

M. PÉTARD
Elektricité de France
Direction de la production et du transport

LES PROTECTIONS ET L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE I. GENERALITÉS

Les BESOINS en matière de protection des réseaux d'interconnexion à haute tension ont évolué de manière continue au cours des 20 dernières années.

C'est ainsi que le développement en densité des réseaux a accru les puissances maximales de court-circuit au point de contraindre souvent à leur apporter une limitation par le biais de la superposition de réseaux de tensions différentes (insertion d'impédances de transformateurs) ou de schémas d'exploitation partiellement "débouclés" (insertion d'impédances de lignes).

Dans le même temps la recherche de la réduction des investissements a conduit à exploiter les lignes au plus près de leurs limites thermiques (lignes courtes) ou de stabilité (lignes longues). Il en résulte que, dans certaines conditions de production, on recherche la pleine utilisation simultanée de toutes les lignes d'une région en constituant des schémas particuliers comportant des "antennes" de production débouclées des mailles d'interconnexion voisines. On évite, par ce moyen, la surcharge permanente de certaines liaisons de moindre impédance ainsi que des reports de charge intolérables en cas de déclenchement inopiné d'une des lignes de la région considérée.

Il en résulte alors le maintien, sur les antennes ainsi constituées et pendant la durée de leur utilisation, de puissances de court-circuit momentanément réduites qui impliquent, en raison de

la condition précédente, une "dynamique" de court-circuit (rapport de la valeur maximale possible du courant de court-circuit à la valeur minimale qu'il peut prendre en cas de constitution d'une antenne) qui peut atteindre et même dépasser la valeur 100. En cas de court-circuit sur une telle antenne, le courant apporté au défaut par une extrémité peut être de 5 à 10 fois plus grand que celui qui provient de l'autre extrémité. Il en résulte des difficultés supplémentaires pour la protection, dont non seulement la "dynamique" doit être élevée mais dont aussi la sensibilité aux faibles courants et aux faibles tensions de défaut doit être aussi grande que possible. La résistance du défaut, vue par l'extrémité faiblement alimentée, devient considérable et prend, en apparence pour la protection, une composante réactive importante.

Cette évolution des conditions, imposées à la protection par les réseaux eux-mêmes, a maintenant dépassé les possibilités des équipements électromécaniques de protection principale. Il a fallu depuis longtemps déjà les doubler par des équipements complémentaires plus sensibles mais moins intelligents (protections basées uniquement sur les composantes homopolaires, par exemple) et moins rapides ou moins sélectifs.

Heureusement, dans le même temps, le développement explosif des applications des semi-conducteurs laisse entrevoir des POSSIBILITES nouvelles capables, espère-t-on, de répondre élégamment aux nécessités signalées précédemment. En contrepartie, les équipements correspondants, par les faibles tensions et les très faibles courants qu'ils mettent en jeu, ainsi que par l'échelle des temps d'actions qui leur est propre (et qui est très petite par rapport à celle des phénomènes "utiles" des réseaux à 50 Hz) sont très sensibles à l'ENVIRONNEMENT. La possibilité de leur emploi industriel impose donc la prise préalable de toutes les dispositions propres à éviter leur destruction ou leur comportement incorrect sous l'action de contraintes extérieures distinctes des sollicitations pour lesquelles ils sont établis.

Une exigence analogue existe même en ce qui concerne les équipements ou les composants électromécaniques destinés à subsister dans les équipements de protection ou d'automatismes de manoeuvre. La miniaturisation de ces composants accroît en effet considérablement leur rapidité de réponse (1 à 6 millisecondes au lieu de 20 à 40 millisecondes). Elle permet leur insertion dans les équipements de protection statiques, pour créer des séparations galvaniques entre circuits, sans pour cela allonger dans une proportion importante la durée d'élimination des défauts. Cette miniaturisation permet aussi la constitution d'automatismes de manoeuvre plus élaborés que précédemment. Alors que les composants électromécaniques classiques tenaient aisément une épreuve diélectrique de 2 ou 2,5 kV pendant une minute, les composants miniaturisés ne peuvent subir qu'une épreuve à 500 V, ce qui impose aussi la prise de précautions particulières contre l'environnement dans les postes électriques où ils sont installés.

Dans l'analyse des conditions d'environnement sur lesquelles il est nécessaire d'agir, nous citerons successivement:

- les tensions perturbatrices dans les fileries de liaison extérieures aux équipements
- les questions se rapportent aux sources auxiliaires d'électricité
- les problèmes concernant les mesures analogiques
- les conditions d'échange rapide d'informations logiques entre équipements
- quelques principes à considérer dans l'organisation générale des équipements.

Pour chacun de ces sujets, nous examinerons:

- les causes et le déroulement des perturbations à craindre
- les palliatifs de toute nature susceptibles d'être utilisés
- dans certains cas les mesures générales d'organisation souhaitables.

CHAPITRE II. PERTURBATIONS DANS LES FILERIES A BASSE TENSION DES POSTES ELECTRIQUES

Ces perturbations sont dues au voisinage, sur le même terrain (de plus en plus étendu au fur et à mesure que croît la tension d'exploitation des réseaux d'énergie), de conducteurs à très haute tension avec des fileries d'information et de commande. Elles consistent essentiellement:

- en l'apparition de tensions parasites à 50 Hz, très faibles en exploitation normales mais susceptibles d'être gênantes en cas de défaut dans le réseau à THT¹⁾
- en la production de trains multiples de tensions alternatives amorties, de courte durée mais de valeur de crête importante, au moment de manoeuvres de disjoncteurs ou de sectionneurs à THT dans le poste considéré.

1 - TENSIONS PARASITES A 50 Hz:

Elles ont pour CAUSES principales:

- a) Le déséquilibre, en un point quelconque, des champs électrique et magnétique dû au grand écartement des conducteurs des circuits triphasés aériens à très haute tension. Mesurable même lorsque le courant est équilibré, il devient sensible en cas de défaut à la terre dans le réseau d'énergie.
- b) Certaines mailles du circuit de terre des postes sont parfois le siège, de courants induits atteignant au moins 50 ampères en exploitation courante. Ces courants peuvent provoquer des inductions sensibles dans des câbles de contrôle voisins d'un côté de ces mailles.
- c) Pendant la durée d'un défaut à la terre dans le réseau à THT (ainsi que, dans une moindre mesure, pendant la durée d'un cycle de réenclenchement automatique monophasé), l'écoulement

¹⁾ THT - très haute tension.

au moins partiel du courant de défaut par la connexion de neutre des transformateurs peut produire des courants dans le circuit de terre du poste. Ce circuit cesse alors d'être équipotentiel en raison de sa réactance propre et, dans des postes de grande surface, on a constaté jusqu'à 500 volts entre un point de ce circuit situé sous les barres à 225 kV et un autre point distant de 400 mètres environ et situé sous les barres à 380 kV. Le courant de défaut dépassait toutefois 20 kA.

Ces variations du potentiel de la terre entre les différents points du poste font apparaître, en un point donné, une tension de mode commun entre les conducteurs d'un même circuit et la terre locale. Cette tension peut être différente en ce point pour deux circuits alimentés par des sources comportant une liaison à la terre en des endroits distincts du poste considéré.

- d) L'épanouissement, inévitable à leur lieu de connexion aux réducteurs de tension des trois phases, des circuits de mesure de tension crée une boucle (MNP hachurée sur la figure 1) de couplage inductif avec les circuits à THT. Une disposition appropriée, sur le terrain, permet de réduire la surface de cette boucle.

Toutefois, en cas de défaut THT à la terre, le courant de défaut susceptible de s'écouler par le circuit de terre (dessiné en trait gras sur la figure 1) produit une chute de tension dans la partie commune MN avec le circuit de mesure de tension. La tension parasite correspondante, dans celui-ci, peut atteindre une valeur de l'ordre de un volt en cas de défaut THT violent. Elle agit comme une tension de mode différentiel entre les conducteurs du même circuit de mesure.

Les PALLIATIFS propres à réduire ces tensions parasites à 50 Hz sont de mise en oeuvre facile en général. Les principaux sont:

- e) La multiplication des points de terre interconnectés par le circuit maillé de terre du poste qui procurent une meilleure équipotentialité de la surface du poste. Cet effet est accru par la multiplication des liaisons de terre écartées les unes des autres, en forme de grille, afin de réduire la réactance qu'elles présentent à 50 Hz.

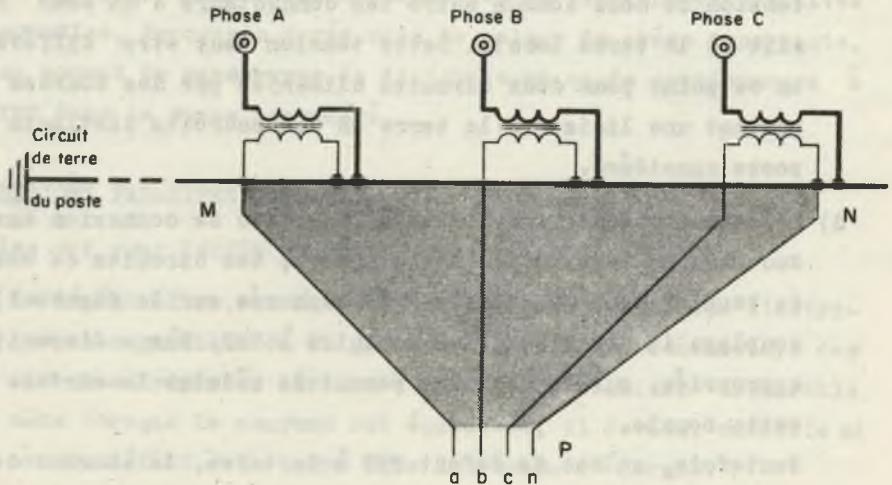


Figure 1. Connexion des transformateurs de tension

- f) La réunion dans un même câble (si possible muni d'un écran) de tous les conducteurs aller et retour d'un même circuit (en évitant autant que possible les surfaces d'épanouissement horizontales telles que celle qui est hachurée à la figure 1) permet de réduire notablement les tensions parasites de mode différentiel.
- g) Pour les circuits à courant faible (moins de 50 mA par exemple), il pourra être nécessaire d'utiliser dans le même but,

des câbles spéciaux, soit du type téléphonique (à paires torsadées) soit même des câbles coaxiaux.

h) On assurera un isolement suffisant, par rapport à la terre, des circuits et des composants de mesure ou d'automatisme ainsi que de leurs supports ou "masses", lorsqu'il n'existe pas une connexion spéciale (en un seul point du poste pour chacun des circuits intéressés) entre cette masse et la terre locale.

i) Les tensions parasites, de mode différentiel, ne pouvant être totalement éliminées dans les circuits de tension, il convient d'être prudent dans l'utilisation d'équipements de mesure trop sensibles (relais directionnels). Lorsque par exemple, la tension de mesure tombe de 60 volts (valeur normale) à 2 ou 3 volts, il est prudent de connecter l'élément directionnel sur une tension plus élevée, "mémoire" de la tension préexistant à la perturbation.

