

1966

Modèle triphasé pour déterminer les
surtensions pendant l'enclenchement

Dr. U. Burger

Modèle triphasé pour déterminer les surtensions pendant l'enclenchement.

Dr. U. Burger

Commission d'étude de l'ASE et de l'UCS des questions
relatives à la haute tension.

Dans le troisième chapitre du rapport 409 sur "Phénomènes transitoires mesurés et calculés sur le réseau suisse à 420 kV Tavanasa-Sils-Breite", vous trouverez la comparaison d'un effet transitoire calculé avec les résultats obtenus en cours d'essais. L'emploi d'un calculateur permet de traiter le problème triphasé. Ainsi il est possible de considérer le fait que les trois pôles du disjoncteur ne se ferment pas simultanément. Mais à la place du calculateur numérique, les phénomènes transitoires se laissent déterminer par un modèle. Maintenant il est question des éléments et résultats d'un modèle pour le même cas qui a été calculé dans le rapport 409. Le modèle utilisé a été développé au Laboratoire de haute tension de l'Ecole Polytechnique fédérale à Zurich.

La ligne à vide est alimentée par quatre alternateurs et deux transformateurs. Du fait que le couplage du transformateur est monté en étoile-triangle, l'impédance homopolaire, vue du côté haute tension est identique à l'impédance de dispersion. Sur le diapositif vous trouverez les données principales à 50 périodes. L'inductance et la résistance de la ligne sont les valeurs mesurées à quelques centaines ampères et sous tension réduite. Dans le modèle on suppose une ligne symétrique, c'est-à-dire que les trois phases ont les mêmes impédances directes et homopolaires. La ligne non chargée est enclenchée du côté 420 kV du transformateur.

Le groupe d'études des analyseurs de réseau du comité "interrupteurs" de la Cigré s'est spécialement occupé des mesures par modèle monophasé. Il suffit donc d'indiquer les éléments choisis et de discuter les points supplémentaires pour le modèle triphasé.

Le deuxième diapositif vous montre la relation entre l'inductance de dispersion L et la résistance de perte R en fonction de la fréquence. Le rapport a la dimension d'un temps et représente l'amortissement. La courbe pleine correspond au transformateur de Tavanasa. Elle a été mesurée par les méthodes à basse tension employées par le groupe d'études des analystes de réseau.

Les deux autres courbes représentent: T le transformateur et A l'alternateur du modèle. Un composé de mumétal et de ferite comme noyau de bobine permet d'ajuster les courbes γ . Pour imiter l'impédance homopolaire, il faut également une transformation. Celle-ci aurait dû avoir très peu de pertes tout en ayant une grande impédance à vide. Parce que de tels transformateurs spéciaux manquaient, la courbe T indique un trop grand amortissement pour les basses fréquences.

L'amortissement des alternateurs en fonction de la fréquence est malheureusement encore une valeur inconnue. Un γ de 50 ms à 50 périodes et ensuite des valeurs semblables à celles du transformateur paraissent raisonnables. Pour la ligne, la composante directe a été déjà traitée par le groupe d'études des analystes. Pour cette raison, il ne faut parler que de la composante homopolaire. En plus des valeurs mesurées à 50 périodes, les travaux de Carson permettent de déterminer l'inductance et la résistance en fonction de la fréquence. Le fil de terre doit être compris dans ce calcul.

Le diapositif montre en haut le résultat à 50 périodes pour une résistance de terre de 100 Ω et une perméabilité relative du fil de terre en acier de 50. Les valeurs mesurées y sont indiquées à titre de comparaison. Si l'on ne considère pas le fil de terre, la composante homopolaire prend une autre valeur, ainsi que vous le voyez sur le diapositif.

L'augmentation de la fréquence oblige le courant à prendre son chemin plus près de la surface de la terre. Il en résulte que l'inductance homopolaire diminue, tandis que la résistance augmente.

Dans le modèle, la ligne de 141 km se compose de 15 cellules en π dont une est représentée sur le diapositif. L'inductance L est celle du retour par la terre et contient la composante directe de la ligne; C_M , C_T sont les capacités partielles entre les phases et la terre. L'inductance $1/3 (L_0 - L)$ représente le couplage magnétique. En parallèle à ces inductances vous voyez des résistances. Cette simple disposition permet d'ajuster la composante homopolaire de la ligne. Vous en voyez le résultat en prochain diapositif. La courbe pleine est calculée d'après Carson. La courbe pointillée signifie l'inductance et la résistance homopolaire du modèle. Deux combinaisons de L et de R par cellule donnent déjà une bonne correspondance en fonction de la fréquence.

La ligne est enclenchée dans le modèle par des relais à mercure.

