

Chapitre IV

4. ESSAIS DU MATERIEL HAUTE TENSION

La coordination de l'isolement nécessite divers types d'essais pour l'étude et la vérification des machines et appareils des installations à haute tension. **On distingue 4 catégories d'essais :**

1. **Les essais à haute tension alternative** et fréquences industrielles à 50 ou 60 Hz. La tension aux bornes des transformateurs d'essais à HT est le plus souvent non sinusoïdale à cause de la saturation du circuit magnétique.

On utilise actuellement des systèmes résonants pour lesquels la tension est parfaitement sinusoïdale.

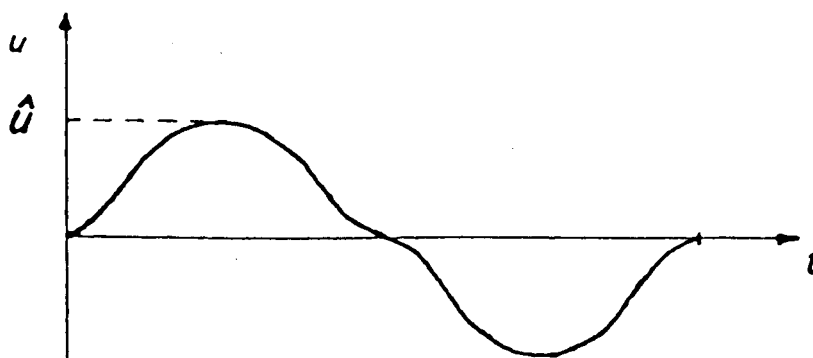


fig. 4.0-1 Tension non sinusoïdale

La tension d'essai de crête sera :

$$\hat{U}_{\text{essai}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{essai}}$$

U_{essai} : tension d'essai prescrite par les règles (voir chapitre 2) en KV_{eff} .

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

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

2. **Les essais sous HT continue** sont employés essentiellement pour les câbles et condensateurs qui nécessiteraient une énergie réactive alternative trop importante et pour le matériel destiné au réseau à HT continue.

3. *Les essais de choc* ou d'impulsion, c'est-à-dire sous onde unidirectionnelle.

4. *Des essais* spéciaux *sous HT et haute fréquence* par exemple pour des essais d'isolateurs, de transformateurs ou de vieillissement des câbles.

4.1. Couplage pour essais sous HT alternative à 50 ou 60Hz

4.1.1 Transformateurs HT

Exemple : essai d'un transfo.

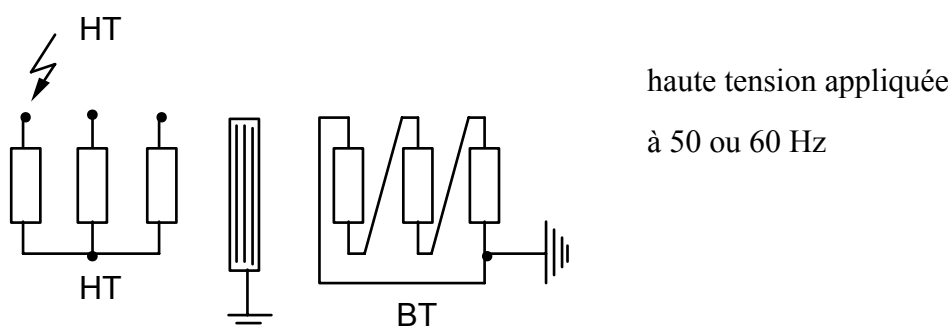


fig. 4.1-1.