2 - TENSIONS PARASITES A HAUTE FREQUENCE

La mise sous tension (ou hors tension) brusque d'une ligne d'énergie (aérienne ou souterraine), d'un transformateur, ou même seulement d'une partie de jeu de barres, s'accompagne de phénomènes transitoires susceptibles de se répéter, voire de s'amplifier, lorsque l'appareil de coupure utilisé est le siège de réamorçages (comme c'est toujours le cas avec un sectionneur et parfois le cas avec un disjoncteur).

La CAUSE en est l'excitation par choc du circuit oscillant à constantes réparties comprenant, pour chaque phase du circuit considéré, la réactance des conducteurs et les capacités mises en jeu. Il s'agit en fait, de la résonance de circuits oscillants à grand coefficient de surtension (en raison de la faible résistance des conducteurs et surtout des barres des postes) à laquelle se superposent des réflexions d'ondes progressives sur les extrémités et sur les discontinuités d'impédance.

Les transformateurs de puissance et de mesure (les transformateurs de courant par leur capacité à la terre, et surtout les réducteurs de tension, qu'ils soient du type inductif ou des diviseurs capacitifs) écoulent alors à la terre des courants transitoires dont il est facile de mesurer l'amplitude (800 à 1000 A en valeur de crête dans la connexion de mise à la terre d'un diviseur de tension capacitif lors de la mise sous tension à vide d'un tronçon de jeu de barres aérien, 1500 A lors de la mise sous tension d'un tronçon de barres d'un poste blindé à 225 kV). Il s'agit en réalité de courants alternatifs amortis dont la fréquence principale varie de 100 KHz à plusieurs MHz (jusqu'à 15 MHz constatés dans un poste blindé à 225 kV) et dont la durée est de l'ordre de 20 microsecondes ($20 \mu s$).

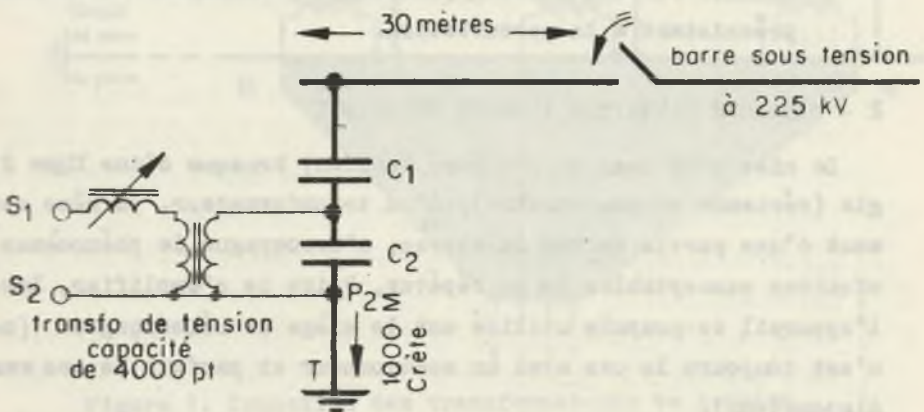


Figure 2. Mise sous tension d'un tronçon de jeu de barres

Ils produisent une élévation locale du potentiel de terre qui peut dépasser 15 kV par rapport à une terre "lointaine" (située, par exemple à 30 mètres) en raison de la haute fréquence du courant. La connexion P_2T de la figure 2 est aussi, à ce moment, le siège d'une chute de tension susceptible d'atteindre 2 à 3 kV lorsqu'elle est constituée d'un feuilard plat de cuivre de 2,50 m de

hauteur. Dans un cas où la connexion du condensateur C_2 au point P_2 était légèrement inductive, on a même constaté une tension parasite transversale de plusieurs centaines de volts entre S_1 et S_2 .

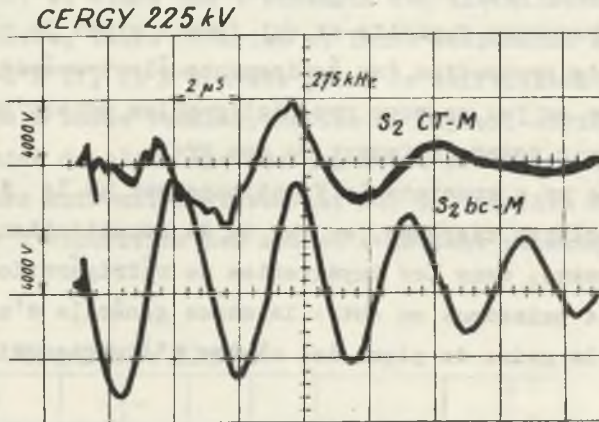


Figure 3. Tensions parasites entre un conducteur de contrôle et la terre, mesurées au pied d'un réducteur de tension capacitif - dans un circuit secondaire du réducteur de tension S_2 CT-M - dans un circuit de source auxiliaire éloignée

Si des précautions spéciales ne sont pas adoptées, ces tensions se retrouvent intégralement dans les fileries à basse tension de commande ou d'information du poste ainsi que dans les circuits auxiliaires à courant alternatif ou continu (commande des sectionneurs ou chauffage des équipements extérieurs, par exemple). En outre il s'y superpose les oscillations propres du circuit à basse tension considéré. La figure 3 montre un enregistrement effectué au pied d'un diviseur de tension capacitif relié à un câble à isolement plastique, dépourvu de gaine métallique¹⁾. Il en est résulté des comportements incorrects d'équipement à semi-conducteurs (capteurs de télémesures en particulier) ainsi que des destructions de

¹⁾ Ces valeurs de crête sont pratiquement conservées à l'arrivée au bâtiment de relaying.

semi-conducteurs et de relais reliés tant aux circuits des transformateurs de tension qu'aux circuits auxiliaires à courant continu, ainsi que des claquages de moteurs de commande de sectionneurs ou à l'intérieur d'armoires de contacteurs de réfrigération ou de commande de changement de prises de transformateurs de puissance. Parfois, ce sont les bornes de raccordement de la filerie qui sont le siège d'amorçages fugitifs et qui jouent ainsi le rôle imprévu d'éclateurs de protection des équipements électromécaniques. Les énergies mises en jeu ne sont pas négligeables puisqu'on a constaté des perlures aux points d'impact de ces arcs.

De même on a constaté le fonctionnement et la détérioration de joints isolants disposés, en vue de la constitution d'une protection de masse, dans les tuyauteries de réfrigérations de transformateurs de puissance ou entre la masse générale d'un poste blindé à THT et la gaine de plomb des câbles d'énergie qui lui sont raccordés.

La REDUCTION, indispensable, de ces perturbations ne peut pas être obtenue économiquement en agissant sur le phénomène primaire qui en est la cause. L'insertion d'une réactance dans les circuits oscillants ne ferait que changer leur fréquence propre. L'insertion de résistances en série dans les circuits de puissance ne peut être permanente. Pratiquée dans certains disjoncteurs pour réduire les surtensions de coupure, elle ne l'est généralement pas à leur fermeture, et elle alourdirait beaucoup, physiquement et économiquement, la construction des sectionneurs. Placée en série dans la connexion primaire des transformateurs de tension, elle réduirait leur précision. On cherche donc à s'accommoder du phénomène primaire (courant intense à fréquence élevée) en réduisant, par tous les moyens possibles:

- l'élévation locale du potentiel de terre, au pied ou sur le socle des transformateurs de puissance et sur les éléments métalliques voisins (charpentes, coffrets de commande ou de capteurs d'informations) afin d'éviter les amorçages locaux avec des composants reliés à des sources éloignées

- les surtensions de modes commun et différentiel qu'il engendre dans les fileries à basse tension
- les surtensions qui subsistent, au bâtiment de relage, à l'entrée dans les équipements de protection ou d'automatisme.

Avant d'examiner ces moyens, il convient de remarquer que, avant les années 1950, et alors que l'ensemble des installations à basse tension des postes, leurs fileries et leurs composants étaient isolés largement à 2 kV, il n'y avait guère de difficultés. C'est que tous les câbles à basse tension, isolés au papier, étaient recouverts d'une gaine de plomb épaisse qui était pratiquement mise à la terre à leurs extrémités et souvent sur la totalité de leur longueur¹⁾. C'est l'apparition des câbles à isolant plastique dépour-

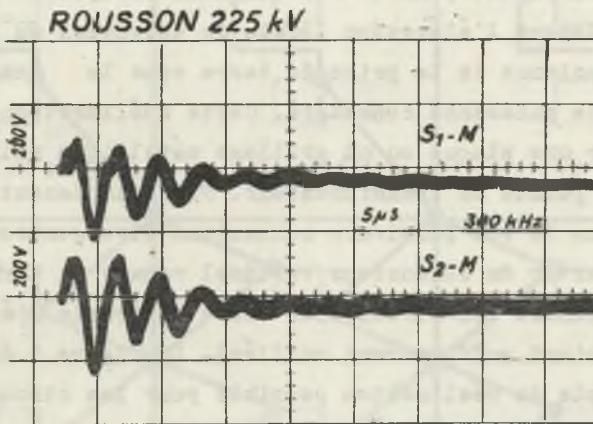


Figure 4. Tensions parasites entre conducteurs d'un circuit de tension et terre mesurées au bâtiment de relage

(câbles sous gaine de plomb mise à la terre à ses extrémités)

¹⁾ Dans des postes anciens à 225 kV équipés de câbles sous plomb les surtensions, mesurées au moment de manoeuvres dans les barres à haute tension, ne dépassaient pas 200 volts en mode commun et 20 volts en mode différentiel (Figure 4). Ces mesures montrent que, au moins dans les salles de relage de tels postes, des composants isolés à 500 V pourraient être utilisés.

vus de gaine métallique, et la généralisation de leur emploi¹⁾ qui ont mis en évidence les courants transitoires et les surtensions violentes engendrés par les manoeuvres.

Les PALLIATIFS portent sur l'ensemble de la filerie: constitution des câbles, mode de raccordement, disposition sur le terrain, ... etc, ainsi que sur la constitution et la disposition du circuit de terre au voisinage des transformateurs de puissance et de mesure.

a) La réduction de la réactance des circuits d'écoulement à la terre:

La réactance des conducteurs du circuit de terre d'un poste électrique est importante pour les courants à haute fréquence. Efficace pour l'écoulement des courants de défaut à 50 Hz, ce circuit est en général insuffisant pour le cas qui nous occupe. On peut réduire considérablement l'élévation locale du potentiel du sol en diminuant la réactance de la prise de terre sous le transformateur de mesure ou de puissance considéré. Cette amélioration peut consister à enfouir une plaque ou un grillage métallique relié en plusieurs de ses points au transformateur. Plus simplement, on peut tirer sur ou dans le sol plusieurs connexions divergentes (en pied de poule) à partir du conducteur vertical venant du transformateur et allant rejoindre les circuits de terre habituels (à condition que ceux-ci soient suffisamment maillés). La figure 5 donne (vu en plan) un exemple de réalisation possible pour les circuits de terre d'un départ de ligne à très haute tension.