Le nouveau diapositif vous montre la comparaison des surtensions d'un enclenchement sur modèle avec celles obtenues en cours d'essais. A gauche vous trouvez les tensions au début, à droite celles à la fin de la ligne. Le premier exemple est le même que celui qui a été calculé dans le rapport 409. L'accord des valeurs de crête et du cours général est vraiment bon, malgré la disposition symétrique des phases de la ligne et malgré l'estimation approximative de la résistance de terre à 100 Ω m. L'influence de ce dernier point doit encore être discutée. Pour les mêmes enclenchements, la résistance de terre a été ensuite réduite au modèle à 0 Ω m. C'est à dire que le courant prend son chemin tout près de la surface de la terre et cela sans pertes. Le prochain diapositif compare ces deux cas. Comme prévu, le phénomène transitoire est moins amorti.

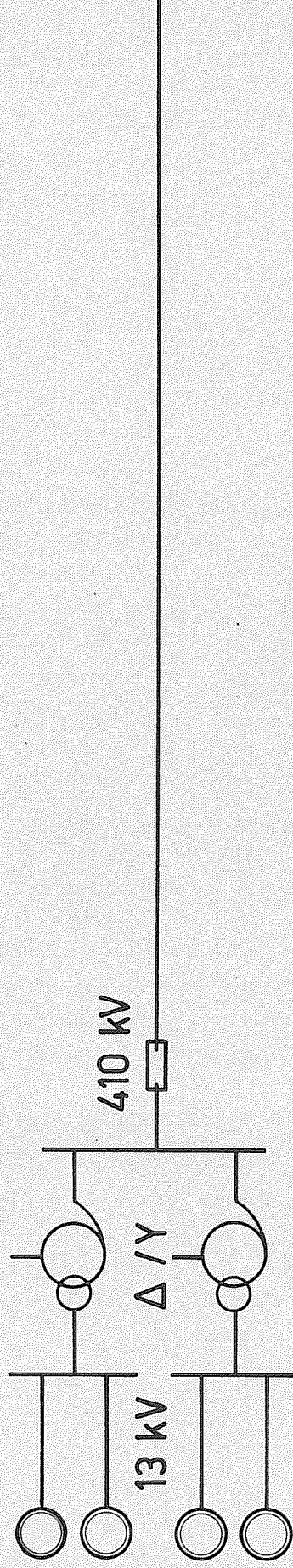
Mais la constatation la plus importante est le cours initial des courbes. Malgré la grande différence de la résistance de terre dans les deux exemples, les deux courbes ne se distinguent pas beaucoup l'une de l'autre durant les premières oscillations. Il en résulte le fait suivant: Si la tension maximale apparaît au début à la première ou à la deuxième amplitude du phénomène transitoire, la représentation exacte de la terre perd de son importance pour ces valeurs.

Pour finir, il faut parler des surtensions internes. Les coefficients de surtensions qui suivront, se rapportent à la tension à 50 périodes après l'enclenchement, c'est à dire que l'augmentation de la tension à 50 périodes, en conséquence de la charge capacitive de la ligne à vide, n'est pas contenue. Répétons que la ligne est alimentée par 4 alternateurs et deux transformateurs. Si les trois contacts du disjoncteur se ferment simultanément, un coefficient de surtension de 1,5 paraît au début de la ligne. Un modèle monophasé donne la même valeur, car dans ce cas, la composante homopolaire est sans importance. Le coefficient de 1,5 augmente à 1,83, si les contacts des trois phases n'enclenchent pas au même moment. C'est un fait bien connu qui prouve qu'on a besoin d'un modèle triphasé pour prévoir les surtensions maximales. En cours d'essais on a fait 9 enclenchements. Le plus haut coefficient atteignit 1,72. Le nombre des essais effectués est donc trop petit. Mais dans un réseau exploité il n'est guère possible ni souhaitable de faire de nombreux essais. D'autre part, il serait aussi risqué de prévoir les surtensions en se basant sur les mesures faites dans un autre réseau. Malgré des simplifications, un calcul des phénomènes transitoires donne des systèmes d'équations différentielles qui sont difficiles à résoudre. Il en résulte, que chaque problème doit être considéré séparément. Par exemple il est possible de déterminer les résistances des disjoncteurs à l'enclenchement, soit à l'aide d'un calculateur numérique, soit à l'aide d'un modèle.

