

# Surintensions et tensions perturbatrices

**Lors de la construction de systèmes de télécommunication ou d'ordinateurs à proximité d'installations de courant fort et de courant ferroviaire, on doit tenir compte soigneusement des surtensions et des tensions perturbatrices provoquées par d'autres lignes ou par des processus travaillant à la fréquence du réseau. Les couplages entre des lignes perturbantes et perturbées sont principalement de nature électrique et/ou magnétique. L'examen de ces couplages galvaniques, capacitifs et inductifs, ainsi que le calcul des surtensions, resp. des tensions perturbatrices, aident à protéger les installations contre de telles perturbations.**

**D**e nos jours, les appareils et les systèmes doivent être certifiés selon les normes européennes en vigueur (désignation CE) et en remplir les exigences applicables. La certification a lieu selon des directives cadres de l'UE. La première d'entre elles est la directive dite des machines, en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1995. La deuxième est la directive CEM valable depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1996. La troisième, celle des basses tensions, entrera en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 1997. Actuellement, tous les appareils et systèmes électriques et électroniques destinés au marché européen doivent respecter les directives CEM.

Récemment, des tensions perturbatrices ont provoqué des dérangements, en particulier dans des tours de contrôle d'aéroports et dans des centrales de commande ferroviaires. Cela confirme une fois de plus la nécessité de respecter au moins les exigences minimales des différentes directives cadres de l'UE.

Les surtensions qui se produisent dans des installations à proximité de lignes haute tension et de réseaux ferroviaires doivent donc être calculées à l'avance, à savoir en ce qui concerne la sécurité électrique et la compatibilité électromagnétique (CEM).

En cas de couplage capacitif, ohmique et inductif, les surtensions doivent être calculées séparément. La surtension qui en résulte s'obtient par l'addition vectorielle des valeurs individuelles.

## Valeurs limites des surtensions admissibles

Les surtensions qui se produisent dans les câbles de commande et de communication ne doivent pas porter préjudice à la sécurité (protection contre les courants dangereux pour le corps humain), aux installations et à leur exploitation.

En ce qui concerne les courants qui franchissent le corps humain, les valeurs limites suivantes sont admissibles en Suède:

$$U_{\text{eff}} \leq 50 \text{ V pendant } t \geq 1 \text{ s}$$

$$U_{\text{eff}} \leq 430 \text{ V pendant } 0,5 < t < 1 \text{ s}$$

$$U_{\text{eff}} \leq 650 \text{ V pendant } t \leq 0,5 \text{ s}$$

Les valeurs limites admissibles en ce qui concerne la protection des installations sont spécifiques aux différentes installations et font partie de leur construction. Les valeurs admissibles pour une exploitation sans perturbations dépendent également de la construction et de la fonction de l'installation.

Les installations de télécommunication sont particulièrement sensibles, étant donné qu'elles travaillent avec des tensions très basses et une large bande de fréquence. Les valeurs limites admissibles sont définies par des valeurs dites psophométriques. Les

coefficients psophométriques tiennent compte de l'importance de chaque fréquence pour l'oreille humaine. La tension psophométrique  $U_p$  totale résulte de l'équation suivante:

$$U_p = \frac{1}{p_{800}} \cdot \sqrt{\sum (p_i U_i)^2} \quad (1)$$

Dans cette équation  $U_i$  indique la tension à la fréquence  $f$ ,  $p_i$  le facteur de pondération psophométrique pour  $f$  et  $p_{800}$  le facteur de pondération psophométrique pour la fréquence de 800 Hz.

La bande de fréquence utilisée pour la transmission d'une télécommunication orale est comprise entre 300 et 3400 Hz. Les valeurs psophométriques limites pour les lignes téléphoniques sont 230 mV pour les tensions perturbatrices asymétriques (CMV) et 0,5 mV pour les tensions perturbatrices symétriques (NMV).

Le calcul de la tension perturbatrice psophométrique symétrique dépend des appareils branchés. Sans connaissance du circuit, la tension perturbatrice symétrique ne peut pas être déterminée.

Le facteur de pondération psophométrique selon CCITT est fourni par la courbe rouge **1**, tandis que la courbe bleue représente le facteur de pondération utilisé aux USA. La différence est faible.

## Couplage galvanique

Un couplage galvanique se produit lorsque deux circuits ont une impédance de couplage commune. Un cas typique est illustré par **2**.