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

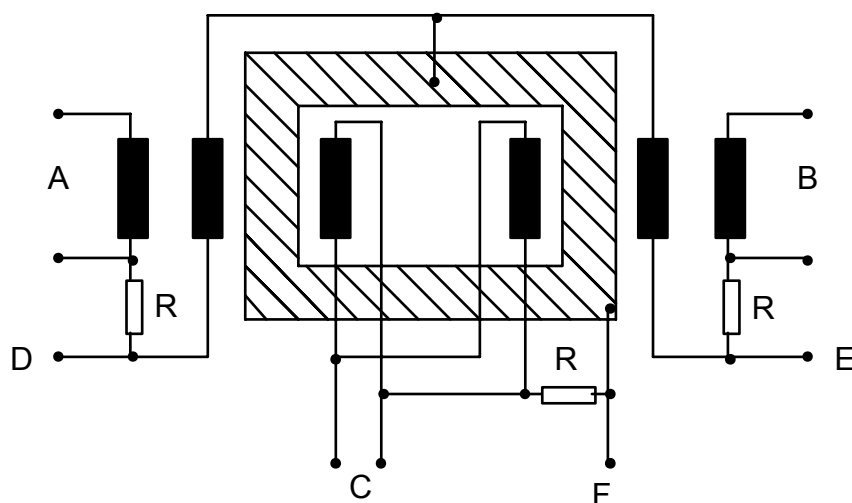


figure 4.1-2: Connexions et caractéristiques du transfo HT modèle TZG 100/5 a

Tableau des connexions du transfo TZG:

Alimentation en	Terréen	Sorties entre	Tension nom. kV_{eff}	Puissance nom. kVA	Tension de c.c. en % env.
A	D	F et D	50	2.5	3.7
	D	E et D	100	5	7.6
B	E	F et E	50	2.5	3.7
	E	D et E	100	5	7.6
C	F	D et F	50	2.5	2.7
	F	E et F	50	2.5	2.7
	F	D et E	100	5	5.5

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

La tension primaire vaut normalement 220 V - 50Hz.