De même, il y a intérêt à réduire la chute de tension dans la connexion verticale de liaison du socle ou de la cuve des transformateurs.

Pour les réducteurs de mesure (connexion P_2T sur la figure 2) il convient de faire écouler le courant par les 4 membrures métalli-

¹⁾Ces câbles sont moins coûteux, leur pose peut s'exécuter avec des rayons de courbure plus faibles et ils ne nécessitent pas de boîtes d'extrémité spéciales.

ques de la chaise qui porte l'appareil. La nature du métal a peu d'importance mais l'écartement des membrures diminue leur mutuelle inductance et réduit considérablement la chute de tension entre le socle du réducteur et le sol.

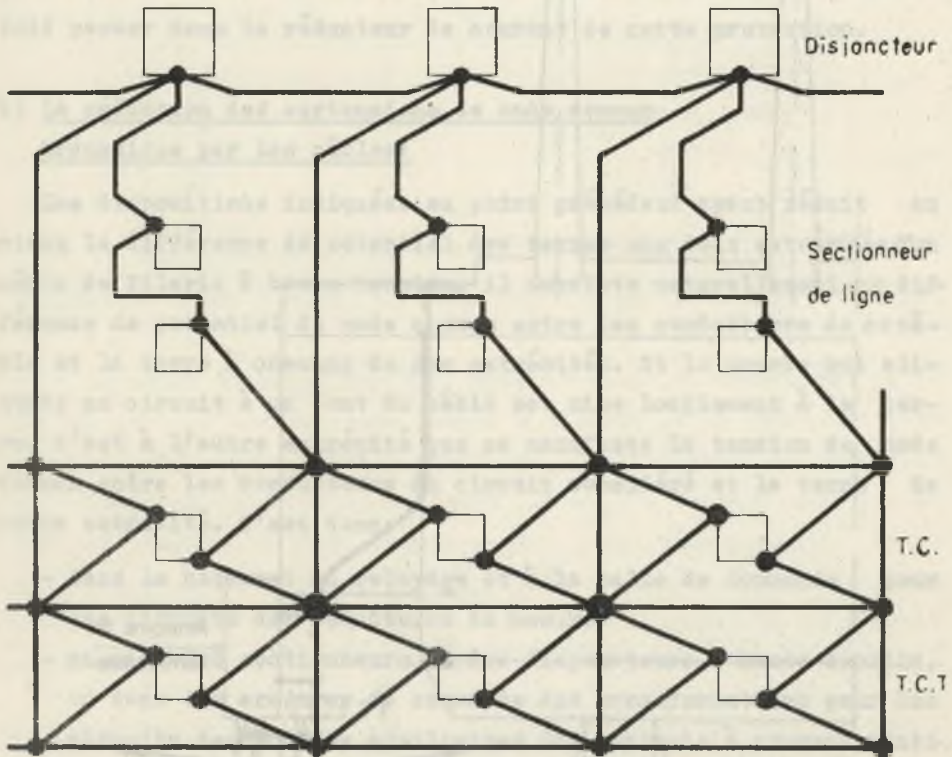
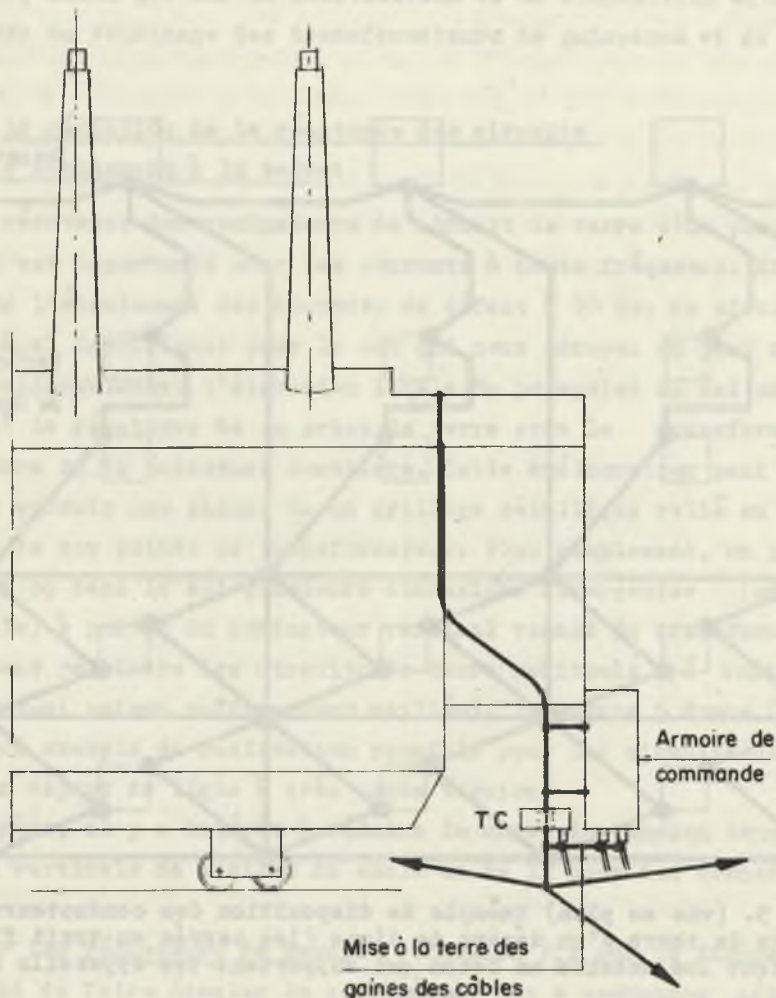


Figure 5. (vue en plan) Exemple de disposition des conducteurs des circuits de terre d'un départ de ligne (les carrés en trait fin représentent les massifs en béton qui supportent les appareils désignés)

On notera que les connexions doivent être excellentes, tant entre le socle du réducteur et sa chaise-support qu'entre celle-ci et les câbles du circuit de terre ainsi qu'entre ceux-ci (connexions brasées).

Dans le cas transformateurs de puissance, le courant parasite à haute fréquence s'écoule des connexions à haute tension vers le sol, principalement en passant par la capacité des bornes de traversée de la cuve et par celle des bobinages puis par la cuve elle-même.



Dispositif de mise à la terre de la cuve d'un transformateur de puissance

Figure 6. Dispositif de mise à la terre de la cuve d'un transformateur de puissance

Il convient donc de relier la cuve au sol par un conducteur aussi court que possible, avec épanouissement horizontal "en pied de poule" dans le sol pour rejoindre les circuits de terre (figure 6).

Grâce à une telle disposition, les tensions mesurées dans la filerie ont été divisées par 5 sur bon nombre de transformateurs de puissance.

Bien entendu, dans le cas où le transformateur est équipé d'une protection de masse de sa cuve, la connexion de mise à la terre doit passer dans le réducteur de courant de cette protection.

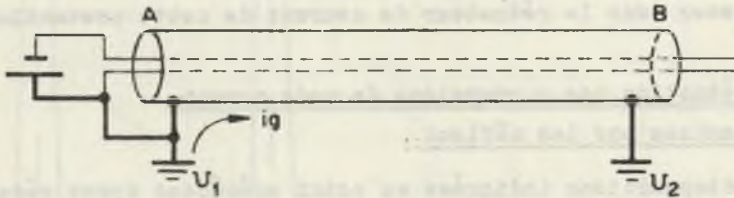
b) La réduction des surtensions de mode commun transmises par les câbles:

Les dispositions indiquées au point précédent ayant réduit au mieux la différence de potentiel des terres aux deux extrémités d'un câble de filerie à basse tension, il subsiste naturellement une différence de potentiel de mode commun entre les conducteurs de ce câble et la terre à chacune de ses extrémités. Si la source qui alimente un circuit à un bout du câble est mise localement à la terre, c'est à l'autre extrémité que se manifeste la tension de mode commun entre les conducteurs du circuit considéré et la terre de cette extrémité. C'est donc:

- dans le bâtiment de relayage et à la salle de commande pour les circuits des réducteurs de mesure
- au pied des sectionneurs et des disjoncteurs à haute tension, ou dans les armoires de commande des transformateurs pour les circuits des sources auxiliaires (de batterie à courant continu, ou de source auxiliaire à courant alternatif). La contrainte correspondante s'applique donc, dans ce cas, aux capteurs de fin de course des appareils, aux moteurs de commande et aux résistances de chauffage des armoires.

- Mise à la terre des gaines des câbles

On peut réduire très fortement cette différence de potentiel de mode commun en utilisant des câbles munis d'une gaine métallique reliée à la terre à ses deux extrémités. En effet, dans ce cas, (figure 7) la différence $U_1 - U_2$ des potentiels de terre aux extrémités engendre un courant i_g dans la gaine.



Mise à la terre d'une gaine de câble à ses 2 extrémités

Figure 7. Mise à la terre d'une gaine de câble à ses 2 extrémités

Si la résistance de celle-ci peut être négligée, la chute de tension inductive qu'il produit s'oppose exactement à $U_1 - U_2$. En même temps, ce courant induit une force électromotrice longitudinale égale, donc opposée à $U_1 - U_2$, dans les conducteurs du circuit interne¹⁾. Elle annule, en B (comme tout le long du câble), la tension entre conducteurs et gaine qui est due à la variation du potentiel de la terre. Bien entendu, si la gaine du câble était mise à la terre à une seule de ses extrémités, le courant i_g serait nul et la compensation ne se ferait pas.

Le diagramme de la figure 8 (B) montre l'évolution du potentiel des conducteurs du circuit secondaire d'un transformateur de mesure. Pour compenser correctement la tension de mode commun entre ces conducteurs et la terre, il est indispensable que la mise à la masse de la gaine du câble de contrôle soit effectuée au point P, c'est-à-dire au départ même de la boîte à bornes du réducteur, et non pas

¹⁾ La gaine et chacun des conducteurs se comportent à peu près comme un circuit coaxial avec mutuelle inductance sensiblement égale à l'unité entre la gaine et les conducteurs internes.

au point T situé au niveau du sol (figure 8A) car, dans ce cas la chute de tension PT (figure 8B) ne serait pas compensée et se retrouverait entre les conducteurs et la terre au bâtiment de relaiage¹⁾.