$$U_x = U_G \cdot \frac{Z_C}{Z_G + Z_L} \quad (2)$$

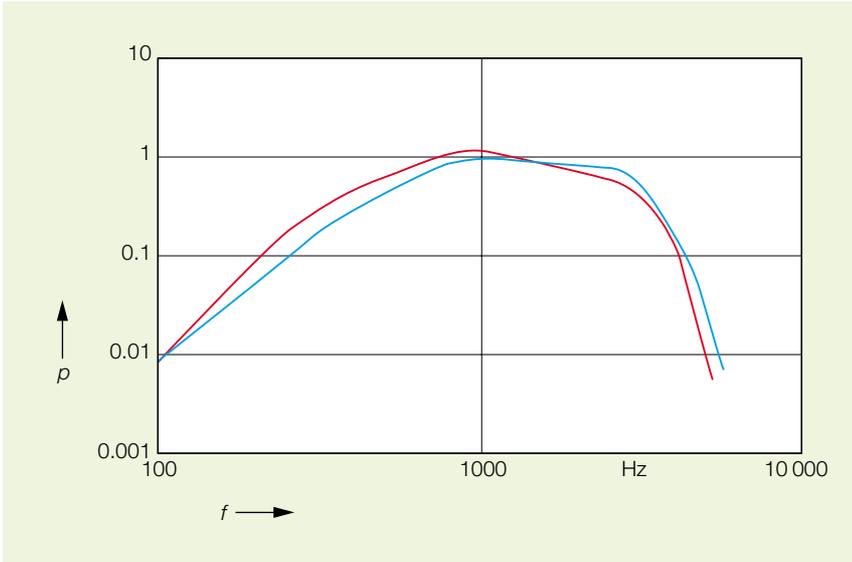
Dans la pratique, l'impédance de couplage  $Z_C$  est formée d'une résistance ohmique et d'une réactance. Elle est beaucoup plus petite que la somme des impédances  $Z_G$  et  $Z_L$ :  $Z_C \ll Z_G + Z_L$ .

## Couplage capacitif

Les couplages capacitifs exercent les plus grandes influences dans les installations haute fréquence. Le manque de connaissance ou la négligence lors de l'installation peuvent provoquer de graves perturbations. Il est d'importance primordiale de comprendre ces couplages, afin de pou-

**Prof. Dr Sten Benda**

ABB Industrial Systems AB



**Facteur de pondération psophométrique  $p$  selon le CCITT (rouge) et l'équivalent américain (bleu)**

$f$  Fréquence

voir calculer de cas en cas les conditions de couplage à l'aide de l'impédance de couplage.

La capacité entre deux composants conducteurs dépend de leur charge et de la différence de potentiel. Lors du calcul de la capacité, on se restreint à la différence de potentiel. Pour l'analyse des conditions qui règnent entre deux conducteurs, on admet deux cylindres de longueur infinie.

**Capacité entre conducteurs ronds concentriques**

La capacité entre deux cylindres **4** est décrite par l'équation

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(R_2/R_1)} \quad (5)$$

**Capacité de deux conducteurs situés au-dessus de la terre**

Pour calculer le couplage capacitif, le plus simple est d'analyser deux conducteurs symétriques par rapport à un plan **5**.

Pour le calcul de la capacité  $C$  entre deux conducteurs situés au-dessus de la terre **6**, on se sert de l'équation suivante:

$$C = \frac{\pi\epsilon l}{\ln(D/R)} \quad (6)$$

Cette équation est identique à l'équation (4). Avec les rayons de conducteurs  $R_1$  et  $R_2$  et leurs hauteurs respectives au-dessus du sol  $h_1$  et  $h_2$  **5**, on a:

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{2h_1}{R_1} \cdot \frac{2h_2}{R_2} - \ln \frac{(h_2 + h_1)^2}{(h_2 - h_1)^2 + D^2}} \quad (7)$$

**Capacité entre deux conducteurs parallèles**

Avec la constante diélectrique  $\epsilon$ , et  $R_1 \ll D$  et  $R_2 \ll D$ , **3** la capacité se calcule à l'aide de l'équation suivante:

$$C = \frac{\pi\epsilon l}{\ln \frac{D}{\sqrt{R_1 R_2}}} \quad (3)$$

En cas de conducteurs identiques, c'est-à-dire  $R_1 = R_2 = R$ , l'équation devient:

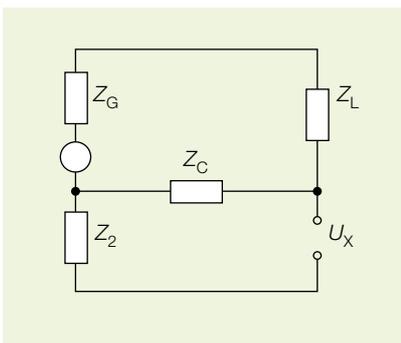
$$C = \frac{\pi\epsilon l}{\ln(D/R)} \quad (4)$$

**Tensions perturbatrices asymétriques provoquées par induction**

Les tensions perturbatrices asymétriques provoquées par induction doivent être considérées particulièrement lors du calcul des surtensions et des tensions perturbatrices de processus travaillant à la fréquence du réseau. En revanche, on peut négliger les

