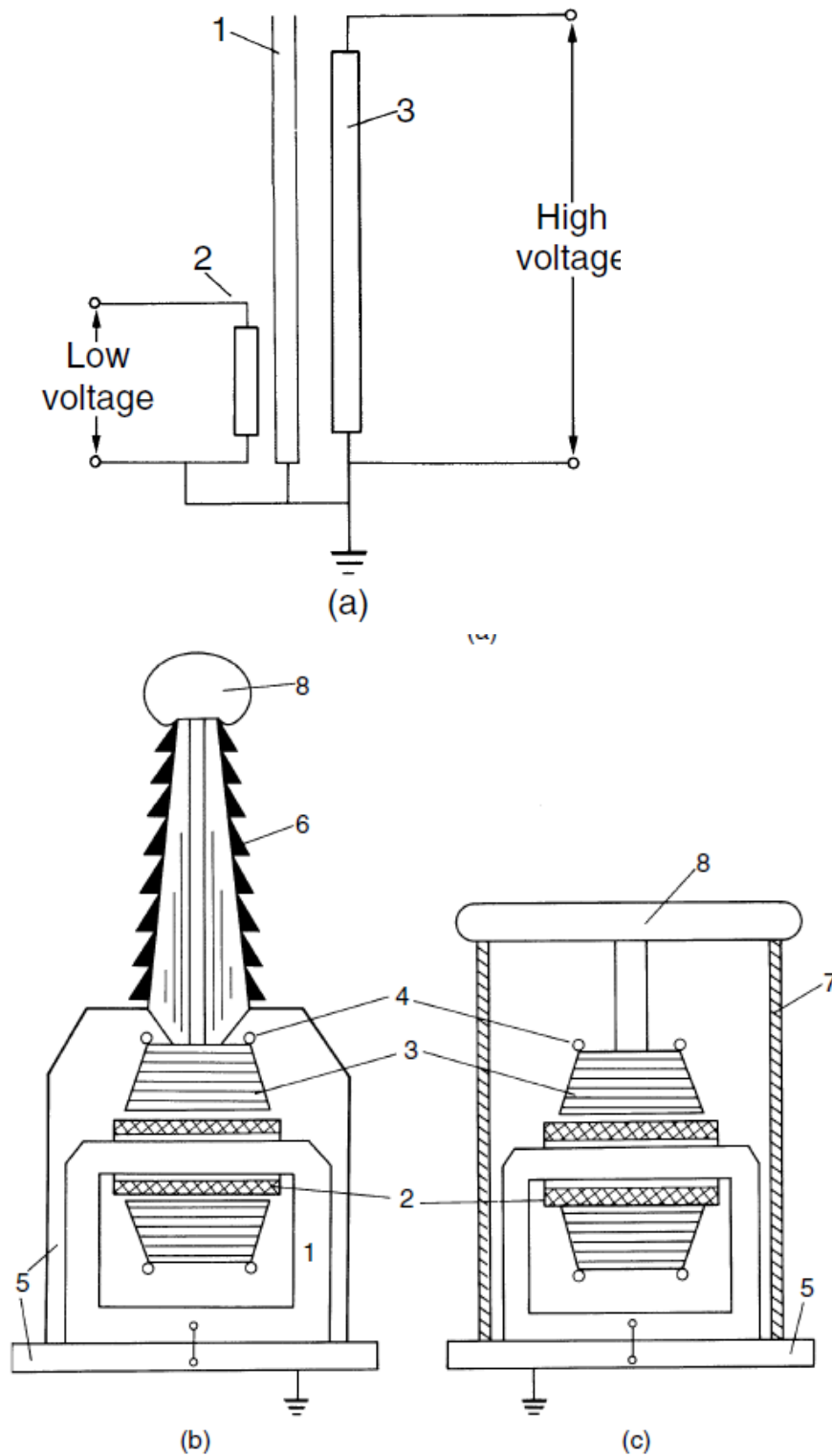
avec k supérieur à 1 pour prendre compte des capacités parasites.

Il y'a deux méthodes pour la production : Les transformateurs et les circuits résonnants.