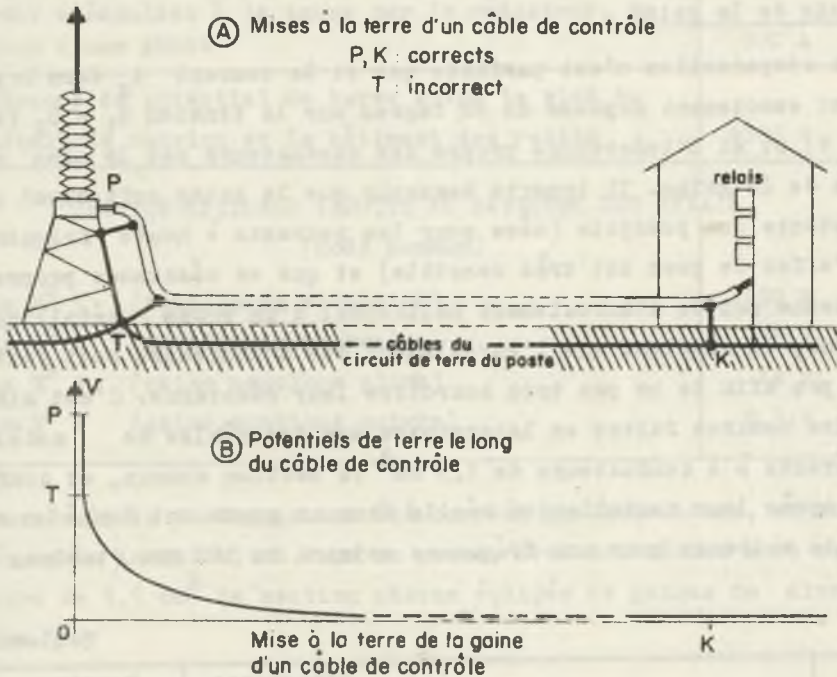


Figure 8. Mise à la terre de la gaine d'un câble de contrôle

Au contraire, dans ce bâtiment, le choix du point K a beaucoup moins d'importance car la variation du potentiel de terre y est quasiment nulle du fait de son éloignement du point d'injection du courant parasite dans le sol.

¹⁾ Il convient de procéder de la même façon sur les transformateurs de puissance: sur la figure 6, la mise à la terre des gaines de câbles est effectuée juste sous l'armoire de commande.

Bien évidemment, ces dispositions ne sont efficaces, et ne restent valables au cours du temps, que si les contacts de liaison de la gaine au circuit de terre sont excellents et le restent (soudures ou brasures sur le câble de terre, soudure ou joints soignés sur la gaine).

- Choix de la gaine -

La compensation n'est parfaite que si le courant i dans la gaine est exactement déphasé de 90 degrés sur la tension $U_1 - U_2$ (figure 7) et si l'inductance propre des conducteurs est la même que celle de la gaine. Il importe beaucoup que la gaine soit aussi peu résistante que possible (même pour les courants à haute fréquence où l'effet de peau est très sensible) et que sa réactance propre ne provienne pas de l'enroulement hélicoïdal d'un ruban métallique. De même, il convient que l'enroulement des conducteurs soit fait à long pas afin de ne pas trop accroître leur réactance. C'est ainsi que des mesures faites en laboratoire sur des câbles de modèles différents à 4 conducteurs de $1,5 \text{ mm}^2$ de section chacun, et confirmées après leur installation réelle dans un poste ont donné les résultats suivants pour une fréquence voisine de 310 KHZ (tableau I)

Tableau I

N° câble	Type de gaine	Résistance en courant continu m Ω /mètre	Tension induite mV/A par mètre à 310 KHZ
1	2 feuillets aluminium: (épaisseur 20/100 mm largeur 20 mm)	3,8	37,7
2	2 feuillets cuivre: (épaisseur 10/100 mm largeur 25 mm)	3,4	5,2
3	Gaine continue plomb: épaisseur 1,5 mm	4,1	1,1
4	Gaine continue ondulée cuivre: épaisseur 0,4 mm	1,2	0,38

C'est ainsi que, grâce aux dispositions préconisées, on a pu mesurer dans un poste à 225 kV les grandeurs suivantes pendant la fermeture d'un sectionneur mettant sous tension à vide un élément du jeu de barres (tableau II):

Tableau II

Fréquence principale du phénomène	200 KHz
Courant s'écoulant à la terre par le réducteur de tension d'une phase	900 A
Différence de potentiel de terre entre le pied du réducteur de tension et le bâtiment des relais	4000 V
TENSION MAXIMALE INDUITE AU BATIMENT DES RELAIS (mode commun)	
Câble N° 1 (feuilards aluminium)	280 V
Câble N° 2 (feuilards cuivre)	30 V
Câble N° 3 (gaine continue plomb)	14 V
Câble N° 4 (gaine continue cuivre)	8,5 V

Des résultats analogues ont été trouvés en laboratoire, et confirmés après installation dans un poste, avec des câbles à 19 conducteurs de $1,5 \text{ mm}^2$ de section chacun équipés de gaines de divers modèles.

- Disposition correcte des câbles à basse tension de contrôle

Il a déjà été indiqué que la mise à la terre des gaines de câbles doit être faite à leurs extrémités (en P et K sur l'exemple de la figure 8a et non pas en T et K). Il en découle que, si un câble est sectionné sur son parcours (par exemple pour entrer en coupure dans un coffret de regroupement de fileries), il convient d'assurer la continuité des gaines entre les tronçons successifs de câbles. En outre, leur mise à la terre dans le coffret de sectionnement lui-même n'a pas d'inconvénient, au contraire.

Par ailleurs, il est souhaitable de réduire au maximum la distance entre les câbles de contrôle et les conducteurs du circuit de terre du poste. Cette précaution est encore plus utile entre les points P et T de la figure (8a). Dans ce cas, on a intérêt à réduire la chute de tension PT en reliant électriquement par un bon contact le socle du transformateur de mesure à son support (outre le conducteur normal de descente au sol) et à placer les câbles de contrôle le long (et si possible à l'intérieur) du montant PT du support.

Bien entendu, dans la mesure du possible, il est souhaitable de disposer les câbles de contrôle perpendiculairement aux jeux de barres et aux connexions à haute tension situées à faible hauteur au-dessus du sol.

c) La réduction des surtensions de mode différentiel transmises par les câbles:

Ces surtensions, qui peuvent agir comme un signal et produire, sinon des destructions du moins des comportements incorrects des équipements terminaux (relayages statiques principalement), peuvent être réduites par des dispositions appropriées:

- en réalisant la symétrie des circuits dans les câbles: conducteurs torsadés (à long pas d'enroulement comme déjà indiqué précédemment), conducteurs d'aller et de retour d'un même circuit situés obligatoirement dans le même câble,
- en réalisant cette symétrie dans les sources, surtout quand celles-ci sont situées en milieu perturbé (transformateurs de mesure, par exemple). On peut ainsi chercher à relier à la terre le point milieu de la source et faire en sorte que le couplage inductif, capacitif et résistif des conducteurs avec la perturbation soit aussi identique que possible (conducteurs internes aux appareils disposés de la même façon et ayant la même longueur),

- quand cela est nécessaire, en profitant de la grande différence de fréquence entre les signaux utiles et les tensions parasites pour disposer en dérivation entre les conducteurs, un condensateur de capacité appropriée,
- en installant, quand c'est possible, les batteries d'accumulateurs aussi près que possible des relayages statiques qu'elles alimentent. La capacité entre leurs plaques constitue en effet un excellent condensateur (en dérivation) de filtrage des parasites.
- Remarque: Il convient d'être prudent dans l'emploi des filtres à l'entrée des équipements statiques. D'une part, la détérioration de l'un d'eux ne peut pratiquement pas être signalée avant qu'elle n'ait eu des conséquences néfastes sur l'équipement lui-même ou sur le comportement de celui-ci. D'autre part, la multiplication des filtres en dérivation (avec liaison à la terre de chacun d'eux) risque de produire de la diaphonie entre circuits ou des retours imprévus de courants ou de tensions.

d) Choix de la puissance des signaux transmis:

Si petites que soient l'amplitude ou la puissance des signaux nécessaires aux équipements alimentés ou commandés (notamment dans les liaisons avec les équipements électroniques), la puissance des signaux transmis dans les câbles doit rester grande par rapport à celle des signaux parasites qui les affectent. C'est la raison pour laquelle il convient de réduire au maximum les actions parasites sur les circuits d'information et de commande. Malgré toutes les dispositions prises il peut être nécessaire, dans certains cas, d'accroître la puissance transmise dans ces circuits, quitte à la dissiper, à l'extrémité réceptrice, dans des résistances passives.

CHAPITRE III - SOURCES AUXILIAIRES D'ELECTRICITÉ

L'énergie nécessaire aux organes de manoeuvre et de contrôle des postes d'interconnexion et de distribution est fournie par des sources pneumatiques, hydrauliques et électriques. Le caractère local de ces sources et les réserves d'énergie qu'elles comportent assurent la permanence de leur disponibilité, en particulier pendant les perturbations du réseau électrique général. C'est surtout à ce moment, en effet, que le comportement normal des équipements de protection et des automatismes est indispensable à la sécurité des installations ainsi qu'au maintien ou au rétablissement rapide de la continuité du service. Nous ne traiterons ici que des sources auxiliaires électriques, en tant que parties constitutantes de l'environnement des équipements précités.

1 - FONCTIONS:

Les sources auxiliaires d'électricité sont destinées à fournir l'énergie nécessaire aux trois fonctions générales suivantes:

- a) animation des équipements de captation des informations logiques (telles que fins de course d'appareils de manoeuvre ou seuils préétablis de grandeurs variables), des équipements de traitement de ces informations (donc de protection et d'automatisme) et des actionneurs de manoeuvre (moteurs, contacteurs) ou de signalisation,
- b) constitution des signaux utilisés pour transporter les informations ou les ordres d'asservissements d'un équipement à un autre,
- c) constitution des réserves d'énergie pneumatique ou hydraulique nécessaires
- d) fourniture, en exploitation normale, de l'énergie nécessaire aux manoeuvres ou aux fonctions qui ne présentent pas de caractère vital ou d'urgence absolue.

Nous nous bornerons, dans ce qui suit, à traiter des sources utilisées pour les fonctions (a) et (b).

2 - PARTICULARITES FONCTIONNELLES:

Du point de vue de leur influence sur les équipements qui nous intéressent, nous retenons six particularités importantes pour la source auxiliaire:

a - Permanence de la source:

L'alimentation des circuits reliés à la source doit être assurée même en cas de disparition de la tension, tant dans le réseau d'interconnexion que sur les lignes de distribution auxquelles est relié le poste considéré.

En particulier dans le cas d'utilisation d'équipements statiques à action rapide, la continuité d'alimentation ne doit comporter aucune coupure, de durée supérieure aux quelques millisecondes nécessaires à l'élimination d'un court-circuit éventuellement apparu sur un circuit dérivé. En effet, c'est seulement pour une interruption d'une dizaine de millisecondes au maximum qu'on peut exiger qu'un équipement électronique ne manifeste aucun comportement de nature ou de retard indésirables.

En conséquence, on utilise actuellement en général des batteries d'accumulateurs constituant une réserve de 1 à 3 heures de consommation en exploitation normale avec, en outre la possibilité de déclencher au moins 2 fois les disjoncteurs du réseau pendant cette durée. Cette réserve peut être réduite dans certains cas, en particulier quand on dispose localement de générateurs électromécaniques suffisamment sûrs.

b - Variations de tension admissibles:

Les variations de tension admissibles, par rapport à la tension nominale des équipements, sont:

- + 10 et - 20 pour cent pour les relais utilisés dans les protections et dans les automatismes des postes à haute tension

+ 10 et - 15 pour cent pour les contacteurs et le reste de l'appareillage à basse tension.

