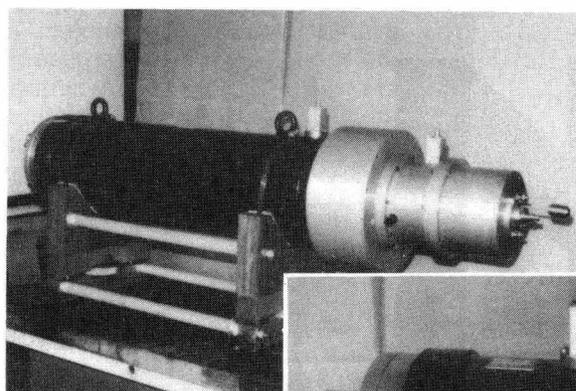
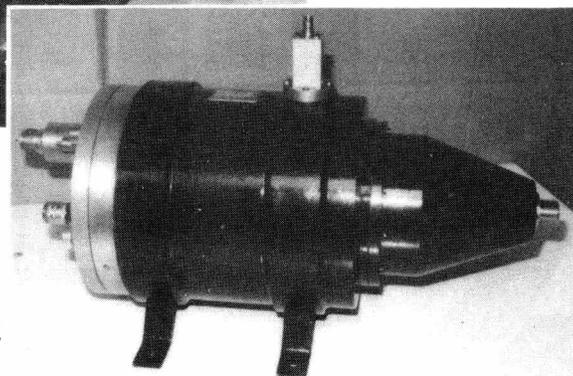


GÉNÉRATEURS

La société SVT (société de Verrerie et de thermométrie) pour diversifier ses activités a créé en 1986 un département Haute Tension autonome chargé de concevoir et développer des produits standard et surtout des produits réalisés sur cahier des charges. La société SVT propose ainsi des générateurs de radiographie éclair 150 kV à 1 MV (Licence ISL) pour la radiographie d'objets en mouvement en milieu opaque ou éclairant. Des générateurs d'impulsions à temps de montée rapide 5 à 250 kV. Des générateurs d'impulsions 10 kV à sorties multiples utilisées comme boîtes de mise à feu pour amorces pyrotechniques. Des générateurs à haute densité d'énergie (Brevet S.V.T.)
L'article ci-après fait le point sur les générateurs d'impulsion pour test IEMN réalisés par le département Haute Tension de S.V.T.



Générateur 110 à
250 kV.
 $\varnothing = 240$
L = 1255



Générateur 5 à 50 kV.
 $\varnothing = 240$
L = 545

D'IMPULSION POUR TEST IEMN

Généralités

La simulation des effets d'une Impulsion Electro-Magnétique d'origine Nucléaire (I.E.M.N.) sur des ensembles électroniques, nécessite d'exposer ces ensembles à des champs électromagnétiques ayant un profil temporel de la forme $A [(exp. (-\alpha t)) - exp (-\beta t)]$ (fig. 1) et, caractérisé par une amplitude de la composante électrique de l'ordre de 50 kV/m, un temps de montée inférieur à 10ns et une largeur à mi-hauteur de 200ns (fig. 1). Pour ce faire, les dispositifs à tester sont disposés à l'intérieur d'une structure appe-

lée simulateur, propageant un champ électromagnétique ayant les caractéristiques souhaitées. Afin de ne pas altérer le profil temporel du champ électromagnétique par des réflexions successives, on s'oriente généralement vers des simulateurs de type ligne de transmission à impédance caractéristique constante (ligne biplaque ou triplaque) ou dipole rayonnant chargé. Le champ électromagnétique est produit par un générateur d'impulsion haute tension, connecté au simulateur à l'une de ses extrémités ou en son centre (dipole rayonnant) ; il peut être intégré au simulateur ou raccordé par l'intermédiaire d'une transition à impédance constante.

Définition des paramètres de sortie tension, courant d'un générateur IEMN

La tension crête qui doit fournir le générateur dépend du type de structure qui lui est associée et de la valeur crête du champ électrique à produire. La tension est reliée au champ électrique par la relation : $\vec{E} = - \text{grad } V$. Dans le cas d'un simulateur à plaques parallèles, on peut considérer dans une première approche, le champ électrique comme uniforme, ce qui permet d'exprimer simplement la tension du générateur, au moyen de l'expression :

$V = E.H$ (H étant la hauteur entre les 2 plaques)

soit par exemple, 250 kV pour un champ de 50 kV/m et, une hauteur de 5 m.