**Couplage galvanique par une impédance commune  $Z_C$**

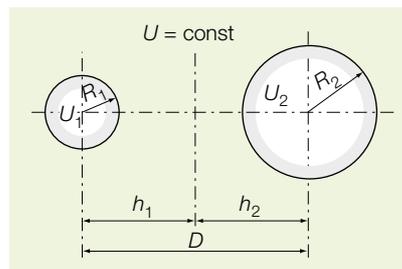
**2**



**Capacité entre deux conducteurs parallèles**

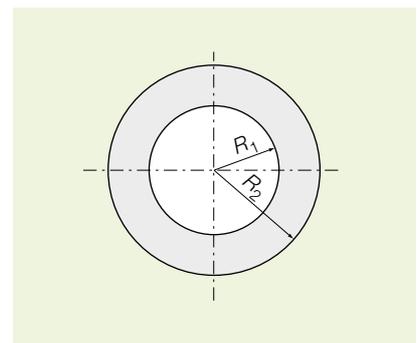
**3**

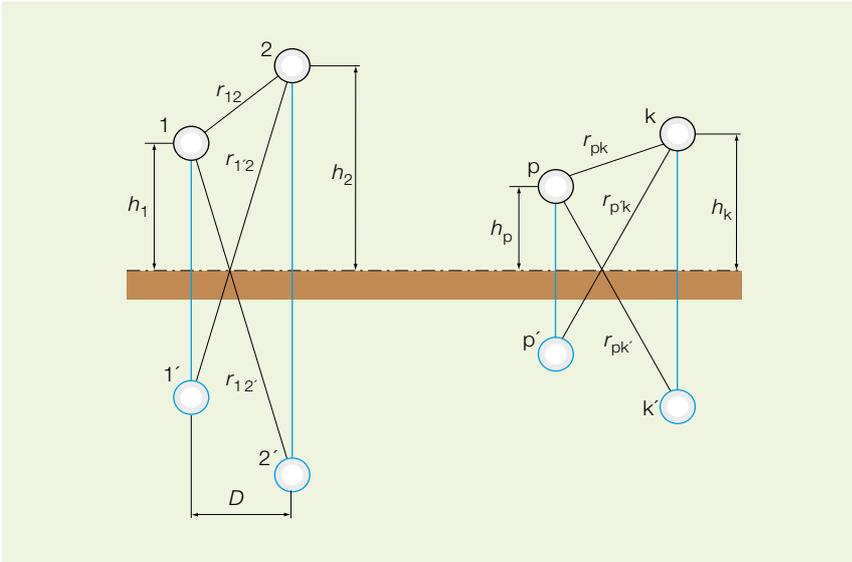
$D$  Distance mutuelle des conducteurs  
 $R$  Rayon des conducteurs  
 $U$  Tension



**Capacité entre deux conducteurs concentriques**

**4**





**Analyse générale à l'aide de conducteurs symétriques par rapport à un plan (1', 2', resp. p', k')**

- D Distance mutuelle des conducteurs
- h Distance des conducteurs par rapport à la terre
- r Distance entre les conducteurs symétriques

surtensions et les tensions perturbatrices provoquées par le couplage capacitif, du moins lorsque les câbles sont blindés. En plus des couplages capacitifs dus à des conducteurs sous tension, on a également des couplages ohmiques. Le cas le plus fréquent est celui du couplage par la résistance de mise à la terre de sous-stations (potentiel de la terre accru).

La FEM induite découle de l'équation:

$$E_2 = \omega M I_1 k \tag{8}$$

$E_2$  est la FEM en V induite dans le conducteur du câble de commande,  $\omega = 2\pi f$  la fréquence angulaire ( $f$  en Hz) et  $M$  l'inductance

mutuelle en H entre la ligne perturbatrice et le câble de commande. Ce faisant, on a admis que les gaines de câble éventuelles et les conducteurs métalliques sont isolés mutuellement.  $I_1$  est le courant le plus défavorable dans le conducteur et  $k$  est un facteur de réduction pour tenir compte des gaines de câbles et des conducteurs qui se trouvent à proximité.

Lorsque les appareils branchés sont sensibles aux fréquences plus élevées que la fréquence fondamentale, on doit calculer les courants harmoniques dans la ligne de courant fort. Ce calcul est très compliqué et peu sûr, de sorte qu'une mesure de la FEM induite est recommandée.

**Courant dans la ligne perturbatrice**

Le circuit perturbateur et le circuit perturbé sont formés d'un ou de plusieurs conducteurs, avec la terre comme ligne de retour. Le cas dans lequel la terre ne forme pas la ligne de retour sera traité plus tard. Pour une ligne haute tension triphasée, cela n'est valable que pour la composante homopolaire du courant. Les composantes directes et inverses ne retournent pas à travers la terre et leurs effets sont faibles à cause de la distance relativement courte entre les conducteurs extérieurs. Normalement, on utilise  $I_1$  sous forme de somme des courants des composantes homopolaires ( $= 3I_0$ ), pour autant que le câble de commande ne se trouve pas à proximité immédiate de ligne à courant fort. Lorsque le câble de commande est proche de cette ligne et en cas d'appareils sensibles, on doit calculer les différentes inductions de chaque conducteur de phase.

On admet que dans l'installation considérée, le courant homopolaire qui se présente aux différents points de défaut est connu. Pour déterminer la FEM maximale, on a souvent besoin de calculs pour plusieurs points de défaut.