TRANSFORMATEURS

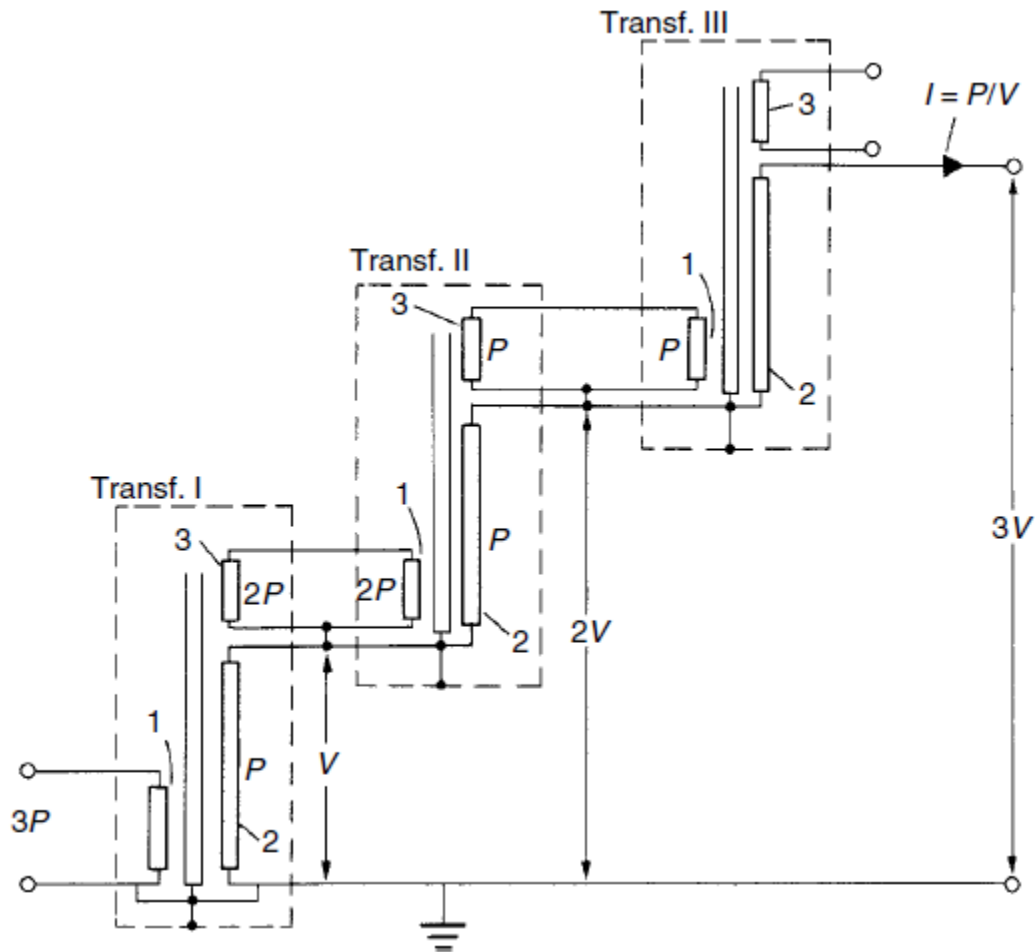
Le transformateur monophasé est le plus utilisé. En plus de son utilisation à la fréquence nominale, ils peuvent être aussi utilisés à des fréquences plus grandes à la tension nominale

ou à des fréquences plus basses pour des tensions réduites pour éviter la saturation. Le schéma ci-dessous montre le transformateur.



construction units. (1) Iron core. (2) Primary l.v. or exciting winding. (3) Secondary h.v. winding. (4) Field grading shield. (5) Grounded metal tank and base. (6) H.V. bushing. (7) Insulating shell or tank. (8) H.V. electrode

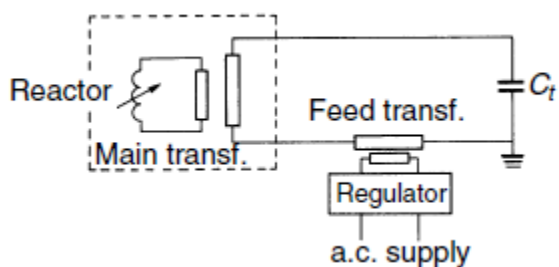
Pour produire des tensions supérieures à 500 kV, on utilise des transformateurs en cascade pour faciliter le transport des unités, comme montré ci-dessous

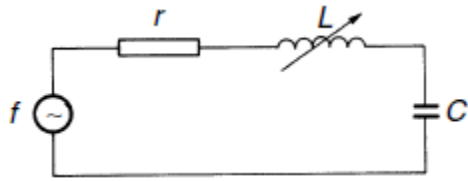


Basic circuit of cascaded transformers. (1) Primary windings. (2) Secondary h.t. windings. (3) Tertiary exciting windings