La hauteur entre les deux plaques dépend de la taille du dispositif à tester ; celle-ci, théoriquement doit être faible devant la distance entre plaque, afin de minimiser les perturbations résultant de la présence de l'objet à tester. Dans la pratique, le dimensionnement de la hauteur entre les plaques, résulte plus d'un compromis entre l'encombrement du simulateur et son coût de réalisation associé au générateur.

Le courant crête que doit fournir le générateur est relié à l'impédance caractéristique du simulateur et à la tension crête par la relation :

$I = U/Z$, soit par exemple 2,5 kA pour une tension de 250 kV et une impédance caractéristique de 100 Ω .

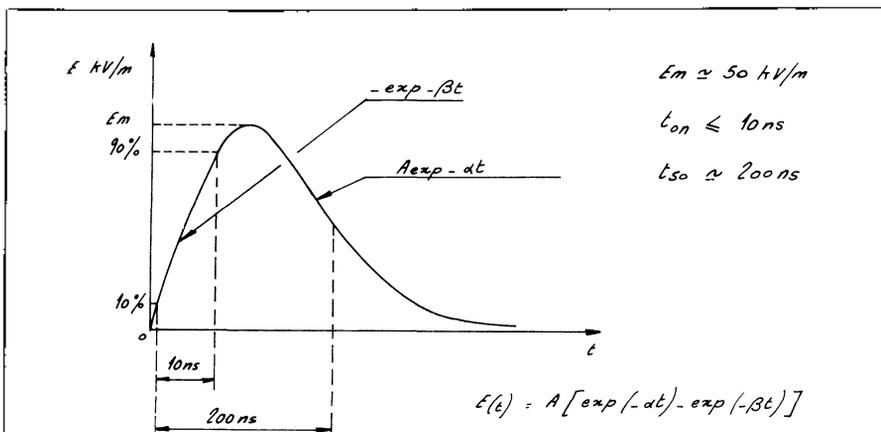


Fig. 1 : Profil du champ électrique représentatif d'une impulsion électromagnétique d'origine nucléaire.

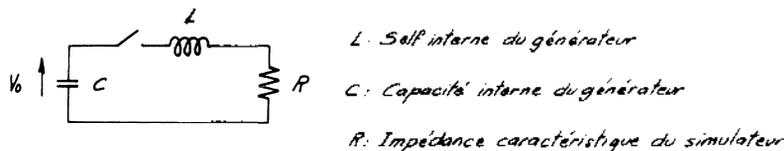


Fig. 2 : Circuit équivalent d'un générateur faible tension.

Circuit équivalent d'un générateur IEMN

Le passage du champ électrique à la tension du générateur s'effectuant, au moyen d'une intégration indépendante du temps, la tension en sortie du générateur sera de la forme $V(t) : B [\exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t)]$.

Ceci peut être obtenu en déchargeant une capacité dans un circuit selfique et résistif (fig. 2).

Si R est supérieur à $2\sqrt{L/C}$, la tension aux bornes de R est de la forme de :

$$V_R = V_0 C.R. \left(\frac{P_1 \cdot P_2}{P_1 - P_2} \right) [\exp P_1 t - \exp P_2 t]$$

Cette expression se simplifie si

$$\frac{1}{RC} \leq \frac{R}{L}$$

et l'on obtient :

$$V_R = V_0 [(\exp(-t/RC) - \exp(-Rt/L))]$$

Compte tenu des valeurs du temps de montée et de la largeur à mi-hauteur, la condition

$$\frac{1}{RC} \leq \frac{R}{L}$$

est justifiée et nous pouvons considérer que le temps de montée est régi par les paramètres R et L et la largeur à mi-hauteur par R et C , ce qui nous permet de dimensionner simplement les paramètres L et C du générateur par les relations classiques :

$$t_{on} (10 \text{ à } 90 \%) = 2,19 \frac{L}{R}$$

$$\text{soit } L = 456 \text{ nH pour } Z_c = 100 \Omega$$

$$t_{50} = 0,69 RC$$

$$\text{soit } C = 2,9 \text{ nF pour } Z_c = 100 \Omega$$

Principes technologiques de réalisation des générateurs IEMN

Pour des tensions de sortie inférieures à 100 kV (voir 30 kV), on utilise une capacité chargée à la tension désirée et déchargée dans le simulateur au moyen d'un éclateur déclenché (fig. 3).