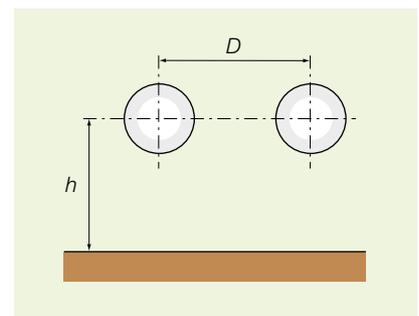
**Inductance mutuelle**

En admettant que la terre est homogène et qu'en outre les lignes perturbatrice et perturbée sont parallèles, l'inductance mutuelle s'exprime comme suit:

$$M = m_0 I = 10^{-7} \left[ \ln \left( 1 + \frac{0,6\rho \cdot 10^6}{fd^2} \right) \right] \cdot I \tag{9}$$

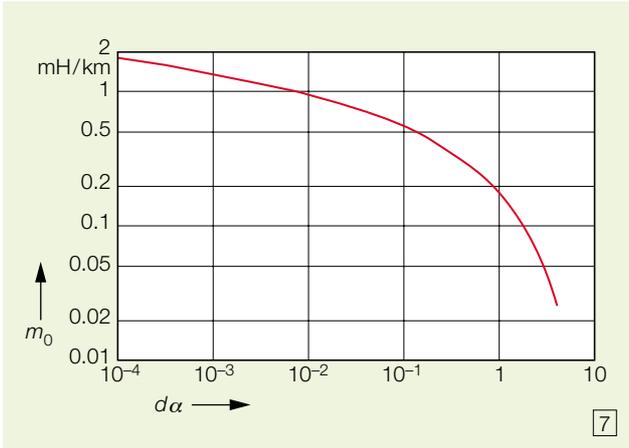
**Deux conducteurs à même hauteur au-dessus de la terre**

- D Distance mutuelle des conducteurs
- h Distance des conducteurs par rapport à la terre

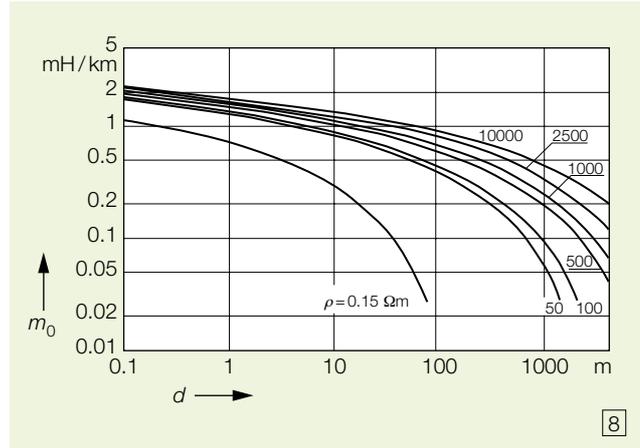


**Tableau 1: Valeurs approximatives de la résistance spécifique**

Type de sol	Résistance spécifique $\rho$ $\Omega\text{m}$
Charbon, strates de minerais	1-3
Argile légère, alluvions	5-20
Craie, marne, argile sans alluvions	20-100
Quartz, calcaire, molasse, schiste argileux	100-1000
Roche, ardoise, granite, gravier	1000-10000



7



8

**Inductance mutuelle en fonction de  $d\alpha$**

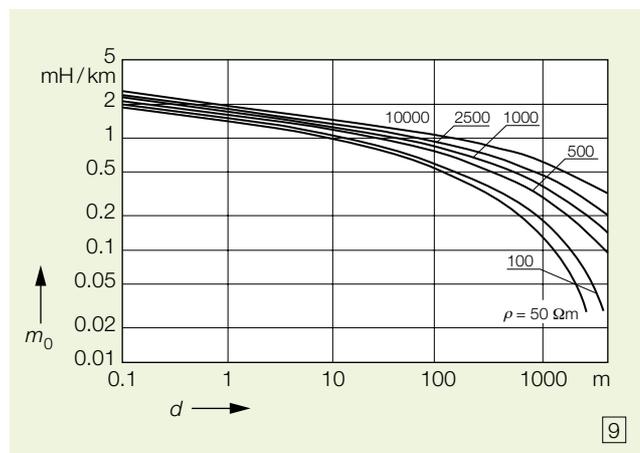
7

- $m_0$  Inductance mutuelle par unité de longueur
- $d$  Distance entre les lignes perturbante et perturbée
- $\alpha$  Voir équation (10)

**Inductance mutuelle en fonction de  $d$  à 50 Hz**

8

- $m_0$  Inductance mutuelle par unité de longueur
- $d$  Distance entre les lignes perturbante et perturbée
- $\rho$  Résistance spécifique de la terre



9

**Inductance mutuelle en fonction de  $d$  à 16 2/3 Hz**

9

Dans cette équation,  $M$  est l'inductance mutuelle en H,  $m_0$  le quotient de l'inductance mutuelle par la longueur en H/m (en même temps une fonction de  $d\alpha$ ),  $l$  la longueur du tronçon parallèle en m et  $d$  la distance entre les lignes perturbante et perturbée exprimée en m.

$$\alpha = \sqrt{\omega\mu_0 / \rho} \tag{10}$$

Dans cette équation,  $\omega = 2\pi f$  est la fréquence angulaire ( $f$  en Hz),  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  la perméabilité du vide en H/m et  $\rho$  la résistance spécifique de la terre en  $\Omega\text{m}$ .

Le paramètre  $m_0$  est complexe. En général, son angle de phase n'est pas intéressant, de sorte que sa valeur absolue suffit pour le calcul.

L'inductance mutuelle dépend de la résistance spécifique de la terre. On a procédé à sa mesure pendant un certain nombre d'années. Si on ne dispose pas de valeurs valables, on peut par exemple admettre une va-

leur moyenne de 2500  $\Omega\text{m}$  pour la majeure partie de la Suède. La province méridionale de Schonen forme une exception avec une valeur moyenne de 100  $\Omega\text{m}$ . Le *tableau 1* montre des valeurs indicatives de la résistance spécifique de différents sols.

