

II. ANALYSE DE CERTAINS PROCESSUS TRANSITOIRES
DANS UN CIRCUIT COMPOSE D'UNE INDUCTANCE EN SERIE
AVEC UNE RESISTANCE SHUNTEE PAR UNE CAPACITE

(Résultats préliminaires)

par B.A. Larionov

Pour étudier les processus de montée du courant, on a utilisé le schéma suivant (Fig. 1) :

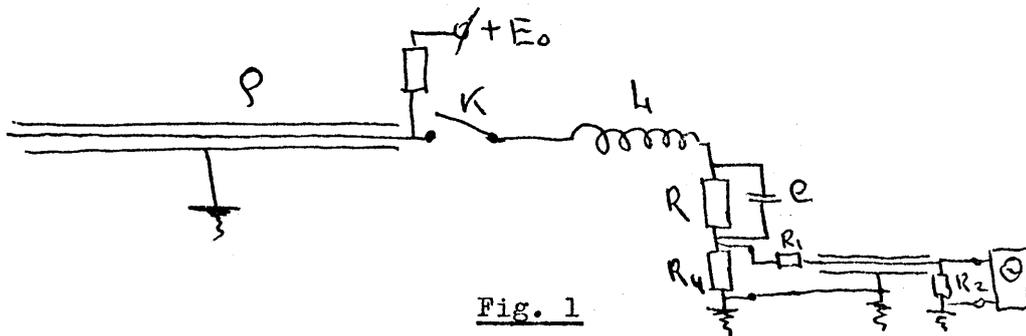


Fig. 1

R - impédance de la ligne ρ

C - variable

R_1 - résistance de mesure $R_1 = \frac{R}{100}$

R_1 et R_2 - résistances d'accord du câble de mesure.

L'appareil de mesure était constitué par un oscillographe Tektronix, série 580, avec tiroir "Type W Plug-In unit".

Pour l'étude du processus de descente du courant, on a utilisé le schéma de la Fig. 2 :

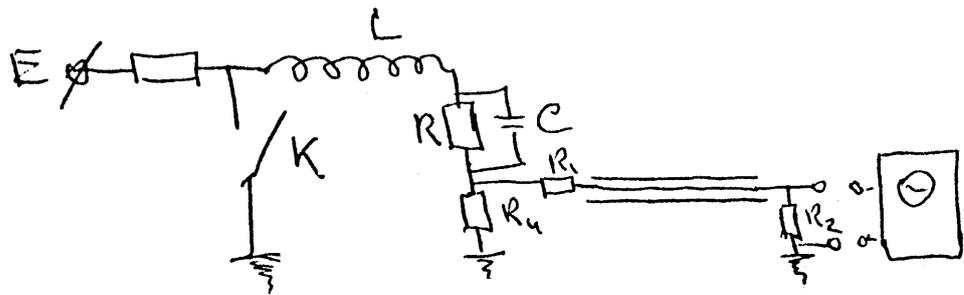


Fig. 2

Les grandeurs R , C et L du schéma de la Fig. 2 sont identiques à celles de la Fig. 1.

k - relais au mercure.

Le processus de montée du courant dans ce schéma est déterminé par l'équation* :

$$i = \frac{U_0}{2p} \left\{ 1 - e^{-\alpha t} \left[\operatorname{ch} \beta t + \frac{1}{\beta} \left(\alpha - \frac{2p}{L} \right) \operatorname{sh} \beta t \right] \right\} \quad (1)$$

où :

$$\alpha = \frac{L+cp^2}{2Lcp} ; \quad \beta = \sqrt{\alpha^2 - \frac{2}{Lc}}$$

U_0 , L et p sont des grandeurs constantes données

c - grandeur variable dans l'intervalle fermé $[0, +\infty]$.

* M.I. Kontorovich. Calcul opérationnel et phénomènes non stationnaires dans les circuits électriques. Moscou 1955

Dans le cas où $\beta = 0^*$, c'est-à-dire :

$$c_1 = \frac{L}{p^2(1+\sqrt{2})^2} \quad \text{ou} \quad c_2 = \frac{L}{p^2(-1+\sqrt{2})^2}$$

nous avons un amortissement dit "critique". Si $c = c$, alors

$$i = i_y \left[1 - e^{-(2+\sqrt{2})\frac{p}{L}t} (1 + \sqrt{2} \frac{p}{L}t) \right] \quad (2)$$

et $t_m = 1,25 \frac{L}{p}$ est défini par la condition :

$$\delta = \left| \frac{i - i_y}{i_y} \right| = 0,01$$

Si $c = c_2$, on a :

$$i = i_y \left[1 - e^{-(2-\sqrt{2})\frac{p}{L}t} (1 - \sqrt{2} \frac{p}{L}t) \right] \quad (3)$$

Le courant atteint la valeur i_y à l'instant $t_1 = \frac{L}{\sqrt{2}p}$, mais il est maximal à l'instant $t_2 = \frac{\sqrt{2}}{2-\sqrt{2}} \frac{L}{p}$ et égal à

$$i_m = i_y \left[1 + \frac{e^{-\sqrt{2}}}{\sqrt{2}-1} \right] \simeq 1,6 i_y$$

c'est-à-dire que la condition nécessaire $\delta < 0,01$ n'est pas respectée.

* Un tel régime a été considéré par Forsyth E.B. : "Comparison of lumped and distributed inferior magnets". Brookhaven internal report (HGS) EBF-2, March 8th, 1963.