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

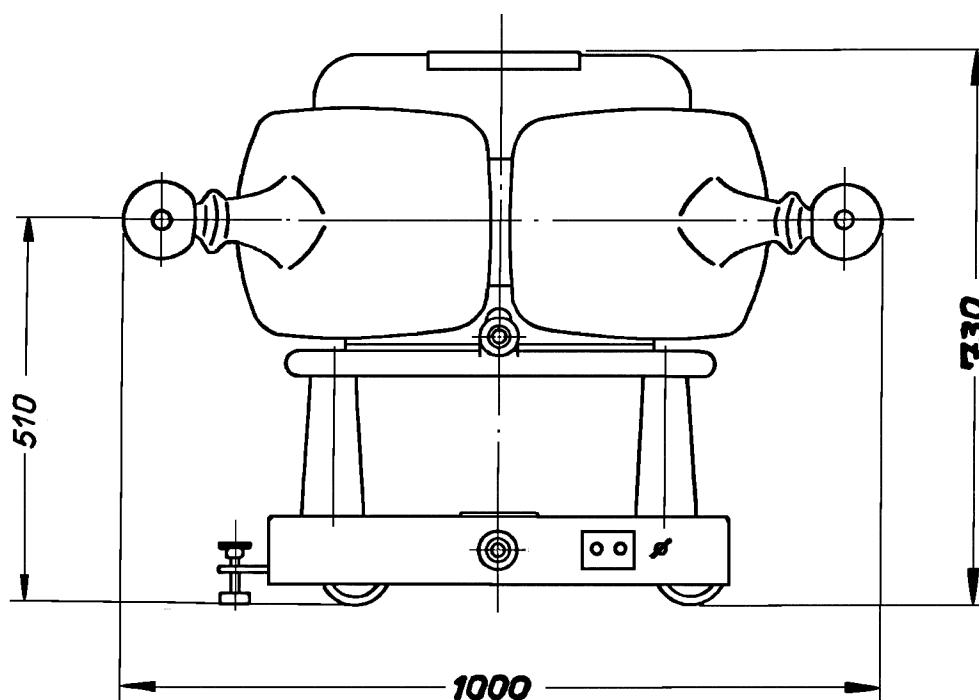


Figure 4.1-3 Transfo modèle TZG

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

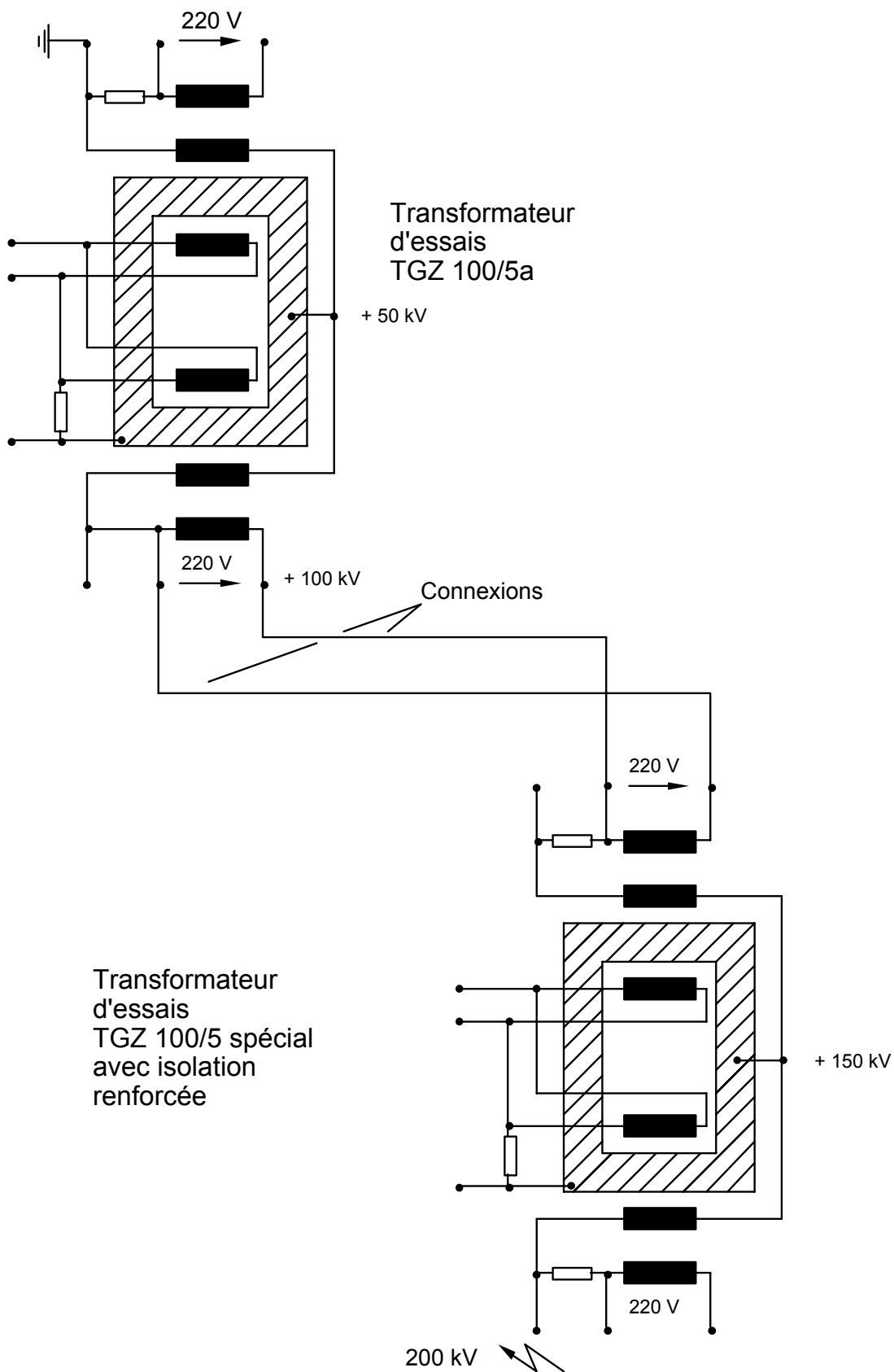


fig. 4.1-4 Transformateur cascade

4.2. Essais sous haute tension continue

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

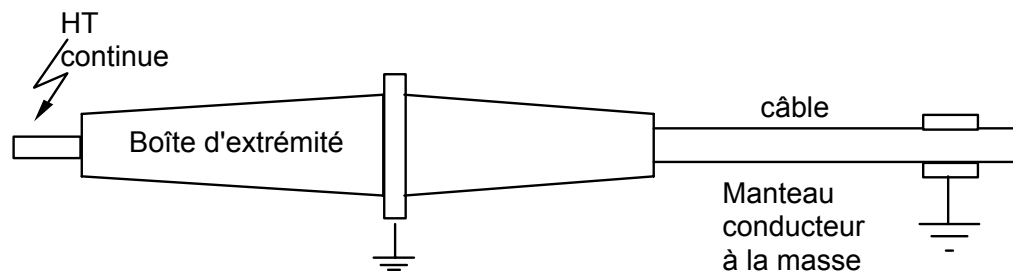


fig. 4.2-1 Essai d'un câble après pose

$$U_{\text{essai}} = 4 \cdot U_{\text{o eff}}$$

$$U_{\text{o eff}} = \text{tension simple}$$

Couplages des redresseurs pour production des hautes tensions continues

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

Couplage Villard avec dispositif de tension continue supplémentaire

Il s'agit d'un couplage doubleur de tension (figure 5.2-2). Afin de comprendre le schéma, observons le processus de charge à vide ($R_g = \infty$). A chaque alternance négative de tension u , le courant de charge du condensateur C_1 dans le circuit 1-1'-2-0 est plus grand que le courant de décharge de chaque alternance positive du circuit 3-2-1-0. En effet, la capacité équivalente aux deux capacités en série $C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$ est toujours plus petite que C_1 . Il en résulte que la tension aux bornes de C_1 augmente plus pendant les alternances négatives qu'elle ne diminue pendant les alternances positives et atteint finalement 100 % de la valeur de crête de u . Le condensateur C_2 reçoit ainsi des chocs de courant jusqu'à ce qu'il ait atteint la tension de 200 %. L'ensemble du couplage est alors pour cet état de charge des condensateurs, sans courant, c'est-à-dire que l'état à vide est atteint. On remarque que pour les valeurs instantanées positives des tensions u , les deux condensateurs sont en opposition à travers la diode V_2 . Le point 2 a le potentiel de l'onde, lequel oscille entre 0 et 200 % entre deux alternances consécutives (voir fig. 4.2-3). Le point 3 a un potentiel constant de 200 %, lequel entre en ligne de compte pour la tension de sortie continue à vide. La partie du couplage comprenant le condensateur C_1 , la diode V_1 , la résistance additionnelle R_v et l'enroulement du transformateur est appelé "étage de base du couplage Villard". La diode V_2 et le condensateur C_2 forme "le dispositif de tension continue supplémentaire".

La figure 4.2-3 du potentiel et du courant est valable en charge. Le dimensionnement du couplage se fait de la même manière que pour le couplage de Greinacher (voir bibliographie).