Les éléments fondamentaux

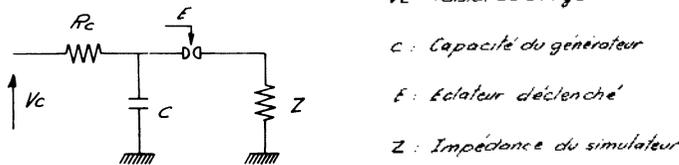


Fig. 3 : Schéma de principe d'un générateur faible tension.

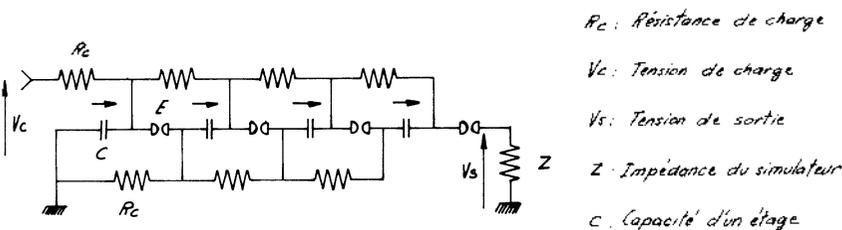


Fig. 4 : Générateur de MARX asymétrique.

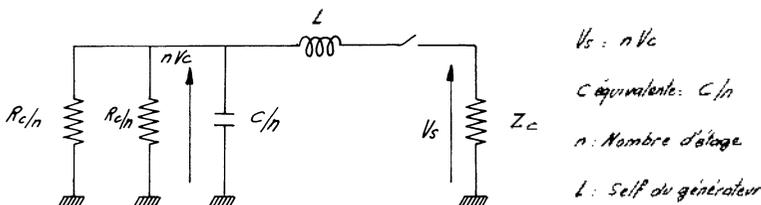


Fig. 5 : Schéma équivalent au générateur de MARX lors de sa décharge.

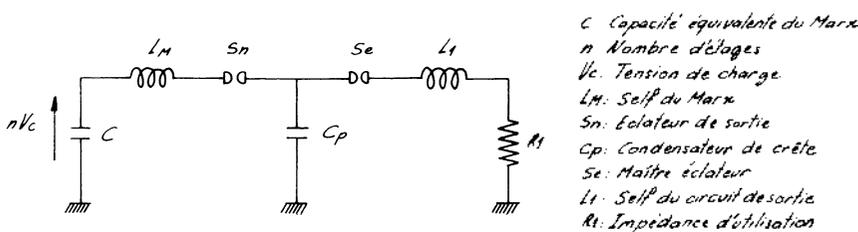
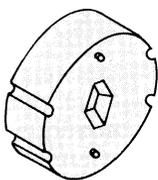


Fig. 6 : Schéma du générateur de MARX associé au maître éclateur et condensateur de crête.

$\phi : 150$
 $h : 31$
 $V_c : 28 \text{ kV}$
 $E : 4,7 \text{ J}$



$\phi : 580$
 $h : 180$
 $V_c : 2 \times 60 \text{ kV}$
 $E : 1,8 \text{ kJ}$

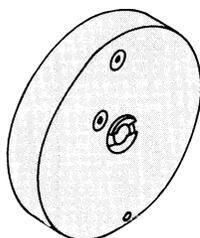


Fig. 7 : Etages de MARX S.V.T.

(éclateur et capacité) sont choisis et disposés de façon à ce que leur self inductance propre et, celle résultant de leur disposition et de leur interconnexion permettent l'obtention du temps de montée.