CIRCUITS RESONNANTS

L'inconvénient du transformateur est que la capacité de l'objet à tester peut entrer en résonance avec l'inductance du transformateur et conduit à des tensions qui peuvent dépasser 20 fois la tension désirée. Ceci a conduit dans le passé à des explosions lors de tests de câbles. Pour pallier à cet inconvénient on peut utiliser des circuits résonnants série où la résonance n'a lieu qu'à la fréquence fondamentale. La figure ci-dessous représente le principe



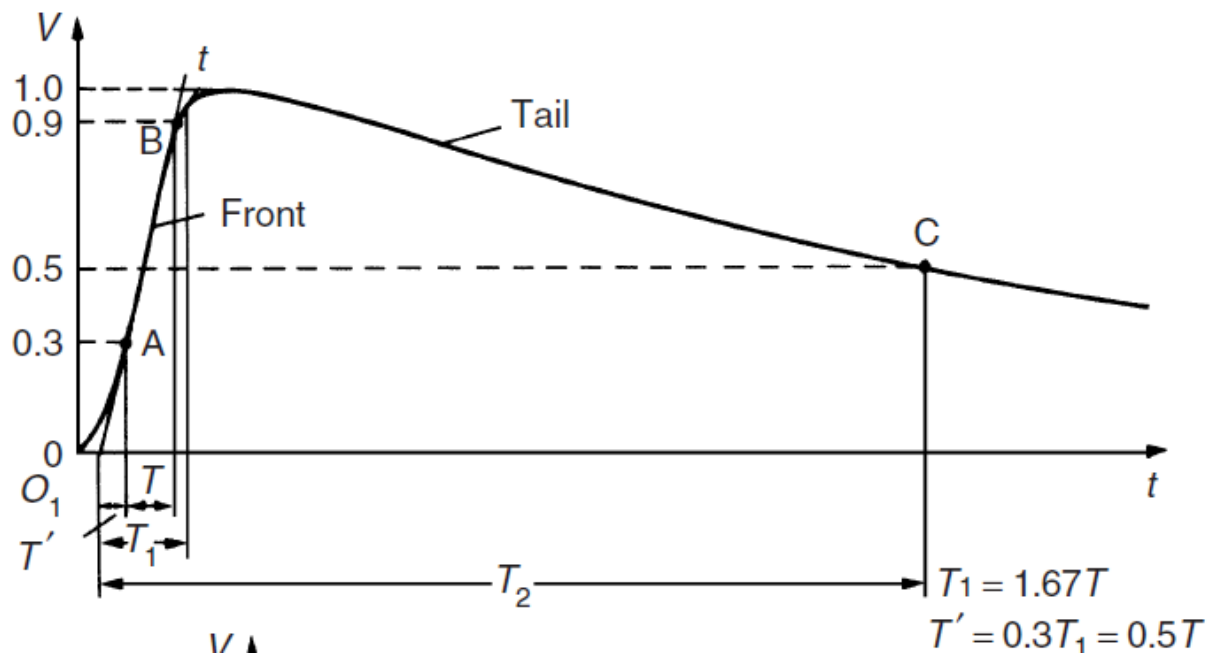


La réactance variable est variée jusqu'à ce que son image au secondaire entre en résonance avec la capacité de l'objet à tester, et ce, à la fréquence fondamentale de la source.

IV – GENERATION DE LA HT IMPULSIONNELLE

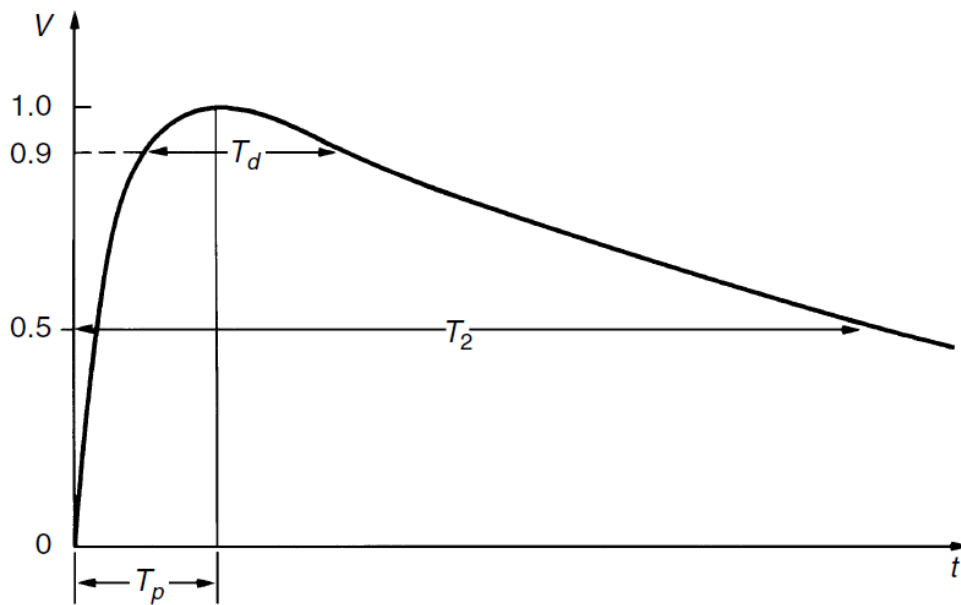
Deux types de tensions impulsionnelles peuvent avoir lieu où les valeurs de tensions dépassent de loin les tensions nominales.