Base des essais sur modèle

Tavanasa

Breite



Impédance du réseau à 50 Hz rapportées à la tension de 410 kV

4 alternateurs à 60 MVA

Inductance totale sous-transitoire 0,53 H

Inductance totale transitoire 0,75 H

2 transformateurs à 120 MVA

Inductance totale de dispersion 0,26 H

Ligne 141 km

valeurs par phase

Composante directe: Composante homopolaire

L = 1,06 mH/km L = 3,46 mH/km

C = 11,9 nF/km C = 6,55 nF/km

R = 0,031 Ω/km R = 0,209 Ω/km

L'amortissement du transformateur

$$\tau = L/R$$

L = inductance de dispersion

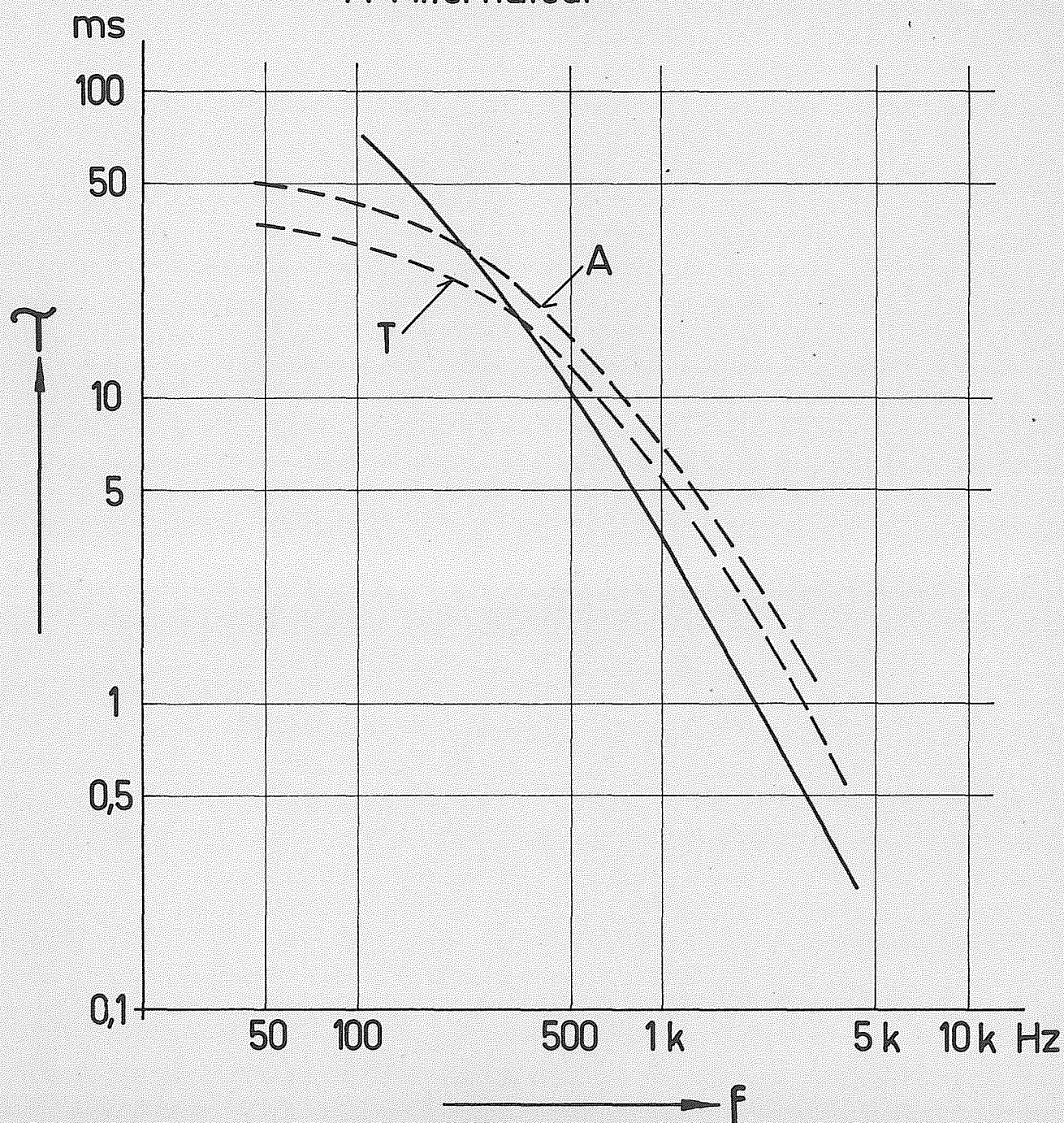
R = résistance de perte

———— mesuré au transformateur

----- valeurs au modèle

T: Transformateur

A: Alternateur



Impédance homopolaire de la ligne

valeurs à 50 Hz par phase

Hypothèse:

Résistance de terre $\rho = 100 \Omega\text{m}$

Perméabilité du fil de terre $\mu = 50$

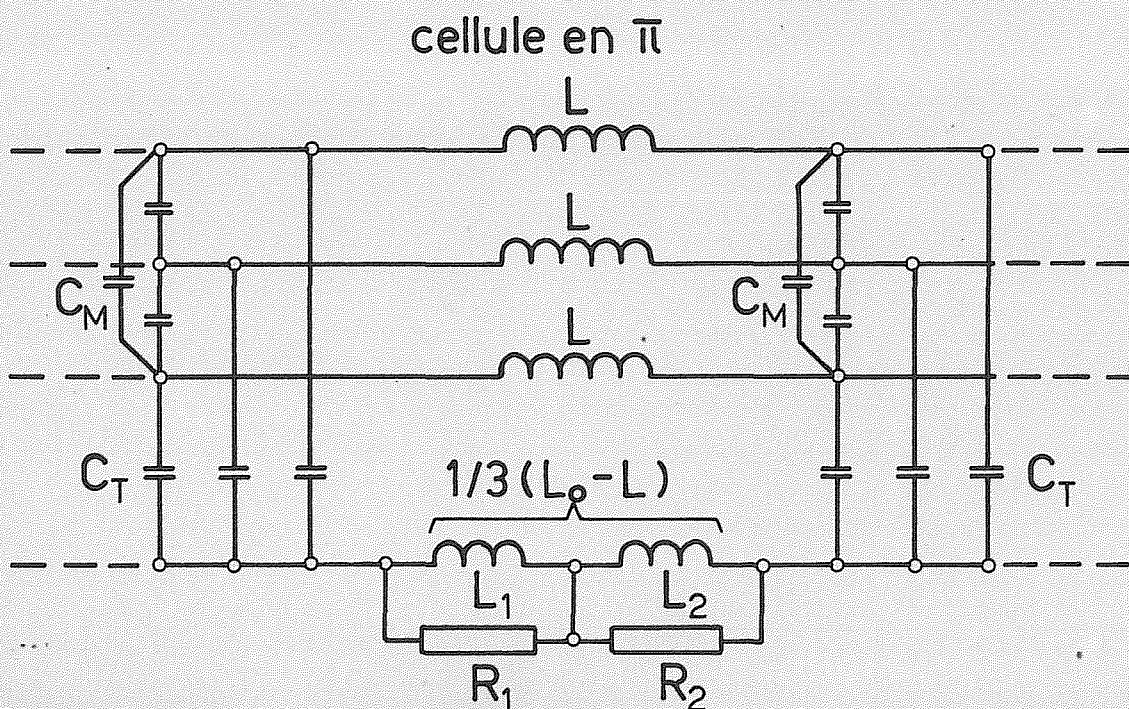
Comparaison mesure-calcul:

	$R (\Omega/\text{km})$	$L (\text{mH}/\text{km})$
Valeur mesurée	0,209	3,46
Valeur calculée:		
avec fil de terre	0,21	3,45
sans fil de terre	0,17	3,66