Pour tenir compte des chutes de tension dans les circuits de liaison entre les équipements et la batterie, il convient de limiter, pour celle-ci, les variations de tension à :

+ 10 pour cent de la valeur nominale commune, soit + 10 pour cent en fin de charge et - 10 pour cent après une décharge dans les conditions de débit et de durée correspondant à l'utilisation de la réserve désirée.

On utilise en général, dans ce but, une batterie d'accumulateurs fonctionnant en tampon¹⁾ avec un redresseur. Celui-ci assure, à la fois,

- le maintien ou le rétablissement de la charge de la batterie,
- la consommation permanente des équipements qui sont alimentés par la source considérée.

Quand le besoin se présente dans les équipements électroniques, les variations de tension ainsi définies sont réduites par des dispositifs de stabilisation appropriés.

c - Taux de composante alternative en courant continu:

La superposition d'une composante alternative, dans le courant continu, peut affecter le comportement des équipements électroniques et même détruire les condensateurs ou les semi-conducteurs. En général, pour la source d'énergie elle-même, un taux de 5 pour cent constitue une limite acceptable.

Lorsqu'un redresseur et une batterie d'accumulateurs fonctionnent en tampon, le taux de la composante alternative atteint rarement 1 pour cent. Il peut cependant exister des périodes pendant lesquelles ce taux peut être considérablement plus élevé, au point d'être dangereux pour les équipements, si les précautions indispen-

¹⁾ floating, en anglais.

sables ne sont pas prises dans la réalisation du système de régulation du redresseur:

- On ne peut pas, en général, arrêter l'utilisation d'un poste électrique pendant la durée de vérification (essai de décharge par exemple), d'entretien ou d'échange de sa batterie d'accumulateurs.
- Il peut arriver inopinément, aussi, qu'un élément de la batterie soit avarié (augmentation importante de sa résistance interne) ou même qu'une connexion soit rompue dans un élément ou entre deux éléments.

Jusqu'au rétablissement de la situation normale de la batterie, le redresseur est alors seul à alimenter les équipements. On ne bénéficie plus, pendant ce temps, du "court-circuit" que constitue normalement la faible résistance de la batterie pour la composante alternative engendrée par le redresseur. Il convient, en particulier, de s'assurer que, dans ce cas:

- la régulation de la tension redressée, au moyen d'un contrôle de phase par des thyristors, ne produit pas d'ondulation inadmissible aux faibles charges (consommation des équipements en simple état de veille),
- les condensateurs ou réactances "de lissage" de la tension redressée ne produisent pas, au moment de brusques variations de charge sur le redresseur, des surtensions dangereuses pour les équipements à semi-conducteurs.

d - Choix et disposition des sources auxiliaires d'électricité:

Le choix des caractéristiques et de l'emplacement des batteries d'accumulateurs, qui constituent les réserves d'énergie électrique du poste, est déterminé à partir des idées suivantes:

- Il convient que la vérification, l'entretien et l'échange des batteries et des redresseurs soient rendus faciles pour des

- agents ordinaires d'exploitation. On demande seulement à ceux-ci d'être capables d'intervenir à tout moment sans pour cela être des spécialistes. Dans ce but, les batteries d'accumulateurs et leurs chargeurs doivent être en nombre relativement restreint et être situés à l'extérieur des armoires contenant les équipements de relayage statique ou électromécanique.
- En cas d'accident ou de perturbation grave dans un grand poste d'interconnexion, il convient de maintenir la sécurité d'action automatique (protections, automatismes, disjoncteurs, sectionneurs à commande automatique) de chacun des sous-ensembles constitutifs du poste (départs de lignes, transformateurs ... etc) dont les éléments principaux ne sont pas hors d'état de fonctionner. On peut y parvenir en installant, le plus près possible des organes commandés, une batterie spécialisée pour un ou deux sous-ensembles, les équipements de protections et d'automatisme correspondants, et la filerie nécessaire à leur action autonome.

La Figure 9 présente un exemple de constitution d'une telle unité capable de fonctionner, avec ses protections et ses automates de réenclenchement, même si le reste du poste manque de tension auxiliaire. Les liaisons d'asservissement ou d'information qui partent du bâtiment de relayage, soit vers la salle de commande soit vers un autre bâtiment, sont séparées galvaniquement des circuits propres à la surface représentée sur la figure. Les circuits de ces liaisons sont alimentés par une autre batterie "véhiculaire" située à la salle de commande et commune, soit au poste, soit au moins aux jeux de barres fonctionnant à la même tension.

- La proximité immédiate de la batterie et des équipements qu'elle alimente réduit considérablement les risques d'inductions parasites dans les fileries à courant continu. En outre les plaques des éléments de la batterie forment naturellement des condensateurs entre les conducteurs et avec la terre loca-

le qui contribuent à l'écoulement des courants parasites à haute fréquence amenés par les conducteurs venant de l'extérieur (contacts auxiliaires des disjoncteurs à haute tension et des sectionneurs, notamment).

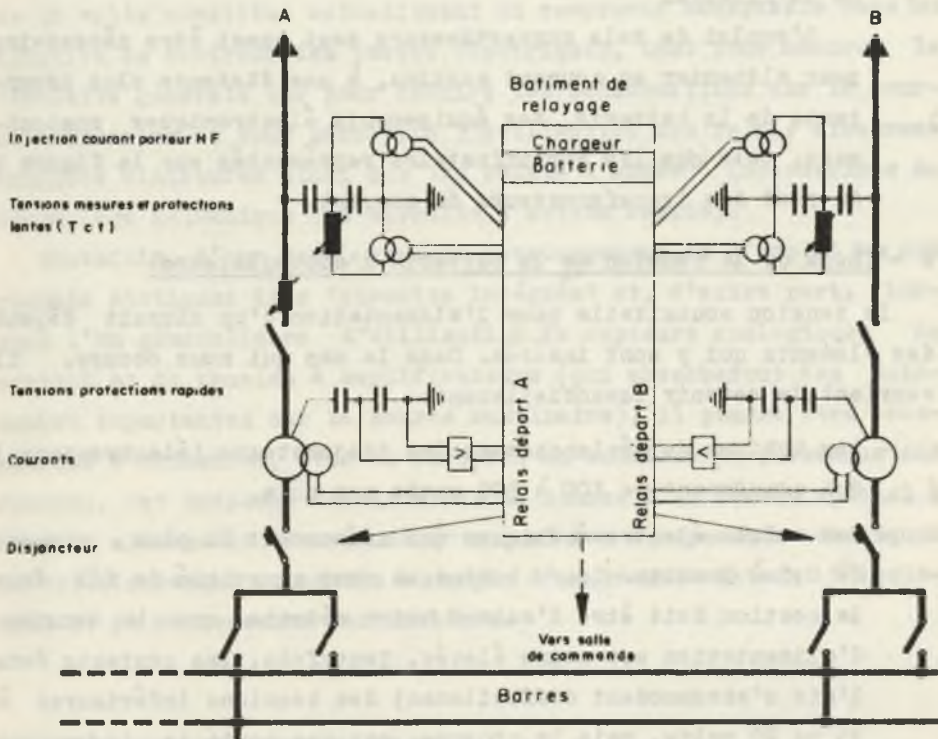


Figure 9. Exemple d'unité autonome à 2 départs de lignes

La batterie d'accumulateurs doit pouvoir alimenter directement tous les équipements qui comportent exclusivement des éléments logiques. Elle doit pouvoir aussi alimenter directement les circuits qui transportent des informations logiques entre les équipements situés dans le même bâtiment.

Par contre, il peut être nécessaire de protéger plus parfaitement encore un ensemble de circuits électroniques qui effectuent des opérations analogiques ou qui ont des points con-

muns avec des circuits analogiques. C'est ainsi qu'il peut être nécessaire d'alimenter le "cœur" de mesure d'une protection de distance par l'intermédiaire d'un convertisseur courant continu - courant continu qui assure l'isolation galvanique et le découplage capacitif de ses circuits par rapport au reste de la filerie.

L'emploi de tels convertisseurs peut aussi être nécessaire pour alimenter en courant continu, à une distance plus importante de la batterie, des équipements électroniques analogiques, tels que les amplificateurs représentés sur la figure 9 au pied des transformateurs de courant.

e - Choix de la tension de la batterie d'accumulateurs:

La tension souhaitable pour l'alimentation d'un circuit dépend des éléments qui y sont insérés. Dans le cas qui nous occupe, il convient de retenir essentiellement:

- les bobines de déclenchement des disjoncteurs (électrovannes) qui consomment de 100 à 500 watts par pôle,
- les relais électromécaniques qui consomment le plus souvent de 0,5 à 3 watts. Leurs bobinages sont constitués de fil dont la section doit être d'autant moins réduite que la tension d'alimentation est moins élevée. Toutefois, les contacts dans l'air s'accommodent difficilement des tensions inférieures à 15 ou 20 volts, mais la coupure, par ces contacts, de tensions élevées (supérieures à 50 volts) devient difficile avec les relais rapides à faible course (relais miniatures),
- les composants à semi-conducteurs fonctionnent généralement sous des tensions de 6 à 20 volts mais, pour la régulation de la tension, pour éviter les courts-circuits, ou pour créer des tensions de polarisation, on intercale souvent en série avec eux d'autres semi-conducteurs ou des résistances qui augmentent la tension totale souhaitable.

- les connexions de filerie ne s'accrochent pas des faibles tensions de fonctionnement que lorsqu'elles sont toutes soudées. Les contacts sur bornes vissées perdent de leur fiabilité avec les tensions inférieures à 30 ou 40 volts.

Pour toutes ces raisons, il apparaît que la tension de batterie de 48 volts constitue actuellement un compromis acceptable dans les circuits de contrôle des postes électriques, tant pour assurer la fiabilité générale que pour réduire les consommations sur la source auxiliaire et pour permettre l'utilisation des relais électromécaniques miniatures ainsi que les relais à ancre¹⁾ (nécessaires au découplage galvanique des circuits à action rapide).

Toutefois, d'une part, avec le développement de l'emploi des composants statiques dits "circuits intégrés" et, d'autre part, lorsque l'on généralisera l'utilisation de capteurs analogiques de courant et de tension à amplificateurs (qui absorberont des puissances importantes sur la source auxiliaire), il pourra être économique d'alimenter, avec la batterie un onduleur de puissance suffisante. Cet onduleur serait alors la source d'un réseau spécial à courant alternatif "de sécurité" auquel les équipements statiques précités seraient connectés au moyen d'un transformateur d'isolement et de redresseurs particuliers.