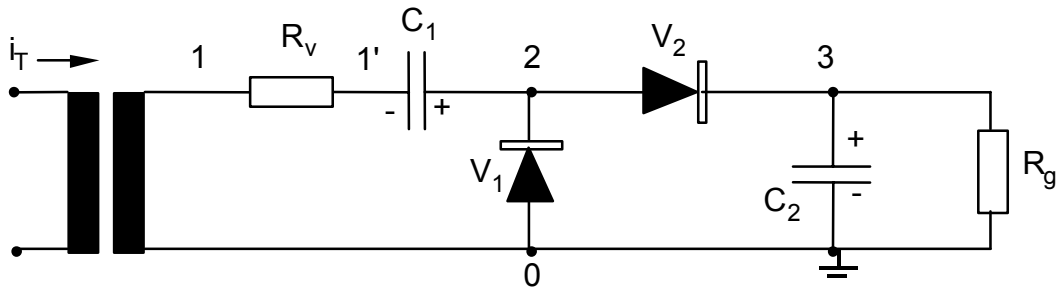


fig. 4.2-2 Couplage Villard / Greinacher

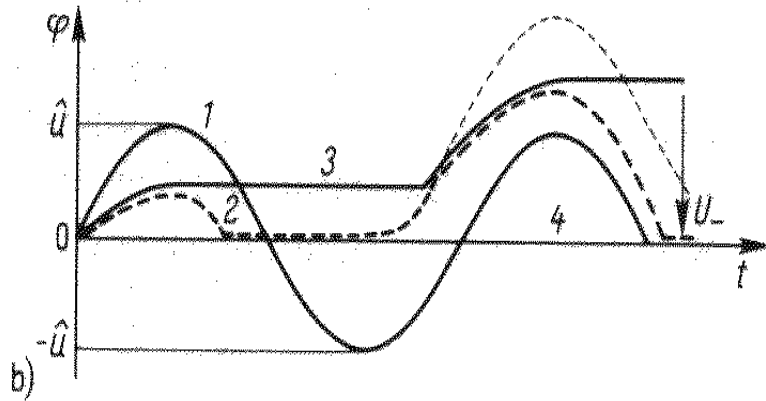


Fig. 4.2-3 graphe temporel

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

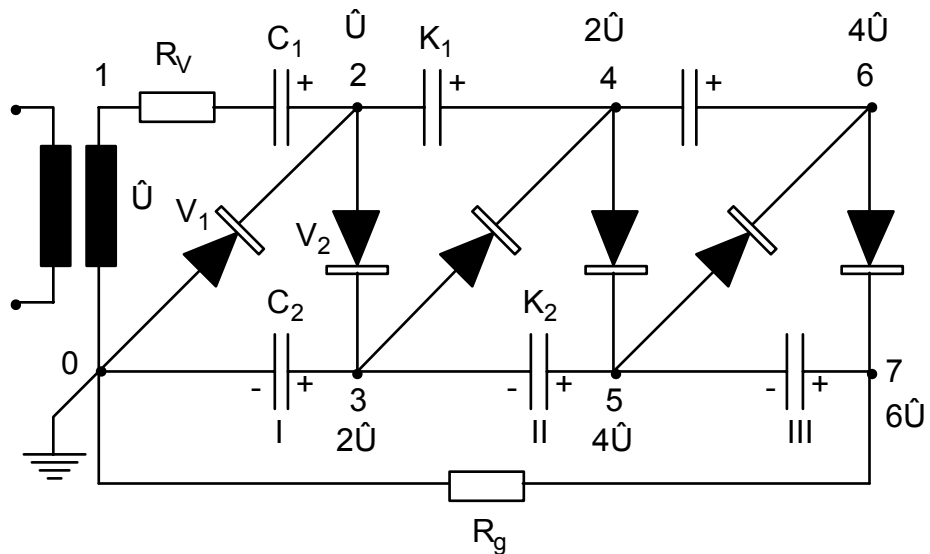


Figure 4.2-4 Couplage de Greinacher en cascade

L'étage de base du couplage Villard / Greinacher avec dispositif de tension continue supplémentaire est utilisé comme étage de base I (figure 4.2-2), auquel on ajoute des étages supplémentaires de condensateurs et de diodes. On forme de cette manière deux colonnes de condensateurs k_1 et k_2 . Le circuit est parcouru pendant les alternances de charge négatives selon la figure 5.2-5 et pendant les alternances de charge positives selon la figure 5.2-6.