Ligne dans le modèle

Longueur: 141 km

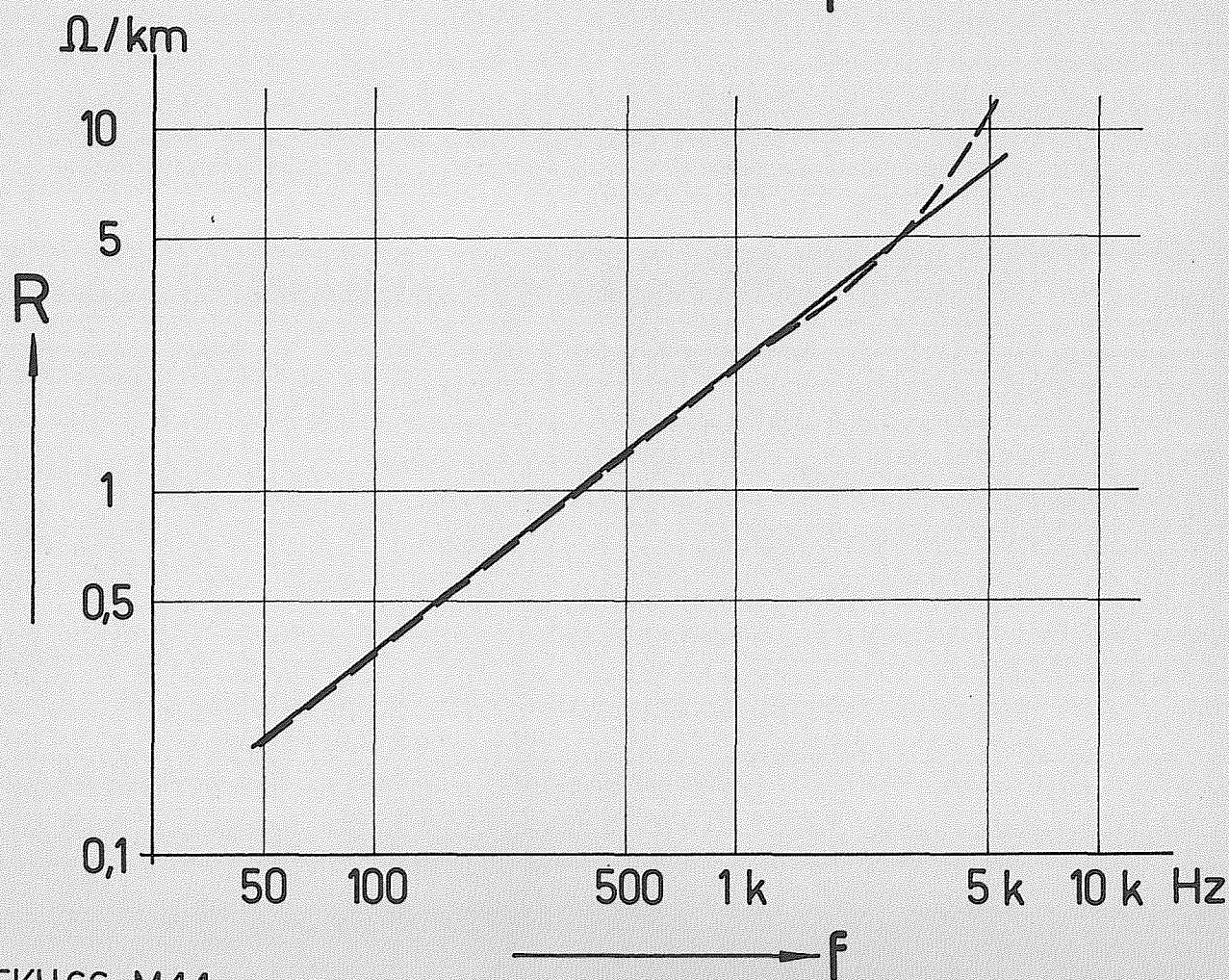
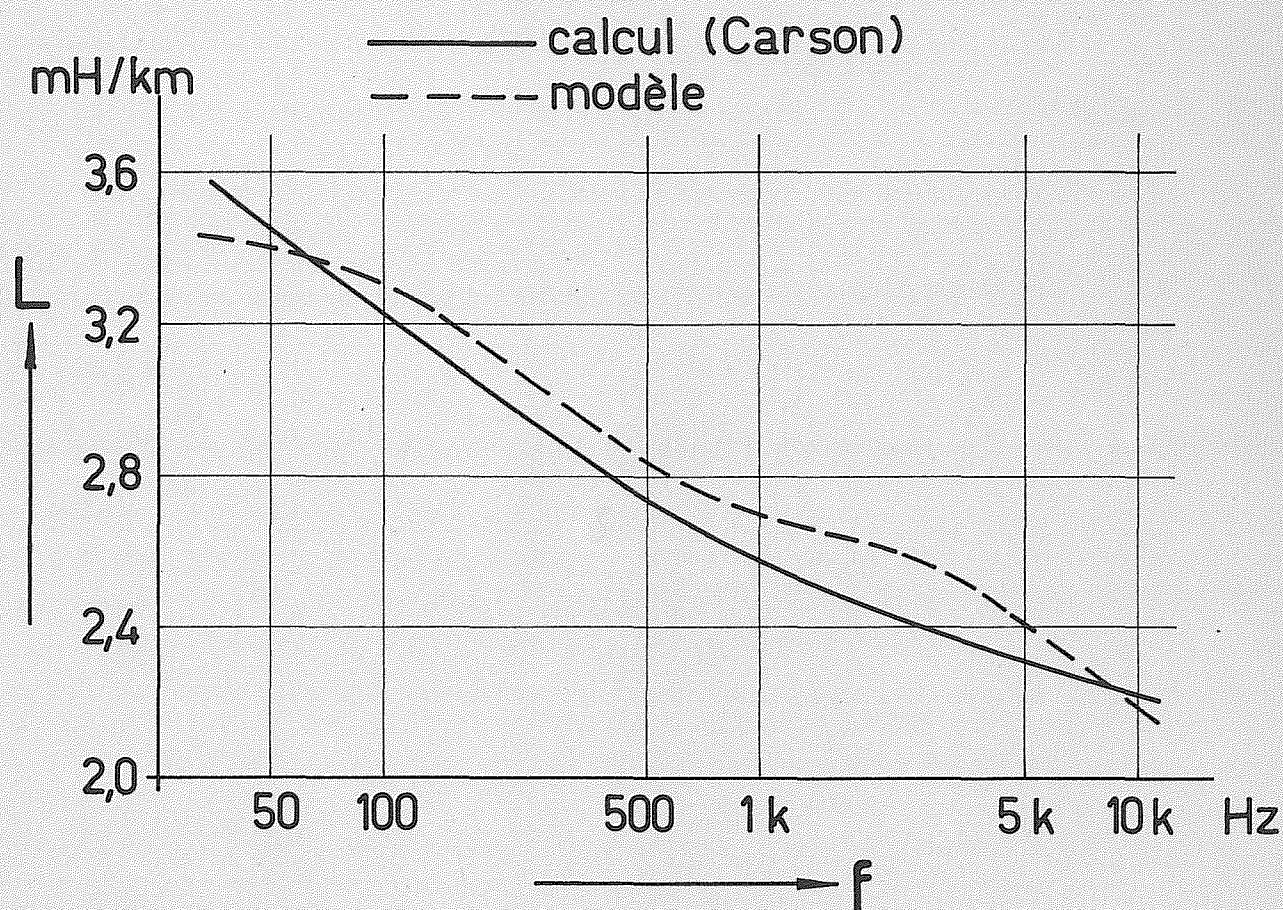
Modèle: 15 cellules en π