Le premier type est l'impulsion de foudre qui peut atteindre 1000 kV et est due à la décharge d'un courant d'environ 100 kA sur une ligne. Cette décharge se propage à travers la ligne qui va stresser ou même endommager les équipements si des dispositions de protection ne sont pas prises (les parafoudres en général). L'onde résultante est modélisée par une double exponentielle qui démarre par zéro, augmente rapidement ($1 \mu\text{s}$ environ) vers le maximum, puis diminue relativement lentement ($50 \mu\text{s}$ environ pour atteindre la demi-valeur du maximum). L'onde ci-dessous montre les détails



T_1 : front time. T_2 : time to half-value. T_c : time to chopping. O_1 : virtual origin

Le deuxième type d'impulsion est celui de manœuvre. Leurs amplitudes sont reliées à la tension nominale du réseau et leur forme dépend des impédances et des conditions de manœuvre (manœuvre d'un disjoncteur,...). Elles sont moins rapides que les ondes de foudre et leur forme normalisée est représentée ci-dessous, avec



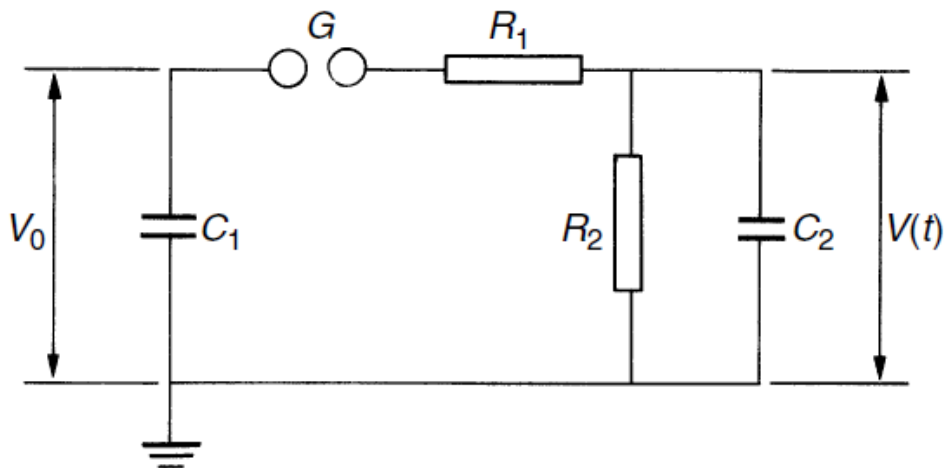
$$T_p = 250 \mu s \pm 20\%$$

$$T_2 = 2500 \mu s \pm 60\%$$

Ces formes d'ondes peuvent être générées par des circuits simples qui impliquent des charges et des décharges de condensateurs, comme expliqué ci-après.