Dans les régions fortement peuplées, on trouve en général des tuyaux et d'autres conducteurs métalliques dans le sol. Ceux-ci mènent une grande partie du courant de retour. Ce fait peut être pris en compte en introduisant une valeur fictive plus basse pour la résistance spécifique de la terre.

Pour simplifier les calculs, on peut se servir de diagrammes qui fournissent l'inductance mutuelle en fonction de  $d\alpha$  **7**, resp.  $d$  pour différentes valeurs de la résistance spécifique, à savoir autant pour 50 Hz **8** que pour 16 2/3 Hz **9**.

Si  $m_0$  n'est pas constant sur toute la longueur du câble de commande, c'est-à-dire si la distance du câble perturbateur varie, on subdivise le tronçon en tronçons partiels à

calculer séparément. On additionne ensuite les inductances partielles.

Les valeurs  $m_0$  sont calculées en admettant que la ligne perturbatrice est infiniment longue. Si elle est courte par rapport à  $1/\alpha$ , le couplage effectif peut être beaucoup plus petit que  $m_0$ . Dans la pratique, on utilise la même formule également pour les lignes courtes. Elle fournit pourtant une valeur trop élevée pour  $m_0$ .

**Conditions particulières à l'intérieur de sous-stations**

Dans les sous-stations avec un réseau maillé de câbles de terre et d'autres conducteurs métalliques enterrés, une grande partie du courant de retour circule à travers le réseau de câbles de terre. Ici également, on se fonde sur une valeur  $m_0$  qu'on multiplie avec un facteur de réduction. Celui-ci dépend fortement de la distance  $d$  entre la ligne perturbante et la ligne perturbée.

La valeur  $m_0$  équivaut approximativement à celle de l'inductance mutuelle, si on admet que le courant de retour circule dans un plan, à une profondeur de  $1/\alpha$  sous la surface de la terre. Pour les sous-stations avec un réseau de câbles de terre maillé, cette hypothèse correspond bien à la réalité. Des mesures effectuées dans des sous-stations ont montré qu'une valeur  $\alpha = 0,05 \text{ m}^{-1}$  (qui équivaut à  $\rho = 0,15 \text{ } \Omega\text{m}$ ) fournit une inductance mutuelle qui correspond bien aux valeurs de mesure à 50 Hz. En cas de manque de mesures globales, il est recommandé d'utiliser la courbe 8 pour  $\rho = 0,15 \text{ } \Omega\text{m}$ , comme dans le cas de sous-stations dotées d'un réseau de câbles de terre maillé.

Lorsque les lignes perturbante et perturbée sont situées à des niveaux différents, on peut utiliser la distance effective avec une précision suffisante pour  $d$ .

**Facteurs de réduction**

Dans de nombreuses installations, on essaie de réduire les tensions induites. Le facteur de réduction, qui est attribué à la ligne perturbante conformément aux mesures appliquées, est désigné par  $k_1$  et celui qui correspond aux mesures appliquées au câble de

commande par  $k_2$ . En général, la distance entre les lignes perturbante et perturbée est si grande que l'influence réciproque de  $k_1$  et de  $k_2$  peut être négligée. Le facteur de réduction résultant est alors  $k_1 \cdot k_2$ .

Les câbles de terre exposés à bonne conductibilité du tronçon de branchement fournissent une bonne réduction lorsque la résistance effective de leur terre est basse. Dans de nombreux cas, cette résistance est pourtant si élevée que pour des raisons de sécurité, on doit admettre la valeur  $k_1 = 1$  pour les calculs.

Dans le cas des alimentations ferroviaires, le courant circule vers la locomotive à travers la caténaire, tandis que le courant de retour se répartit entre les rails et la terre 10. Pour réduire le courant à travers la terre, on utilise des transformateurs dits suceurs avec un rapport de transformation de 1:1. Leur mission consiste à forcer le courant de retour à passer dans les rails, resp. sur la ligne de retour. Cela s'obtient le mieux avec des lignes de retour ( $k_1 = 0,4-0,5$ ). Ces lignes sont montées sur des pylônes, environ à la même hauteur que la caténaire.

D'autres conditions sont valables lors de la pose de câbles à courant fort et de commande sur le même tronçon, avec un

câble de mise à la terre de protection. La suppression des tensions perturbatrices dans le câble de commande est fournie par:

- un blindage et en cas de besoin par l'armature du câble de commande,
- le blindage des autres câbles de commande du même tronçon et par
- un conducteur de protection à proximité du câble de commande.

Le facteur de réduction  $k_2$  se calcule alors selon la méthode suivante: si le blindage ou la gaine métallique est mis à la terre aux deux extrémités et éventuellement aussi en d'autres points, le courant suivant circule dans le blindage ou l'armature:

$$I_2 = \frac{EI}{(r_2 + j\omega L_2) \cdot l + R_j} \tag{11}$$

Dans cette équation, on a:  $E = m_0 k_1 I_1$ , l'intensité du champ en V/m dans la terre le long du câble de commande (sans tenir compte de la rétroaction des courants du câble de commande et dans les conducteurs de protection);  $r_2$  est le quotient de la résistance effective du circuit de la gaine par la longueur en  $\Omega/\text{m}$ ;  $L_2$  est le quotient de l'inductance du circuit de la gaine par la longueur en H/m;  $R_j$  est la somme des résistances effectives aux points de mise à la terre en  $\Omega$  et  $l$  est la longueur du câble de commande en m.