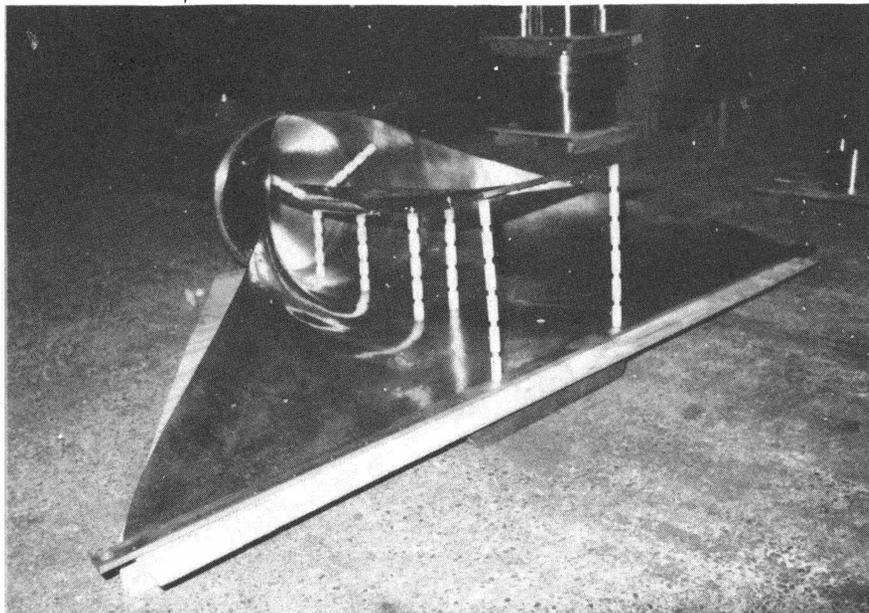
Lorsque la tension de sortie dépasse une cinquantaine de kilovolts, on est amené pour des raisons d'ordre technologique et de coût, à adopter un montage multiplicateur de tension appelé générateur de MARX dont il existe différents variantes. La figure 4 représente un montage élémentaire asymétrique dont le fonctionnement est le suivant :

Dans un premier temps, les capacités C sont chargées en parallèle au moyen d'une source de tension continue. Lorsque la pleine charge des capacités est atteinte, on déclenche le premier ou les premiers éclateurs ; les autres s'amorçant par surtension à cause des capacités parasites (par rapport à la masse et interélectrodes), les capacités C se trouvent en série et la tension de sortie est égale au maximum au produit de la tension de charge V_c par le nombre d'étage (n). Le générateur est alors équivalent au schéma de la figure 5.

Les résistances R_c devant se placer en parallèle sur les capacités on les dimensionne de façon à ce que leur influence soit négligeable.

Nous avons vu qu'un générateur débitant sur une impédance de 100Ω devrait avoir une self inductance égale au maximum à

Transition coaxiale « Stripline ».



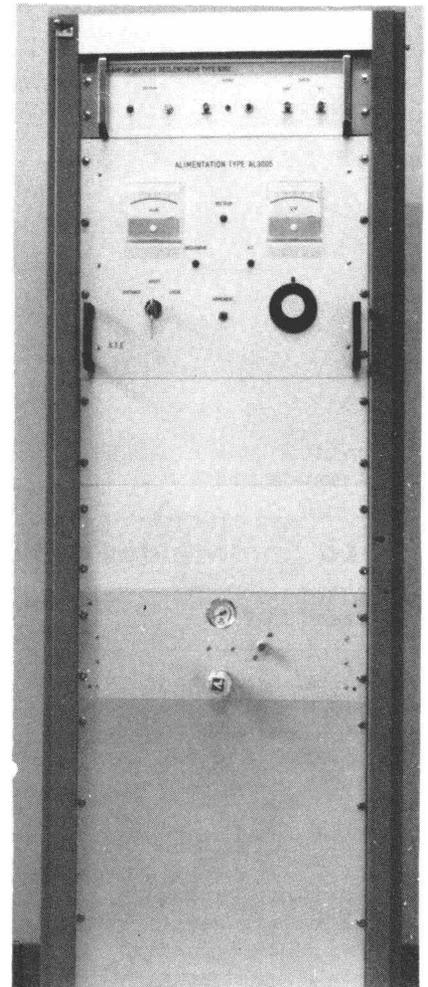
456 nH, ce qui représente environ la self d'un câble coaxial de 100Ω d'une longueur de 65 cm ; on imagine aisément qu'un générateur de MARX de quelques étages ait une self inductance prohibitive, (à titre d'exemple, la Société S.V.T. produit des générateurs de MARX ayant une self de 50nH par étage, valeur qui peut être considérée comme faible). On est alors amené à adjoindre en sortie du générateur de MARX, un circuit appelé capacité de crête, associé à un maître éclateur, et permettant de compenser la self du générateur de MARX. Un tel dispositif est représenté à la figure 6.