CHAPITRE IV - MESURES ANALOGIQUES

La détection d'un défaut survenant dans un réseau d'interconnexion, sa caractérisation par rapport à d'autres perturbations éventuelles, sa localisation nécessitent, dans les équipements de protection, la combinaison et la comparaison de grandeurs électriques images des tensions et des courants à haute tension. Il en est de même pour la vérification des conditions préalables au fonctionnement d'un automate de manoeuvre. Ces grandeurs images sont fournies

¹⁾ en anglais: reed relays.

par des capteurs (réducteurs de mesure) qui prélèvent, jusqu'à maintenant sur le réseau lui-même, l'énergie nécessaire tant à leur fonctionnement propre (courant magnétisant, par exemple) qu'à l'alimentation des équipements qui leur sont raccordés. En vue d'accroître la précision des mesures, en particulier dès le début d'un défaut ou d'une perturbation (pour les protections rapides), ainsi que pour réduire le coût des capteurs destinés aux très hautes tensions ou aux très forts courants de défaut, des matériels nouveaux sont en cours de développement. Ils comportent en général un capteur fidèle, de faible puissance, basé soit sur une division potentiométrique pure de la tension phase-terre (diviseur capacitif pur), soit sur l'utilisation d'un effet physique (électromagnétique ou magnéto-optique, par exemple). Un tel capteur doit en général être suivi d'une chaîne d'amplification qui prélève sur une source auxiliaire l'énergie nécessaire à l'alimentation des protections et des automates de manoeuvre.

1 - CAPTEURS DE TENSION:

Pour l'alimentation des appareils de mesure locaux ou éloignés (télémesures) les exigences de précision sont en général sévères, tant pour le module de la grandeur constituée que pour sa phase (par exemple 0,5 pour cent et 20 minutes d'angle de phase). Toutefois ces exigences se rapportent seulement au régime établi et dans un domaine restreint de variation (par exemple de 0,8 à 1,3 fois la valeur nominale).

Pour l'alimentation des équipements de protection, la précision requise est moins grande (par exemple 3 pour cent et 3 degrés), mais elle porte sur un domaine de variation très étendu de la grandeur mesurée (par exemple de 0,02 à 2 fois la valeur nominale). Il est nécessaire, en effet, d'assurer la qualité des mesures de distance et de direction d'un défaut, qu'il soit proche ou lointain, même lorsque la tension d'exploitation est élevée par rapport à la valeur nominale du capteur et lorsque les conducteurs des phases saines sont portées à la tension composée par rapport au sol (même

accidentellement à la suite d'une perte de la mise à la terre du point neutre du réseau).

L'alimentation, en tension de mesure, des protections rapides nécessite en outre que la précision requise soit obtenue dès les premières millisecondes qui suivent l'instant d'apparition d'un défaut ou d'une variation importante de tension (en grandeur et en phase).

a - Transformateurs de tension magnétiques (Tt)¹⁾:

Connectés entre une phase et la terre, ils ont le comportement le plus satisfaisant des appareils classiques. Dans les réseaux à très haute tension, ils peuvent toutefois manifester, aux bornes de leur circuit secondaire, quelques oscillations rapides de très courte durée. Celles-ci sont provoquées par le circuit oscillant constitué par la résistance propre du bobinage et la capacité des condensateurs de répartition interne du potentiel.

b - Diviseurs capacitifs accordés (Tct)²⁾:

Moins coûteux que les précédents pour les utilisations à très haute tension, ces appareils ont un comportement suffisant pour l'alimentation des appareils de mesure en régime établi. Toutefois leur précision varie avec la charge d'utilisation. Les variations importantes de cette charge limitent la précision obtenue.

Leur comportement, au moment d'une variation de la tension du réseau ou de leur charge secondaire est beaucoup plus critiquable et se prête mal à l'alimentation des protections rapides. En effet:

- En cas de court-circuit au primaire du Tct (sur le réseau à haute tension mais près du point de mesure), le circuit accordé secondaire restitue, pendant une vingtaine de millisecondes, l'énergie qu'il a accumulée (figure 10) faussant de façon importante toute mesure effectuée dans cette période.

1) P_t - en anglais

2) C_{vt} - en anglais.

- En cas de court-circuit dans la filerie secondaire tu Tct (ou de forte variation de la charge secondaire), un régime transitoire de longue durée se produit dans le circuit secondaire, pendant au moins une centaine de millisecondes (figure 11).

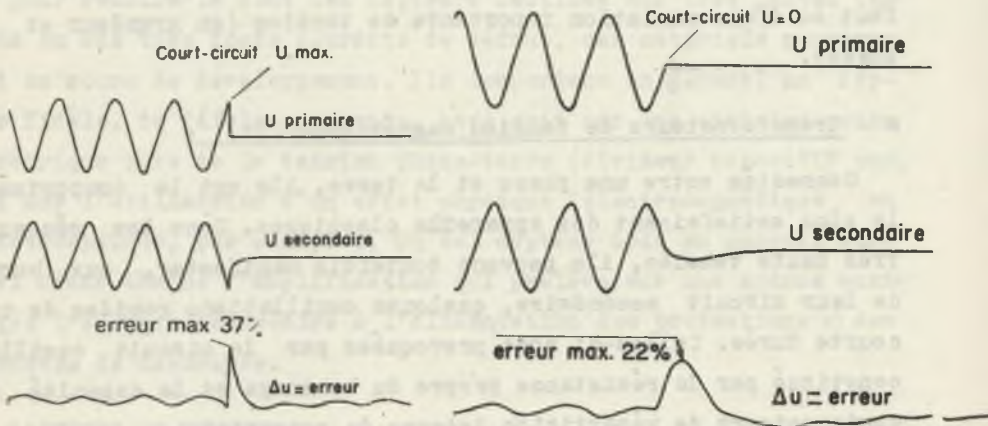


Figure 10. Erreur d'un diviseur capacitif accordé à la suite d'un court-circuit de l'enroulement primaire apparu; au moment d'un maximum de tension au moment d'un zéro de tension

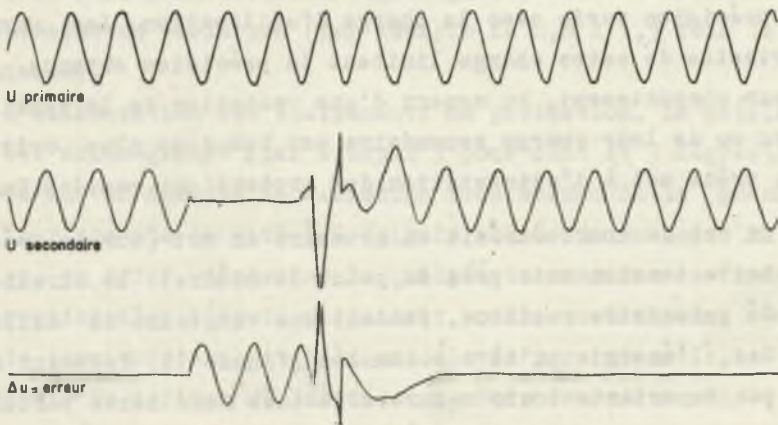


Figure 11. Erreur d'un diviseur capacitif accordé à la suite d'un court-circuit de la charge secondaire

Malheureusement, les tentatives de réduction de la durée de l'une de ces périodes perturbées conduisent en général à l'allongement de la durée de l'autre. On est ainsi contraint, dans le cas où elles sont alimentées par des Tct, à retarder le fonctionnement des protections rapides d'au moins une période (20 millisecondes) afin qu'elles ne commencent leurs mesures qu'après l'extinction du régime transitoire propre au réducteur de tension lui-même.

c - Diviseur capacitif pur avec amplification:

Capable d'être incorporé à un réducteur de courant dont il peut utiliser les capacités de répartition de potentiel (de 50 à 800 picofarads suivant la tension et la technologie utilisée) un tel équipement peut avoir une qualité de réponse très correcte, même en régime transitoire, si l'amplificateur est convenablement réalisé et ne se sature pas sous l'effet d'une composante aperiodique éventuelle (qui peut atteindre 25 pour cent de la valeur nominale).

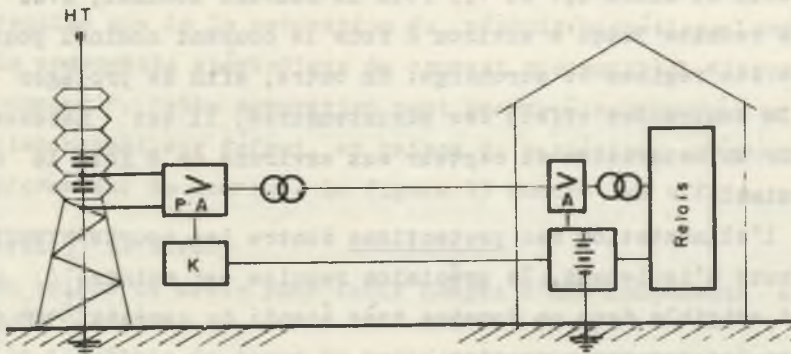


Figure 12. Diviseur capacitif pur avec amplification

PA - préamplificateur, A - amplificateur, K - convertisseur continu-continu

Il faut réaliser correctement l'alimentation de l'amplificateur malgré les différences de potentiel de terre susceptibles de se

produire entre le pied du diviseur capacitif et l'endroit où se trouve la batterie d'accumulateurs. Une solution (figure 12) peut consister à monter au pied même du diviseur capacitif, un préamplificateur alimenté par un convertisseur continu-continu - réalisant un découplage galvanique avec la source auxiliaire.

Un autre découplage est réalisé par transformateur à la sortie du préamplificateur. Un ou plusieurs amplificateurs complémentaires sont installés au bâtiment de relaying. L'emploi de plusieurs amplificateurs permet la réalisation de plusieurs circuits de tension quasi-indépendants les uns des autres, en particulier en cas de court-circuit sur l'un d'entre eux.

2 -CAPTEURS DE COURANT:

Comme pour les capteurs de tension, les exigences sont très différentes suivant qu'il s'agit d'alimenter des appareils de mesure et des automates de manoeuvre appropriés au fonctionnement normal du réseau, ou des équipements de protection destinés à agir pendant la durée d'un court-circuit ou d'un défaut d'isolement.

Dans le premier cas (mesures), la précision est requise¹⁾ en régime établi et entre 0,1 et 1,3 fois le courant nominal, avec une exigence réduite jusqu'à environ 2 fois le courant nominal pour le contrôle des régimes de surcharge. En outre, afin de protéger les appareils contre les effets des surintensités, il est nécessaire d'obtenir la saturation du capteur aux environs de 8 fois le courant nominal.

Pour l'alimentation des protections contre les courts-circuit et les défauts d'isolement, la précision requise est moindre²⁾ mais elle est exigible dans un domaine très étendu du courant³⁾ afin de permettre des mesures correctes:

1) Par exemple, 0,5 pour cent sur le module et 20 min. sur la phase à I_n

2) Par exemple, 3 pour cent sur le module et 3 degrés sur la phase, ou 5 pour cent sur les valeurs instantanées.