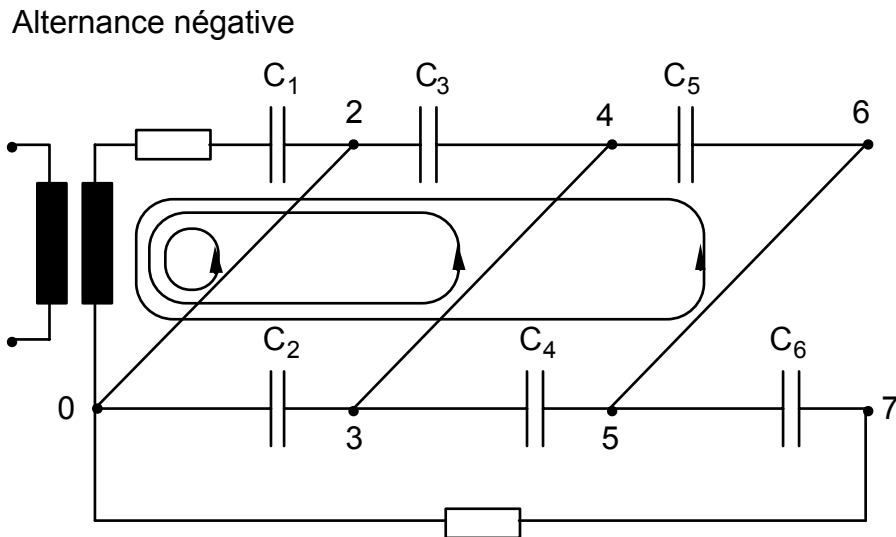


Figure 4.2-5 Alternances négatives

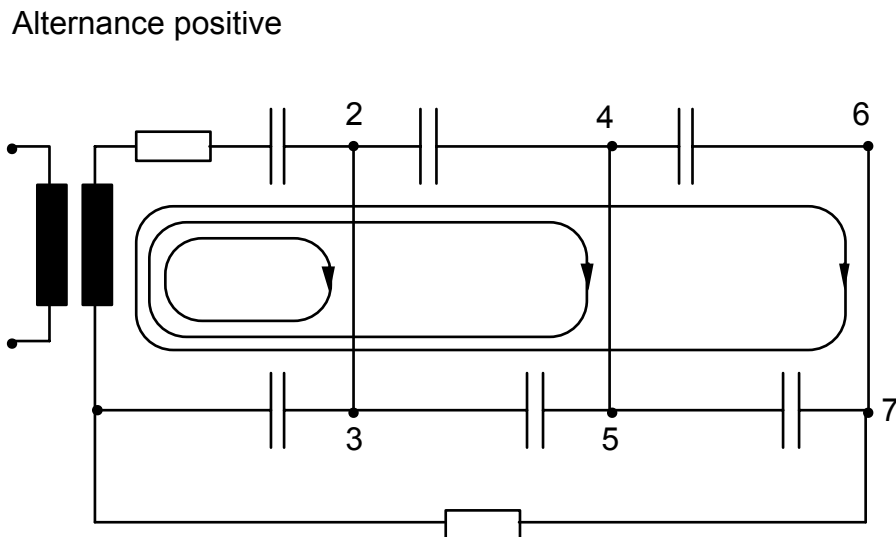


Figure 4.2-6 Alternances positives

Les diodes constituent également dans le circuit des connexions équipotentielles. Pour les valeurs de crête négatives de u , les couples de points 2-0 4-3 6-5 sont équipotentiels et pour les valeurs de crête positives 2-3 4-5 6-7. Nous avons vu lors de l'étude du couplage de base Villard que le condensateur C_1 se charge à 100 % de la valeur de crête de u et le condensateur C_2 à 200 %. Il en résulte que les potentiels des couples de points et les tensions des autres condensateurs sont fixés.

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

A vide, la tension continue totale est ainsi égale à n fois la tension d'un étage de 200 % de la valeur de crête de u . Les courbes des potentiels et courants en charge du couplage Villard avec dispositif de tension continue supplémentaire sont similaires à la représentation de la figure 4.2-3.

4.3. Essai spéciaux sous haute tension et haute fréquence

Pour ces essais, on utilise en général un transformateur Tesla TT, qui a pour but de produire des trains d'ondes à haute fréquence et haute tension qui seront appliqués à l'objet à essayer, par exemple un isolateur I . Le schéma de principe est donné par la figure 5.3-1.