Impédance homopolaire de la ligne

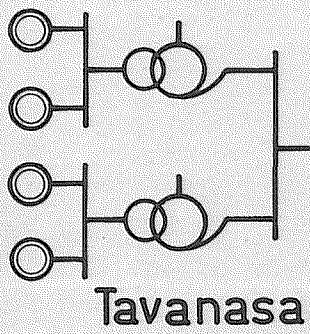
$$S = 100 \text{ } \Omega \text{m}$$

$$\mu_r = 50$$



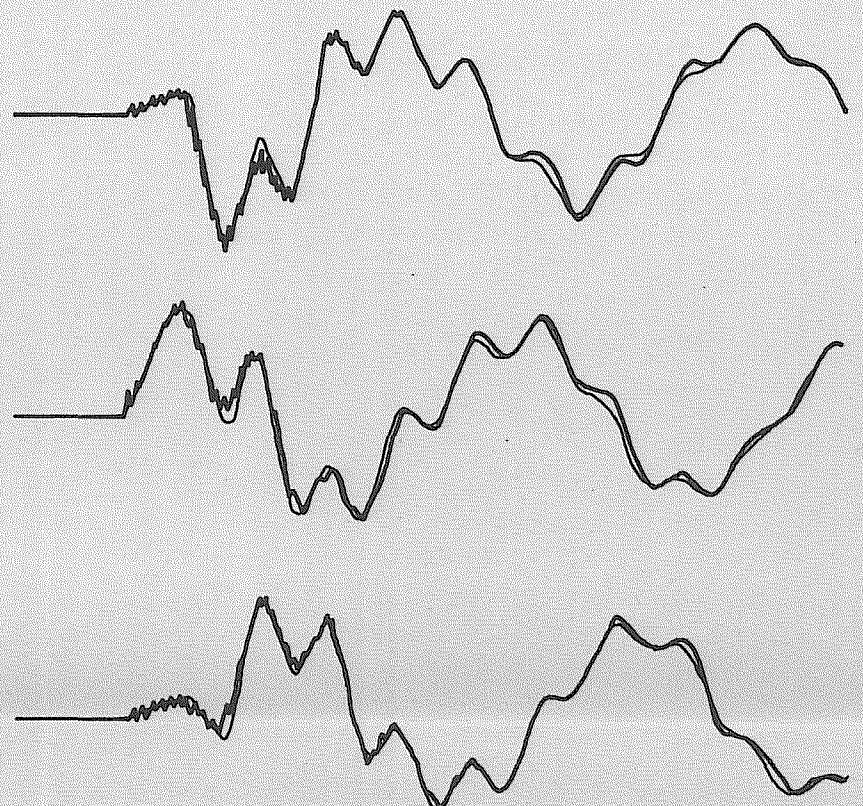
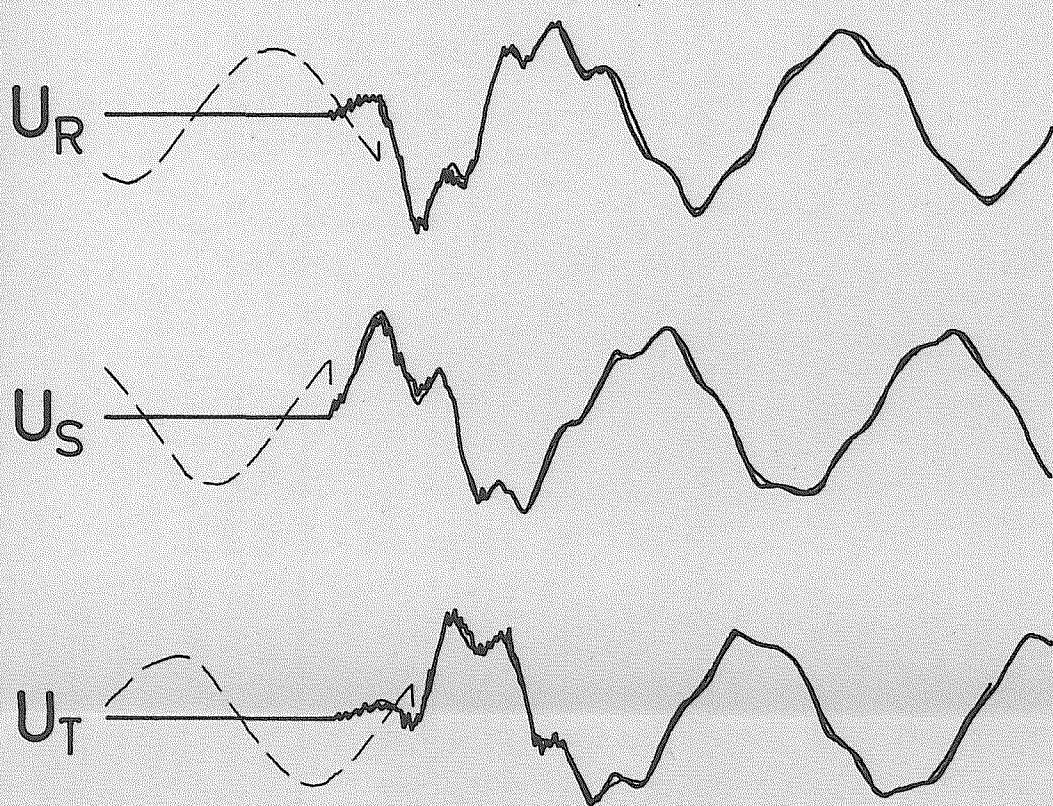
Comparaison