Sur le côté intérieur de la gaine, le courant  $I_2$  provoque entre le conducteur et la gaine une intensité de champ électrique de  $I_2 \cdot Z_k$ ,  $Z_k$  étant le quotient de l'impédance de transfert de la gaine par la longueur en  $\Omega/\text{m}$ . En cas de fréquence basse, ce quotient est approximativement égal au quotient de la résistance ohmique par la longueur, c'est-à-dire  $Z_k \approx r_k$ .

En négligeant  $R_j$ , on obtient pour  $k_2$  la valeur

$$k_2 = \frac{Z_k I_2}{E} = \frac{Z_k}{r_2 + j\omega L_2} \tag{12}$$

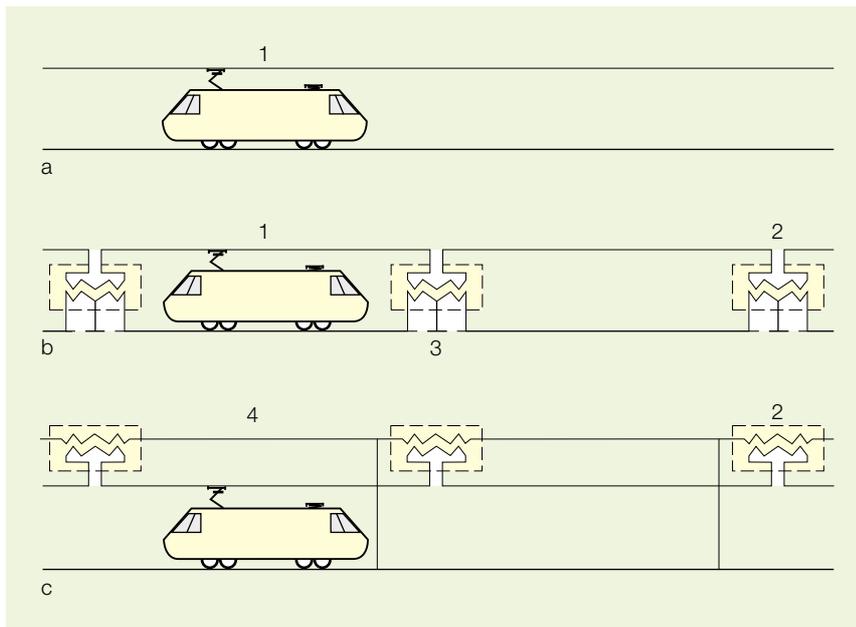
Dans cette équation,  $r_2$  est la résistance effective de la gaine pour du courant alternatif. A la fréquence du réseau,  $r_2$  est environ égal à la résistance ohmique de la gaine. Celle-ci se calcule à partir de la section et de la résistance spécifique du blindage ou de la gaine métallique.

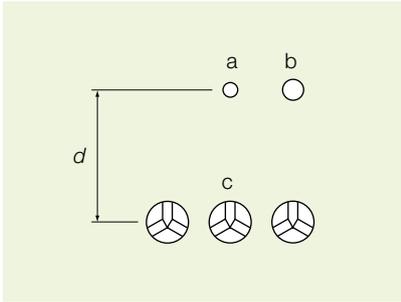
Pour les câbles sans armature en tresse plate en fils d'acier,  $L_2$  se calcule à l'aide de la formule suivante:

**Différents systèmes d'électrification ferroviaire**

Facteur de réduction  $k_1 = 0,4 - 0,5$  pour la disposition c

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1 Caténaire             | 3 Section de séparation |
| 2 Transformateur suceur | 4 Conducteur de retour  |





**Pose de câbles à courant fort et de commande dans le même chemin de câbles**



- a Câble de protection
- b Câble de commande
- c Câble à trois conducteurs parallèles ou groupes de câbles monofilaires posés en triangle de manière serrée

$$L_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{4}{\alpha D} \tag{13}$$

Dans cette formule,  $D$  est le diamètre du blindage ou de la gaine métallique en m.

Comme le montre la relation logarithmique, la résistance effective dépend relativement peu de  $\alpha$  et des variations de diamètre  $D$  du câble. Pour les câbles de commande de dimensions normales, on peut utiliser les approximations suivantes pour les calculs:

- $L_2 = 2,5$  mH/km pour  $\rho \approx 2500 \Omega\text{m}$
- $L_2 = 2,0$  mH/km pour  $\rho \approx 100 \Omega\text{m}$
- $L_2 = 1,6$  mH/km pour  $\rho \approx 0,15 \Omega\text{m}$  (sous-stations de transformation)

En cas de câbles de commande blindés à isolation en matière plastique du type EKFR,  $r_2$  est beaucoup plus grand que  $\omega L_2$ , de sorte qu'un facteur de réduction  $k_2 \approx 1$  en résulte. Pour les câbles des types EKFR, EKLR et FKLR, les valeurs  $k_2$  à 50 Hz, avec  $\rho = 100 \Omega\text{m}$  et  $L_2 = 2$  mH/km, sont comprises entre 0,87 et 0,99.