Ainsi, nous pouvons limiter le domaine de variation de c par l'intervalle $c_1 < c < c_2$, puisqu'il est évident que pour $c < c_1$, $t_m > 1,25 \frac{L}{p}$ et que pour $c > c_2$ $i_m > 1,6 i_y$, et la condition $\delta \leq 0,01$ n'est pas vérifiée.

Si $c_1 < c < c_2$, la grandeur β devient imaginaire. Ecrivons alors que $\beta = i\omega$, où

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{Lc} - \alpha^2}$$

et nous aurons :

$$i = i_y \left\{ 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{\alpha - \frac{2p}{L}}{\omega}\right)^2} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \cos\left(\omega t - \arctg \frac{\alpha - \frac{2p}{L}}{\omega}\right) \right\} \quad (4)$$

avec $c = c_k = \frac{I_1}{3p^2}$ ($c_1 < c_k < c_2$), on a : $\alpha_k = \frac{2p}{L}$, $\omega_k = \frac{p\sqrt{2}}{L}$.
En portant dans (III.4), nous obtiendrons :

$$i = i_y \left(1 - e^{-\frac{2p}{L}t} \cos \frac{\sqrt{2}}{L} pt \right) \quad (5)$$

Ainsi, nous atteignons la valeur i_y dans un temps plus court

$$t_1 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{L}{p} = 1,11 \frac{L}{p}$$

et le dépassement maximal du niveau i_y se produit à l'instant

$$t_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\pi/2 + \arctg \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \frac{L}{p},$$

égal à $i_m \approx 1,026 i_y$.

Lors de la mise en court-circuit du schéma de la Fig. 2, le courant dans l'inductance variera selon la loi définie par l'expression suivante :

$$i = I_y e^{-\alpha t} \left[\cosh \beta t + \frac{\delta - \alpha}{\beta} \sinh \beta t \right] \quad (6)$$

ou :

$$\gamma = \frac{L - Cp^2}{Lep} ; \quad \alpha = \frac{1}{2ep} , \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{4c^2p^2} - \frac{1}{Le}}$$

Les Fig. 3 et 4 donnent les courbes calculées de montée et de descente du courant pour deux valeurs de la capacité C :
 $C = C_1$ et $C = C_k$.

La Fig. 5 représente l'oscillogramme de montée du courant dans le cas où $C = C_k$, $L = 5 \cdot 10^{-6} \text{H}$, $R = 50 \Omega$, $C = \frac{L}{3p^2} = 670 \text{ pf}$.
Echelle de temps : 20 nsec/cm.
Echelle verticale: 2,5 % de l'amplitude par cm.

La Fig. 6 donne l'oscillogramme de montée du courant pour une charge purement active.

La Fig. 7 représente la courbe de descente correspondante pour le schéma de la Fig. 2, avec $C = C_k$.
Echelle de temps : 50 nsec/cm.

Les valeurs expérimentales obtenues pour les temps de montée et de descente du courant se sont révélées meilleures que les valeurs calculées. Il faudra, ainsi, répéter ces mesures avec un étalonnage plus précis de l'échelle des temps de l'oscillographe.

Comme il apparaît sur la courbe calculée de la Fig. 4 et sur la courbe de l'oscillographe de la Fig. 7, le temps de descente du courant est un peu plus grand que $1,5 \frac{L}{\rho}$, ce qui rend difficile l'utilisation de ce schéma, si l'on considère que le champ résiduel dans l'aimant kicker après la fin de l'éjection ne doit pas dépasser 10 % de sa valeur maximale. Toutefois, on peut utiliser le schéma de la Fig. 2a pour l'alimentation de l'aimant kicker.

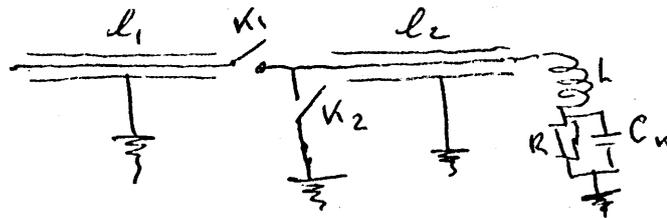


Fig. 2a

- où l_1 - ligne de formage
 l_2 - câble de transmission
 k_1 - éclateur principal
 k_2 - éclateur de court-circuit.

Alors, pour une longueur judicieusement choisie du câble l_2 , il est possible de créer des conditions telles que la première impulsion reflétée de l'éclateur k_2 tombe entre deux paquets. Le temps de descente du courant est théoriquement égal au temps de montée $\sim \frac{L}{\rho}$.

La Fig. 8 représente les oscillogrammes obtenus pour un tel schéma, avec les paramètres : $L = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{H}$; $R = 10 \Omega$; $C = \frac{L}{3R^2} = 3300 \text{ pf}$. Les échelles de temps de l'oscillographe sont respectivement de 50 ns/division et de 100 ns/division (de haut en bas).

Ces oscillogrammes sont obtenus sans précautions spéciales pour élever la précision de l'expérience. Elles n'ont, par suite, qu'un rôle d'illustration.

En conclusion, j'aimerais exprimer ma gratitude à M. B. Kuiper pour l'étude du programme et des résultats des expériences et aux membres de son Groupe pour l'aide apportée au cours de leur réalisation.