— essais
— modèle

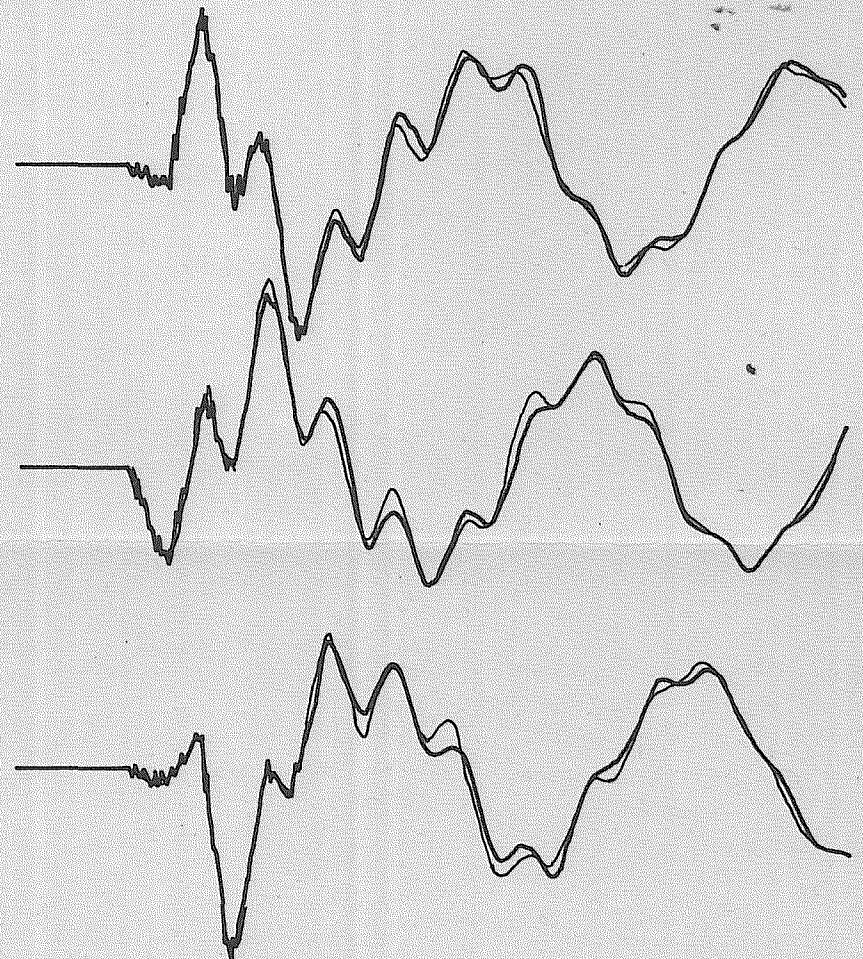
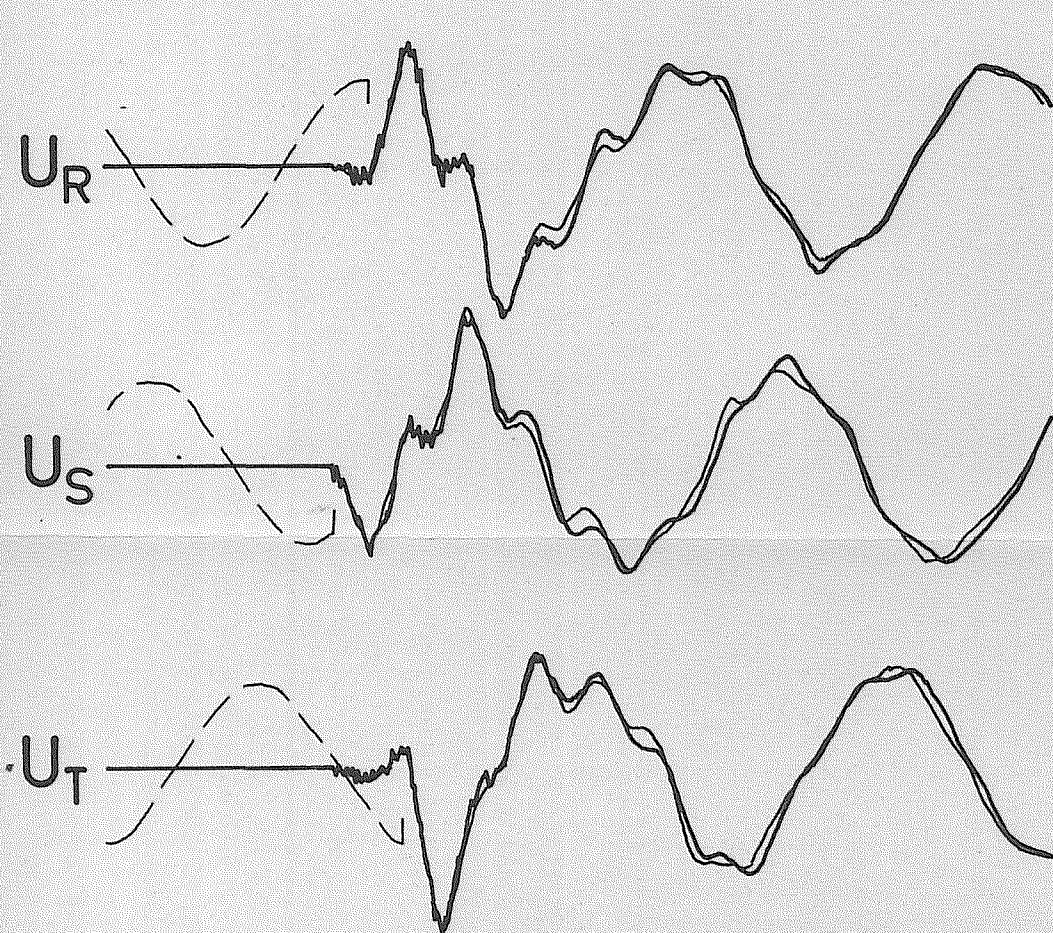