Si plusieurs câbles de commande blindés sont situés dans le même faisceau, on peut obtenir de bonnes valeurs  $k_2$ . A la fréquence du réseau, on obtient avec une bonne approximation une valeur  $k_2$  telle que

$$k_2 \leq \frac{r_{\text{tot}}}{r_{\text{tot}} + j\omega(L_2 - \Delta L_2)} \tag{14}$$

$r_{\text{tot}}$  est le quotient de la résistance ohmique par la longueur en  $\Omega/\text{m}$ , lorsque tous les

blindages sont branchés en parallèle.  $\Delta L_2$  en  $\mu\text{H}/\text{m}$  est alors:

$$\Delta L_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \frac{2b_m}{D_m} \tag{15}$$

Dans cette équation,  $b_m$  est la distance géométrique moyenne entre les câbles de commande dans le faisceau en m et  $D_m$  est le diamètre moyen des blindages des câbles en m.

**Exemple**

- Câble de commande, type EKRF,  $4 \times 2 \times 1,5 \text{ mm}^2 + 14 \times 1,5 \text{ mm}^2$
- $A_{\text{Blindage}} = 7,5 \text{ mm}^2$
- $r_k = 2,8 \Omega/\text{km}$
- $D_m = 19,5 \text{ mm}$
- $b_m = 100 \text{ mm}$
- $L_2 = 1,6 \text{ mH}/\text{km}$  (sous-station)
- $\Delta L_2 = 0,46 \text{ mH}/\text{km}$

Le facteur de réduction  $k_2$  change avec le nombre de câbles. A titre d'exemple, ce facteur est 0,99 pour un câble; par contre, il se monte à 0,31 en cas de 20 câbles. La valeur  $k_2$  calculée avec l'équation 14 est aussi valable pour des câbles non blindés dans le même faisceau.

Lors du calcul de  $r_{\text{tot}}$ , on peut considérer les conducteurs des câbles de commande, s'ils sont mis à la terre aux deux extrémités. On peut en outre tenir compte de câbles de mise à la terre de protection qui suivent le faisceau de câbles. En cas de gros câble de mise à la terre de protection, par ex. avec une section de  $A_{\text{Cu}} = 25 \text{ mm}^2$ , l'effet de l'inductance du câble est limité. Lors de câbles de commande individuels accompagnés d'un tel câble, on a donc  $k_2 \geq \Delta L_2/L_2$ .

Avec un câble de mise à la terre de protection ayant un diamètre d'environ 10 mm placé à une distance de 50 mm du câble, on a  $k_2 \geq 0,3$ .

Si le câble de commande est équipé d'une armature plate en fils d'acier, l'inductance de la gaine augmente fortement. Du fait de la perméabilité de l'acier, le facteur de réduction dépend de l'intensité du champ de la terre le long du câble de commande.

Lorsque plusieurs câbles se trouvent dans le même faisceau, on doit observer que la réduction par l'armature plate en fils d'acier n'est valable que pour les lignes entourées par cette armature.

Une meilleure valeur pour le facteur de réduction  $k_2$  s'obtient si on place un câble de

protection de mise à la terre près du câble de commande (distance  $d$   $\leq 0,1$  m).

Si une réduction encore plus poussée est nécessaire, on doit faire appel à une exécution spéciale, par exemple en augmentant la part d'acier de l'armature et en améliorant la conductibilité du blindage.

**Câbles à courant fort et câbles de commande sur le même chemin de câbles**

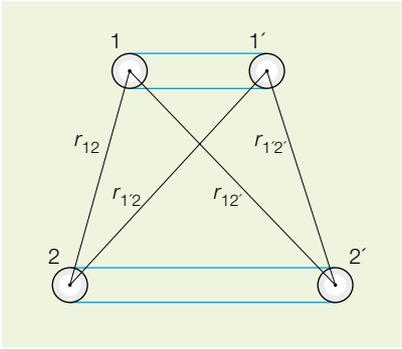
Lors du calcul des tensions induites dans les câbles de commande qui se trouvent sur le même chemin de câbles que des câbles à courant fort, on ne peut pas attribuer des facteurs de réduction mutuellement indépendants aux différentes gaines de câbles. Lors d'une pose selon **11**, on peut pourtant, sous les conditions données, appliquer une méthode de calcul simple. Les conditions préalables sont les suivantes:

- Les gaines des câbles et les câbles de mise à la terre de protection sont au moins reliés mutuellement à leurs extrémités et mis à la terre.
- Le défaut se produit à proximité de l'extrémité arrière du câble à courant fort (cas le plus grave).
- L'influence d'une armature plate en fils d'acier éventuelle sur les câbles à courant fort est négligée (en cas de forts courants de court-circuit, l'acier est saturé magnétiquement).
- Si plusieurs câbles à courant fort sont présents, les distances entre ces câbles et le câble de commande sont admises comme étant approximativement égales.
- Le câble de mise à la terre de protection se trouve près du câble de commande ( $\leq 0,1$  m). De cette façon, on obtient le meilleur facteur de protection.