Le condensateur de crête, placé derrière le générateur de MARX commence à se charger lors de la fermeture de l'éclateur S_n et se décharge rapidement lors de l'amorçage de l'éclateur S_e participant ainsi au temps de montée de l'impulsion aux bornes de R_1 . Le profil de cette impulsion est liée aux valeurs respectives des éléments du circuit et à l'intervalle de temps entre la fermeture des éclateurs S_n et S_e . Lorsque les conditions suivantes sont réalisées :

$$\frac{\Delta t}{\sqrt{L_M C_t}} = \frac{\pi}{2} \quad C_1 = \frac{C \cdot C_p}{C + C_p}$$

$$C_p = \frac{C L_M}{C R_1^2 + L_M}$$

Δt : intervalle de temps entre la fermeture de S_n et S_e .



Armoire de commande des générateurs.

Le temps de montée de l'impulsion est alors uniquement limité par la self des éléments du circuit de sortie et la décroissance du signal est assurée par la capacité équivalente du générateur de MARX.

A titre d'exemple pour $L_M = 4 \mu H$, $C_M = 5 nF$, $R_1 = 75 \Omega$ Δt est égal à 78ns et C_p à 620 pF.

Toute la difficulté dans la mise en œuvre de ce circuit réside dans l'obtention d'un intervalle de temps entre la fermeture des éclateurs S_n et S_e parfaitement reproductible et, dans la réalisation d'une capacité très haute tension ayant une faible self. Il existe des machines utilisant ce dispositif et délivrant des tensions de plumegevols !

Exemple de réalisation

Le département Haute Tension de la Société de Verrerie et de Ther-



Charge de mesure haute tension.

La gamme des générateurs IEMN de SVT

Générateurs I.E.M.N.	250 kV	110 kV	50 kV
Caractéristique électriques			
• impédance de charge	120Ω	50Ω	50 Ω
• temps de montée	< 10ns	< 10ns	< 10ns
• largeur à mi-hauteur	200ns	200ns	200ns
• jitter	< 40ns	< 40ns	< 40ns
• tension de sortie réglable	de 110 à 250 kV	de 50 à 110 kV	10 à 50 kV en 2 sous gammes
• tension de charge maximum :	28 kV	28 kV	28 kV
• déclenchement par impulsion :	1 kV	1 kV	1 kV
• sortie de moniteur basse tension	+	+	+
• pression de fonctionnement	(N2) < 5 b	(N2) < 5 b	(N2) < 5 b
Caractéristiques mécaniques			
• poids :	110 kg	50 kg	25 kg
• diamètre	240 mm	240 mm	240 mm
• longueur	1255 mm	945 mm	545 mm

mométrie s'est spécialisé dans l'étude et la réalisation de générateurs d'impulsions haute tension de faible dimensions et, notamment des générateurs de MARX ayant pour application la radiographie éclair, la simulation des phénomènes de foudre et IEMN.

Ces générateurs de MARX utilisent soit des capacités céramiques ou des capacités papier huile (procédé breveté SVT) ; la disposition des capacités est étudiée de façon à réserver au sein du générateur le maximum de place au stockage de l'énergie. Les étages se présentent sous forme de disques épais en résine isolante englobant les éléments (capacité, résistance, fixation des électrodes des éclateurs). Les différents étages s'interconnectent simplement au moyen de pions de contact. La figure 7 représente deux types d'étages réalisés.

Dans le domaine des générateurs IEMN, la société S.V.T. propose 3 modèles de générateurs permettant de couvrir la gamme des 5 à 250 KV (500 kV fin 1987). Ces générateur de forme cylindrique peuvent selon le cas, se raccorder à un câble coaxial ou à une transition fabriquée aussi par S.V.T. et permettant d'alimenter un simulateur. Une charge résistive à temps de montée rapide peut s'adapter sur les différents générateurs et permettre le relevé de leur caractéristiques.

J.C. BRION
S.V.T.