1^{er} exemple

Breite



2^e exemple



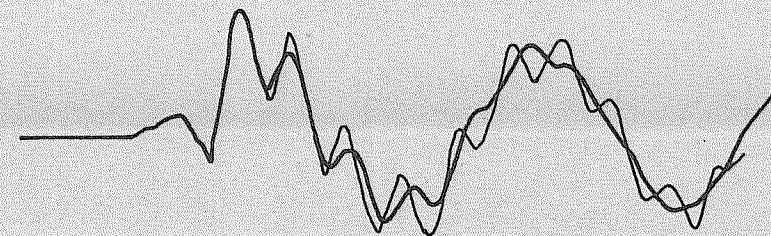
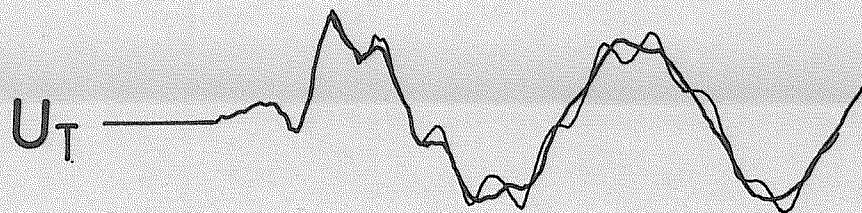
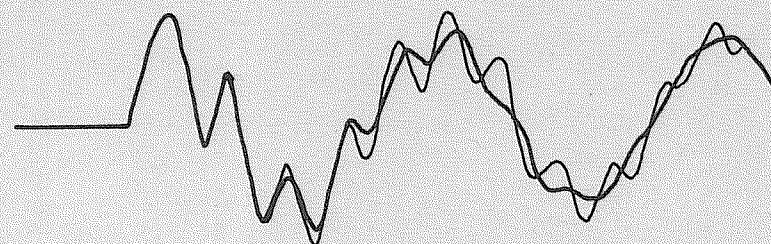
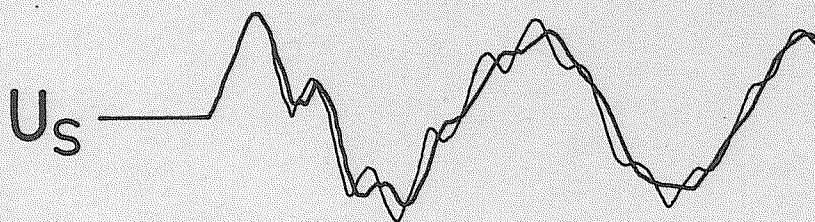
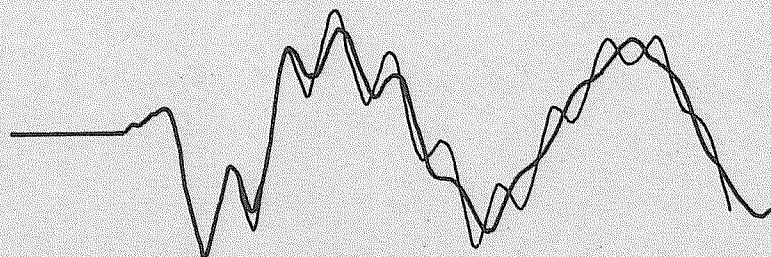
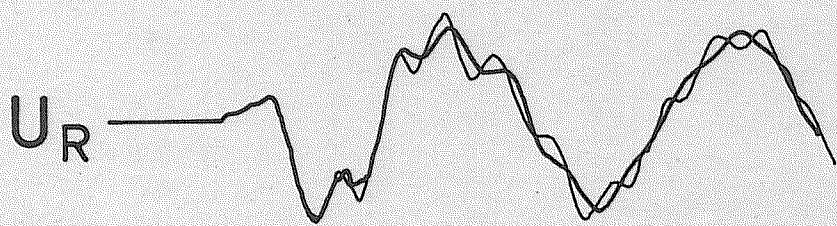
Influence de la résistance de terre

— $\rho = 100 \Omega m$
— $\rho = 0 \Omega m$

Tavanasa

1^{er} exemple

Breite



2^e exemple