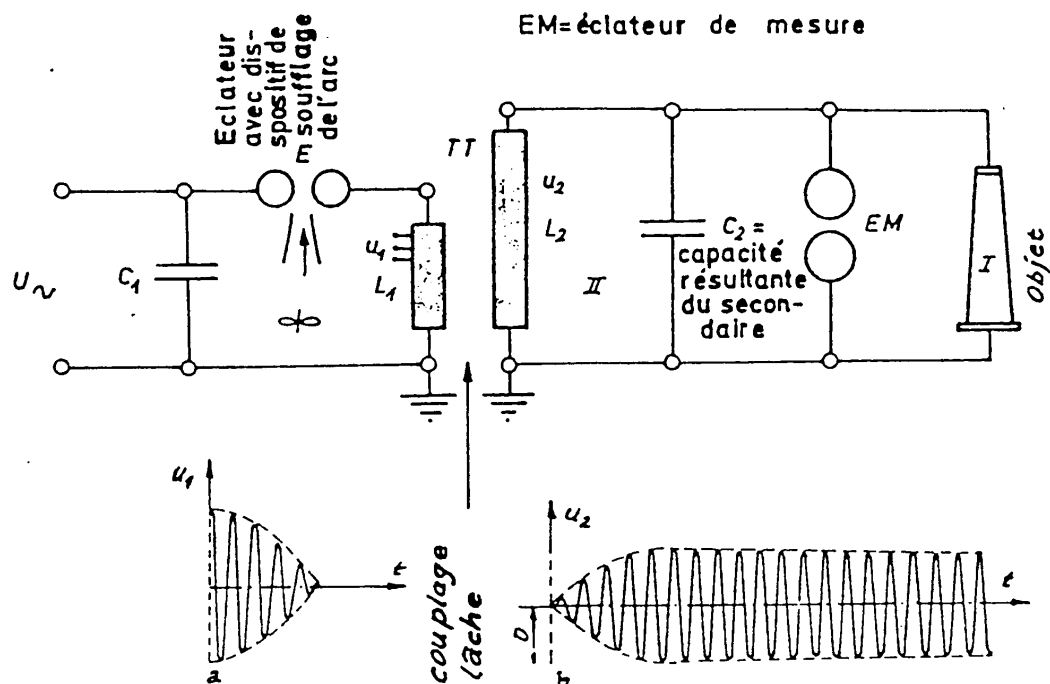


fig. 4.3-1 a) Transformateur Tesla, schéma et b) tensions

Principe de fonctionnement :

Le condensateur C_1 est chargé sous une tension alternative U constante. Lorsque la tension disruptive de l'éclateur E est atteinte, il se décharge brusquement dans le circuit C_1 , R_E , L_1 (R_E = résistance totale du primaire, y compris la résistance de l'arc de l'éclateur E), créant une oscillation amortie à haute fréquence de fréquence propre :

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

laquelle induit la tension u_2 dans le secondaire.

La forme des courbes des tensions u_1 et u_2 du transformateur Tesla est représentée sur la figure 4.3-1 b.

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

D'autre part, le couplage magnétique entre les deux enroulements est lâche. Un couplage serré ne peut pas être employé, car la réaction du secondaire sur le primaire empêche la production régulière de trains d'ondes.

Note complémentaire au sujet de la décharge dans le circuit série $C_1 - R_E - L_1$:
Rappel

Schéma équivalent

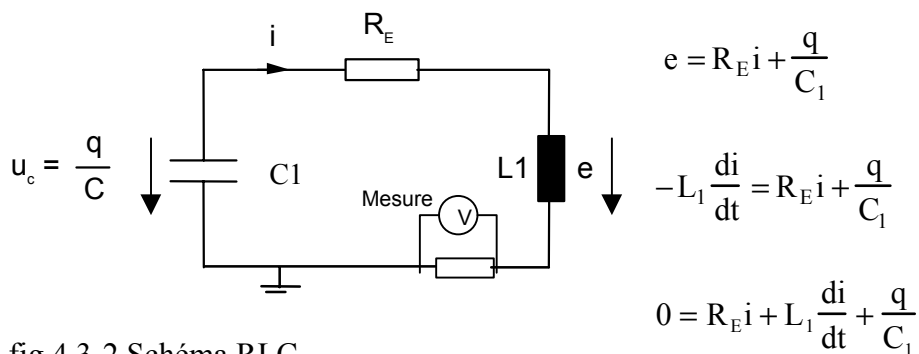


fig.4.3-2 Schéma RLC

$$i = \frac{dq}{dt} = C_1 \cdot \frac{du_c}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = C_1 \frac{d^2 u_c}{dt^2}$$