3) Par exemple, de 0,1 à 20 fois le courant nominal en valeur efficace, soit une dynamique de 200, qui doit être portée à près de

- au courant de défaut maximal possible
- en cas de défaut faiblement alimenté ou très résistant.

En outre, pour l'alimentation des protections rapides, la précision doit être respectée dès les premières millisecondes qui suivent l'apparition du défaut.

a - Transformateurs de courant à circuit magnétique fermé:

Ces appareils, le plus couramment utilisés jusqu'à maintenant même dans les réseaux électriques à très haute tension, procurent directement la précision requise pour les mesures en régime normal. Toutefois, la nécessité de localiser la saturation entre 2 fois et 8 fois le courant nominal est une contrainte non négligeable pour la construction de ces appareils, surtout lorsqu'ils doivent être capables de fonctionner dans un domaine de charges secondaires étendu, par exemple de 0,25 à 1 fois la puissance nominale de précision.

Pour l'alimentation des équipements de protection rapides contre les courts-circuits et les défauts d'isolement, les difficultés importantes apparaissent, tant en raison de la grande dynamique requise que de la saturation du circuit magnétique provoquée par la composante apériodique du courant susceptible d'apparaître à ce moment¹⁾. Cette saturation peut encore être aggravée en cas de réenclenchement sur défaut, en raison du magnétisme rémanent du transformateur de courant. La figure 13 montre les effets, relevés

cd notki 3) ze strony

400 en valeur de crête pour tenir compte d'une composante apériodique éventuelle.

¹⁾ La constante de temps de cette composante augmente avec l'accroissement de puissance de réseaux. Voisine de 300 ms à la sortie d'une centrale, elle atteint encore plus de 100 ms sur les barres des grands postes d'interconnexion et 40 ms à l'extrémité d'une ligne dont les phases sont équipées de conducteurs multiples à forte section.

au courant nominal sur un transformateur de courant intermédiaire, de la composante aperiodique maximale. Il y apparaît clairement les décalages de l'instant de passage par zéro (très utilisés dans les équipements statiques à semi-conducteurs) ainsi que les durées pendant lesquelles la réponse est correcte (durées pendant lesquelles le circuit magnétique n'est pas saturé).

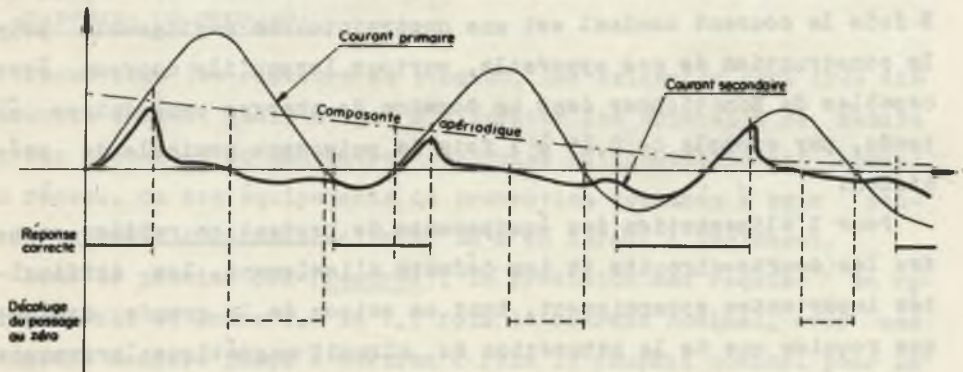
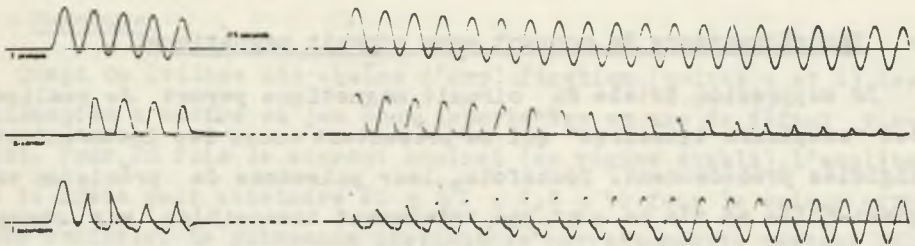


Figure 13. Exemple de saturation d'un transformateur de courant intermédiaire par la composante aperiodique

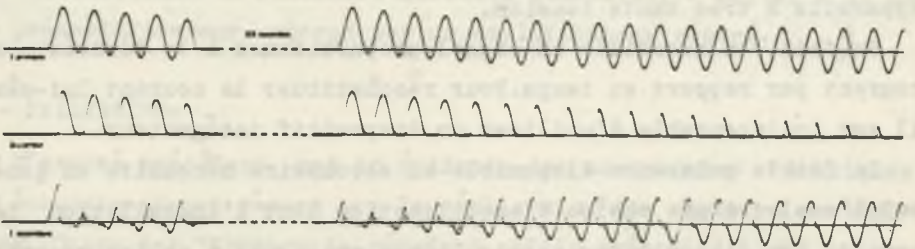
La figure 14 montre la réponse d'un transformateur de courant principal classique dans les mêmes conditions. Le tracé du courant d'erreur montre aussi les durées de réponse correcte pendant chaque période du courant.

Ces inconvénients peuvent être évités par un choix convenable de la section du circuit magnétique. Toutefois, celle-ci devrait être multipliée par un facteur égal à $K = 1 + \omega\theta$ dans lequel $\omega = 314$ pour le courant à 50 Hz et θ est la constante de temps d'amortissement de la composante aperiodique. Ainsi, dans le cas où $\theta = 100$ milli-secondes, la section du fer doit être multipliée par $K = 32$, ce qui

est considérable et a une incidence économique importante. Encore conviendrait-il de doubler encore cette section si l'on pratique le réenclenchement rapide (pour avoir encore une réponse correcte malgré le magnétisme rémanent dans le cas où un défaut permanent se-rait ainsi réalimenté).



A - Sans charge au secondaire



B - Avec charge nominale au secondaire

Figure 14. Erreurs d'un transformateur principal de courant préalablement démagnétisé avec application de la composante apériodique maximale et réenclenchement sur défaut

b - Transformateurs de courant à circuit magnétique ouvert:

Pour l'alimentation des protections, il a été développé des transformateurs de courant "linéarisés" comportant des entrefers répartis. De faible puissance de précision (5 à 10 VA) ces appareils ont un circuit magnétique de section seulement double ou triple de cel

le des transformateurs de courant à circuit magnétique fermé. Leur erreur (5 pour cent sur la composante alternative) est encore acceptable pour les protections, mais ils reproduisent mal la composante continue ce qui fait apparaître de fausses composantes homopolaires contre les effets desquelles il est nécessaire de se prémunir.

c - Transformateurs de courant sans circuit magnétique:

La suppression totale du circuit magnétique permet de réaliser des "coupleurs linéaires" qui ne présentent aucun des inconvénients signalés précédemment. Toutefois, leur puissance de précision est quasi-nulle et ils ne sont pas totalement insensibles aux champs magnétiques ambiants (notamment en cas de court-circuit sur un conducteur voisin). Il en résulte une limitation de l'étendue du domaine de mesure (de la dynamique). Par contre, l'absence du noyau de fer facilite la réalisation du point de vue de l'isolement, des appareils à très haute tension.

En fait, on recueille un signal proportionnel à la dérivée du courant par rapport au temps. Pour reconstituer le courant lui-même, il est indispensable d'utiliser un dispositif intégrateur.

La faible puissance disponible au secondaire nécessite en général l'emploi d'une chaîne d'amplification dont l'installation nécessite des dispositions particulières analogues à celles représentées pour le diviseur capacitif pur de la figure 12.

d - Autres capteurs de courant (magnéto-optiques... etc):

On peut transformer le courant à haute tension en une modulation d'un rayonnement transmissible dans un matériau isolant solide ou gazeux.

C'est ainsi qu'il est possible de moduler linéairement, à partir du champ magnétique (ou électrique) produit par le courant:

- un faisceau lumineux (amplitude, fréquence ou encore direction du plan de polarisation)

- des ultrasons (en fréquence)
- un rayonnement hertzien ou électromagnétique (en fréquence).

La réception, au sol, est suivie d'une amplification qui doit respecter les dispositions montrées à la figure 12 pour un diviseur de tension capacitif pur.

e - Remarque:

Quand on utilise une chaîne d'amplification (points c et d), les puissances à mettre en jeu sont importantes en cas de défaut violent. Pour 20 fois le courant nominal (en régime établi), l'amplitude de crête peut atteindre $20 \times \sqrt{2} \times 1,8 = 50$ fois la valeur efficace nominale. La puissance instantanée correspondante devient 2500 fois la puissance moyenne nominale. Ainsi, un amplificateur d'une puissance nominale de 10 VA devrait être capable d'une puissance instantanée de 25 kVA, ce qui montre l'intérêt d'un fractionnement des utilisations en plusieurs circuits alimentés, à partir d'un même préamplificateur, chacun par un amplificateur séparé.

3 - PALLIATIFS:

L'exposé précédent met en évidence les contraintes techniques et économiques qui pèsent sur la réalisation des capteurs analogiques. Outre les "erreurs de réponse" qu'ils créent, il faut encore s'accommoder des phénomènes parasites à haute tension, tels que les oscillations des lignes, et ceux qui affectent les circuits à basse tension de contrôle.

Contre les oscillations parasites de toute nature on peut utiliser, à l'entrée des équipements de protection rapide, des filtres actifs dont le retard à répondre est inférieur à 10 millisecondes. A défaut, il est possible de retarder d'au moins 20 ms le fonctionnement de la protection.

Contre les tensions parasites induites dans les fileries des capteurs de tension, on peut éviter l'utilisation des très faibles

tensions de défaut par l'emploi de tensions "mémoires" des tensions qui existaient avant le défaut¹⁾.

Contre les effets de la saturation des transformateurs de courant "classiques" qui équipent les postes existants, on peut envisager l'emploi de procédés de mesure "par échantillonnage"²⁾ qui ne travaillent qu'à des instants choisis dans les intervalles de temps pendant lesquels la réponse du transformateur de courant est correcte. Il suffit pour cela que la possibilité d'échantillonnage soit contrôlée par un dispositif qui reconstitue le flux interne au circuit magnétique.

Dans tous les cas, la puissance transmise, dans la liaison entre le pied du capteur et le bâtiment des relais, doit être suffisante pour que le rapport $\frac{\text{signal utile}}{\text{parasite induit}}$ soit convenable. Cette contrainte apparaît surtout quand le signal utile est faible. En conséquence, il semble opportun, actuellement, de conserver les valeurs nominales actuelles de $\frac{60}{\sqrt{3}}$ volts pour les tensions phase-neutre et 5 ou 1 A pour les courants et d'éviter que les puissances transmises deviennent inférieures à 1. ou à quelques voltampères.