La tension induite est alors:

$$E_2 = I_1 r_p k_3 k_2 l \tag{16}$$

Dans cette équation,  $I_1$  est la somme des courants homopolaires en A et  $r_p$  le quotient de la résistance effective par la longueur de la gaine métallique ou du blindage du câble à courant fort, resp. des gaines de câbles branchées en parallèle ou des blindages, en  $\Omega/\text{m}$ .  $k_2$  est le facteur de réduction de l'armature plate en fils d'acier du câble de commande. Pour la



**Configuration avec des conducteurs bifilaires**

**12**

détermination de  $k_2$ , on calcule tout d'abord l'intensité de champ  $I_1 r_p k_3$ , en prenant  $k_2$  dans des diagrammes appropriés. Si le câble de commande ne possède pas d'armature plate en fils d'acier, on utilise la valeur  $k_2 = 1$ .  $k_3$  est un facteur de réduction qui dépend de la distance  $d$  entre le câble de commande et les câbles à courant fort, de la section  $A_3$  du câble de mise à la terre de protection et du blindage du câble de commande. Avec  $A_3 = 100 \text{ mm}^2$  et  $d = 0,5 \text{ m}$ , on peut admettre  $k_3 \approx 0,5$  pour le calcul.  $l$  est la longueur du tronçon parallèle en m.

**Inductance mutuelle entre lignes bifilaires**

Dans une configuration selon **12**, la terre ne sert pas de ligne de retour.

Dans le premier circuit, 1 forme le conducteur et 1' la ligne de retour. La même désignation est valable pour le second circuit. Les lignes ont la longueur  $l$ .

Sous la condition que la longueur des lignes est beaucoup plus grande que la distance entre les conducteurs, on peut négliger la liaison au début et à la fin du circuit (lignes bleue dans **12**).

Sous ces conditions, l'inductance mutuelle selon la «méthode partielle» s'exprime comme suit:

$$M = M_{12} + M_{1'2'} + M_{1'2} + M_{12'} \quad (17)$$

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left( \ln \frac{r_{12'} r_{1'2}}{r_{12} r_{1'2'}} \right) \quad (18)$$

Dans ces équations,  $M$  est l'inductance mutuelle en H,  $l$  la longueur des conduc-

teurs parallèles en m,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  la perméabilité du vide en H/m, tandis que  $r_{12}$ ,  $r_{1'2'}$ ,  $r_{1'2}$  et  $r_{12'}$  représentent les distances en m.

L'inductance mutuelle  $M$  peut avoir une valeur positive ou négative. Dans la configuration selon **12**,  $M$  possède une valeur positive. Cela signifie qu'on doit additionner les courants induits par l'inductance mutuelle  $M$  aux courants indiqués pour les différents conducteurs.

Si le courant de service d'un conducteur possède une polarité inverse par rapport à la polarité admise, l'inductance mutuelle  $M$  devient négative.

La tension induite dans le circuit 2 se calcule à l'aide de l'équation

$$E_2 = I_1 \omega M \quad (19)$$

**Considérations finales**

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1996, tous les appareils, systèmes et installations électriques et électroniques doivent respecter les directives de CEM mentionnées au début de l'exposé. Cela signifie qu'ils ne peuvent ni émettre des perturbations importantes, ni être perturbés. La preuve que les appareils répondent à cette exigence minimale est fournie par le sigle de conformité CE.

Ces exigences minimales ne constituent pas encore une garantie pour les installations particulièrement difficiles à proximité des lignes de courant ferroviaire et de courant fort. Dans de tels cas, les surtensions qui se produisent dans les câbles doivent être calculées tant sous l'aspect de la sécurité électrique que sous celui de la CEM.

ABB Industrial Systems travaille depuis longtemps selon de telles règles. Les appareils, systèmes et installations électriques et électroniques remplissent au moins les exigences stipulées légalement. Pour certains cas, ABB applique même des prescriptions encore plus sévères.

Pour cette raison, même des installations ABB anciennes respectent les exigences exprimées par les directives de CEM. ABB dispose d'une halle de mesure spéciale qui permet de procéder aux mesures correspondantes. Cette halle sert en premier lieu au contrôle des appareils, des systèmes et des installations. Si les capacités suffisent, elle est aussi à la disposition d'autres fabricants.

**Bibliographie**

- [1] Benda, S.: Automatisation de processus avec électronique résistant aux perturbations. *Revue ABB* 2/91, 33–38.
- [2] Benda, S.: Les nouvelles prescriptions CEM européennes. *Revue ABB* 2/92, 31–38.
- [3] Benda, S.: Systèmes de mise à la terre et égalisation de tension dans les grandes installations. *Revue ABB* 5/94, 22–29.
- [4] Benda, S.: Normes internationales de la compatibilité électromagnétique – traitement et expériences acquises. *Revue ABB* 5/95, 36–42.
- [5] Benda, S.: Mise à la terre et blindage des circuits de commande de procédés et de communication. *Revue ABB* 10/95, 31–38.
- [6] Benda, S.: *Interference-free electronics*. ISBN 91-44-3141-9/0-86238-255-6. ABB-Report Nr. 3BSE 00087 R0001.

**Adresse de l'auteur**

Prof. Dr Sten Benda  
 ABB Industrial Systems AB  
 S-72167 Västerås/Suède  
 Téléfax: +46 (0) 21 143 143