CIRCUITS A UN SEUL ETAGE

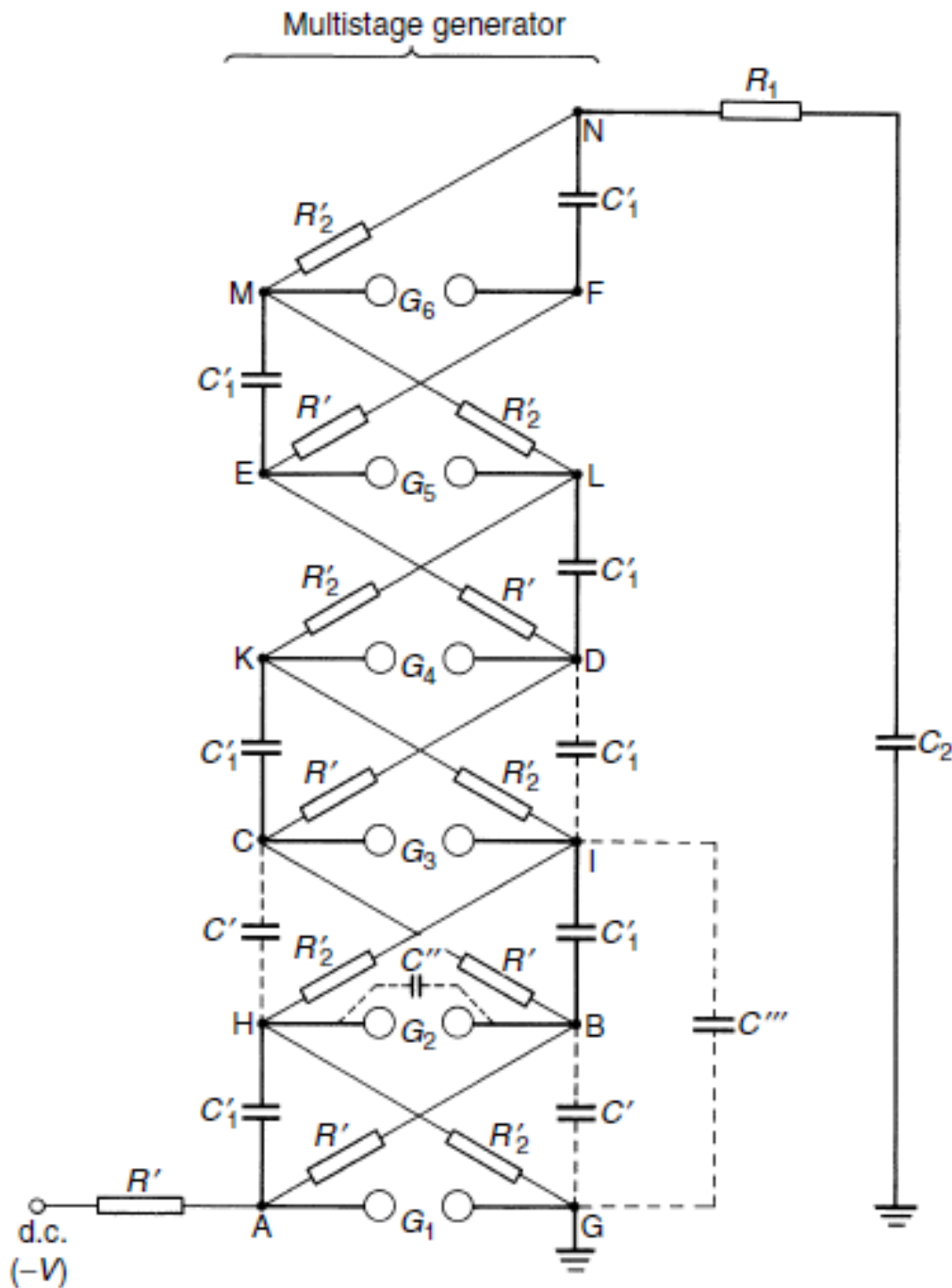
Le circuit ci-dessous montre un circuit simple comportant deux condensateurs et deux résistances, en plus d'un éclateur.



Le condensateur C_1 est chargé lentement par une source de tension continue jusqu'à ce que l'éclateur G claque. Cet éclateur est formé par des sphères, et la taille économique de ces sphères limite la tension continue de charge V_0 à 200 ou 250 kV. Le front de l'onde qui est rapide est contrôlé par la charge du condensateur C_2 à travers la résistance R_1 . La queue, qui est plus longue, est contrôlée par la décharge des deux condensateurs dans la résistance R_2 .

CIRCUITS MULTI-ETAGES

Pour produire des tensions plus élevées, on utilise plusieurs étages où des condensateurs sont chargés en parallèle à travers des résistances élevées et déchargés en série à travers des éclateurs. Le montage le plus utilisé a été conçu par Marx dans les années 1920 et porte son nom. Un tel circuit de 6 étages est présenté ci-dessous



La source DC charge les condensateurs C_1 en parallèle à travers les grandes résistances R' et les résistances de décharge (mais aussi de charge) R_2 qui sont beaucoup plus petites que R' et sont comparables à R_2 du circuit mono-étage.

A la fin de la période de charge (jusqu'à une minute) les points A,B,...,F seront aux potentiels de la source $-V$ par rapport à la terre, et les points G,H,...,N restent au potentiel de la terre. Puis le claquage de l'éclateur G_1 est provoqué suivi des autres, ce qui cause la charge du condensateur C_2 par les condensateurs C'_2 en série, à travers R_1 . Puis le condensateur de sortie se décharge à travers les résistances R'_2 .