$$R_E C_1 \frac{du_c}{dt} + L_1 \cdot C_1 \frac{d^2 u_c}{dt^2} + u_c = 0$$

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{R_E}{L_1} \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{L_1 \cdot C_1} \cdot u_c = 0$$

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + 2\delta \frac{du_c}{dt} + \omega_0^2 \cdot u_c = 0$$

$$x^2 + 2\delta x + \omega_0^2 = 0$$

$$x_{12} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$$

On sait que les états suivants peuvent se présenter :

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

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

2) $R_E \neq 0 \quad \delta > \omega_0$ 2 racines réelles. Mouvement aperiodique.

3) $R_E \neq 0 \quad \delta < \omega_0$ 2 racines imaginaires conjuguées.

Mouvement oscillatoire amorti

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

$$i = -C \frac{du_c}{dt} \quad (\text{décharge de } C_1)$$

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

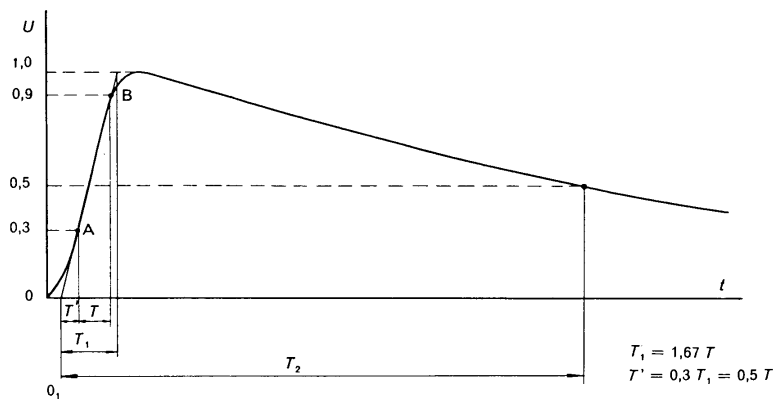
4.4 Essais de choc

L'essai de choc consiste à appliquer une onde unidirectionnelle, en général de forme normalisée, à l'objet à essayer. Elle simule un coup de foudre tombant sur le réseau.

Caractéristiques de l'onde normalisée

Essais de tenue au choc de foudre

La CEI définit la **tension** de choc normalisée suivante [3], figure 5.4-1 :



Les valeurs et tolérance sont les suivantes :

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

En pratique, on mesure T sur l'oscillographe et l'on calcule $T_1 = 1.67 T$. Le point "0₁" est l'origine conventionnelle de l'onde. On peut également calculer la raideur "S" du front :

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

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

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

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

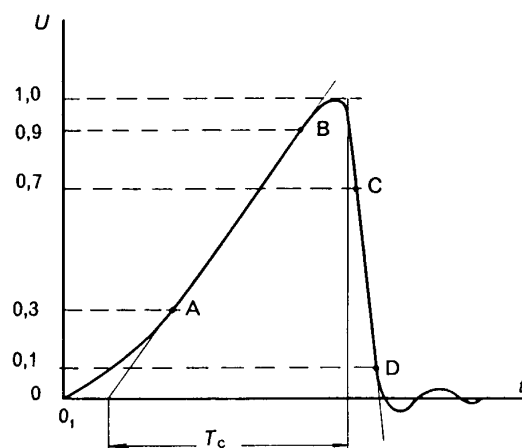


Fig. 4.4-2; onde coupée

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

Procédure d'essai

La procédure d'essai est la suivante :

Essai de tenue :

Application de 5 chocs à 100 %

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