CHAPITRE V - ECHANGES RAPIDES D'INFORMATIONS LOGIQUES

Le comportement propre des dispositifs de protection et des automates de manoeuvre dépend en général d'informations logiques ou numériques élaborées par des capteurs (de fin de course d'appareils, de coupure par exemple) ou par d'autres automates (asservissements, blocages, ... etc). De même, ces dispositifs exercent leur action au moyen d'ordres à tout ou rien souvent accompagnés de signalisations ou d'alarmes. Ces informations doivent souvent

1) Memory action, en anglais.

2) Sampling devices, en anglais.

avoir une forme et une durée déterminées afin qu'elles puissent être, dans tous les cas, prises en compte par les équipements qui les utilisent.

1 - CONTROLE DES INFORMATIONS:

a - Automates:

Dans la plupart des cas, les informations logiques doivent être transmises en un temps très court, ce qui exclut alors la recherche de la fiabilité par une répétition, dans le temps, de signaux successifs constituant un code. Toutefois, afin d'éviter l'exécution de manœuvres intempestives (donc dangereuses peut-être) à la suite d'un dérèglement de capteur, on transmet souvent des informations complémentaires les unes des autres que l'automate n'accepte de prendre en compte que lorsque cette complémentarité est respectée: si l'une des deux informations est incorrecte, la complémentarité est détruite, une alarme "d'anomalie" est émise qui peut en même temps bloquer l'automate concerné si cela est jugé utile.

b - Protections:

Pour les protections, dès que le circuit des câbles de transmission atteint quelques centaines de mètres et surtout s'il intéresse plusieurs ouvrages (lignes ou transformateurs) dont la coupure intempestive simultanée pourrait avoir des conséquences importantes, on s'efforce, à l'arrivée sur chaque disjoncteur, de n'accepter un ordre que si un critère local (propre à l'ouvrage concerné) confirme l'existence d'un défaut dans le réseau (pour les protections de jeux de barres, par exemple).

2 - DECOUPLAGES GALVANIQUES:

L'échange d'informations ou d'ordres entre des équipements qui ne sont pas contigus est soumis aux actions parasites (inductions, différences de potentiel de terre, ... etc) qui ont déjà été expo-

sées dans les chapitres précédents. Tant pour assurer la pureté de l'information que pour protéger les équipements d'extrémité, il convient d'isoler galvaniquement le circuit de transmission par rapport à ces équipements. Ainsi, chaque capteur émet son information en fermant des contacts reliés à une source auxiliaire "véhiculaire". Cette information (s'il y a lieu après vérification de complémentarité des signaux émis simultanément) arrive, dans l'équipement qui l'utilise, sur la bobine d'un relais d'isolement à fonctionnement rapide.

Il est possible de procéder plus simplement lorsque les équipements sont très voisins les uns des autres (installés dans la même salle, par exemple). Dans ce cas, il n'est pas besoin de source auxiliaire spéciale: l'énergie est prise directement dans l'un des équipements.

3 - NORMALISATION DES TENSIONS:

Aux facteurs déjà exposés dans le paragraphe consacré au choix de la tension d'une source auxiliaire, il convient d'ajouter l'intérêt de la normalisation de la valeur nominale et du domaine de variation de cette tension.

Cette normalisation permet l'unification des relais de découplage galvanique cités précédemment ainsi que la liaison directe entre composants statiques de circuits logiques situés dans des équipements contigus fournis par des constructeurs différents ou encore fabriqués à des époques différentes. Ce dernier point est particulièrement important pour permettre la modification ou le remplacement partiel des installations au fur et à mesure de l'évolution des besoins ou de la technologie. L'absence de normalisation risquerait, au contraire, de lier l'existence de l'ensemble d'une installation à la fixité de ses caractéristiques initiales.

CHAPITRE VI - ORGANISATION DES EQUIPEMENTS

1 - GENERALITES:

Des dispositions générales doivent être prises dans la réalisation des équipements de protection et des automates de manoeuvre des postes électriques afin d'assurer leur survie et la fiabilité de leur comportement pendant toute la durée de leur utilisation. Dans ce chapitre, nous nous bornons au rappel des points particuliers de l'organisation des équipements qui sont en rapport avec l'environnement.

a - Choix des composants en liaison avec la température:

Le domaine de variation de la température ambiante (extérieure à l'équipement) étant défini, on peut en déduire le domaine correspondant pour les composants internes. C'est pour l'utilisation dans ce dernier domaine que doivent être choisis les composants, tant du point de vue des caractéristiques fonctionnelles à l'état neuf que du point de vue du vieillissement progressif et de la durée de vie.

b - Séparation des groupes de circuits:

Dans les équipements statiques, il est fréquent de rencontrer à la fois:

- des groupes de circuits parcourus par des courants très faibles (micro ou milliampères)
- des circuits logiques parcourus par des courants de dizaines de milliampères
- et des circuits de commande parcourus par des courants de plusieurs ampères. Si des précautions sévères ne sont pas prises, aussi bien dans les fileries correspondantes à l'extérieur des équipements (liaisons entre équipements) que dans les équipements eux-mêmes, il y a risque de diaphonie et de comportement incorrect.

Il convient donc d'utiliser des câbles blindés spécialisés aussi courts que possible pour les courants les plus faibles (de la première catégorie). Il y a lieu aussi d'éviter de réunir dans un même câble les circuits des deux dernières catégories. Il est en outre préférable d'éviter la juxtaposition, dans le même câble, de circuits analogiques (circuits secondaires des transformateurs de mesure) et de circuits logiques d'information.

A l'intérieur d'un équipement, il convient de séparer géographiquement les circuits à très faible et à faible courant par rapport aux circuits à courant plus fort. C'est ainsi qu'on pourra séparer nettement, en les regroupant par catégorie dans des parties distinctes d'une armoire:

- les circuits d'entrée et les circuits de sortie. Il peut même être opportun de placer des réducteurs (transformateurs auxiliaires ou shunts) sur les circuits d'entrée
- les circuits de traitement analogique
- les circuits de traitement logique.

Dans le même but, les liaisons entre équipements contigus peuvent être écartées les unes des autres: par exemple les liaisons à faible courant à la partie supérieure des panneaux de relaying et les câbles de commande ainsi que les liaisons à courant moyen à la partie inférieure de ces panneaux.

c - Isolement par rapport à la masse:

En raison des différences importantes susceptibles d'exister entre les potentiels de la terre en différents points d'un poste, des précautions sont indispensables en matière d'isolement des circuits et des équipements par rapport à la terre locale. Dans le cas des équipements statiques, il peut être indispensable:

- d'isoler par rapport à la terre locale (parois des armoires et des panneaux métalliques) le point commun ou la "masse" commune à un groupe de circuits,

- d'isoler entre eux deux groupes de circuits alimentés par des sources distinctes, placées en des endroits éloignés l'un de l'autre. Dans le cas où deux circuits ou groupes de circuits auraient leurs potentiels fixé par rapport à la masse en des points éloignés l'un de l'autre, il serait nécessaire de les isoler entre eux. Il en résulterait, en particulier, l'impossibilité de les alimenter par la même source qui constituerait, entre eux, une liaison galvanique.

2 - ALIMENTATIONS AUXILIAIRES:

Un chapitre spécial a traité précédemment des sources d'alimentation auxiliaires qui constituent la réserve d'énergie. Il peut être nécessaire de prendre des dispositions spéciales, dans les équipements de protection ou dans les automates, à l'arrivée des circuits d'alimentation auxiliaire.

a - Alimentation directe:

Dans le cas où la source auxiliaire générale alimente directement un équipement, trois ordres de dispositions sont souvent nécessaires:

- Stabilisation de la tension. En effet, les tolérances des équipements statiques sont souvent plus restreintes que le domaine normal de variation de la tension de la source auquel il convient en outre d'ajouter la chute de tension éventuelle dans le câble d'alimentation.
- Protection contre les courts-circuits. En cas de court-circuit accidentel à l'intérieur d'un équipement, il importe que l'avarie ne s'étende pas à l'ensemble des composants (contacts de relais miniatures, circuits imprimés, ... etc) traversés par le courant de court-circuit. Cette remarque est d'autant plus importante que certains de ces composants peuvent être situés dans d'autres équipements que celui qui a été le siège du défaut. Lorsque la source auxiliaire a une faible résistance

interne, le courant de court-circuit, en cas de défaut interne, à l'équipement, doit être limité à une valeur acceptable pendant la durée de son élimination, tout en restant assez grand pour assurer cette élimination (fusion de fusible ou disjonction). Le courant de court-circuit peut être limité, soit par les caractéristiques propres au dispositif de stabilisation cité au point précédent, soit par l'introduction d'une faible résistance montée en série à l'arrivée de l'alimentation dans l'équipement. Bien entendu, le courant traversant cette résistance ne doit pas provoquer une chute de tension inadmissible en service normal.

- Filtrage. Si, au départ de la source, la tension doit être exempte d'harmoniques ou de composante alternative (en courant continu), elle ne doit pas, à l'arrivée dans un équipement, être affectée par des tensions parasites induites qui pourraient troubler le comportement des composants ou les détruire. Dans la plupart des cas, et en particulier pour l'alimentation des équipements de traitement logique, il est en général suffisant de pratiquer un filtrage au moyen d'un dispositif qui ne puisse lui-même entrer en oscillation. La figure 15 donne un exemple de filtrage par diodes, complété par un condensateur important (de l'ordre de $1 \mu\text{F}$).

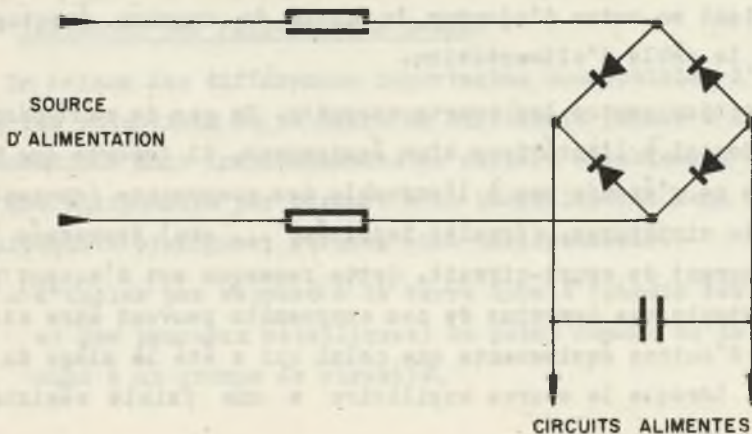


Figure 15. Filtrage des parasites superposées à une alimentation

b - Alimentation indirecte:

Dans certains cas, et notamment pour alimenter un équipement de traitement analogique réalisé avec des composants statiques (comparateurs de phases par exemple), il est préférable de protéger l'alimentation auxiliaire par un convertisseur continu-continu déjà cité au chapitre des sources auxiliaires. Il réalise un découplage galvanique qui répond aussi, quand il y a lieu, à la nécessité de séparation des groupes de circuits.

Dans le cas où l'alimentation auxiliaire est fournie en courant alternatif "de sécurité", il est très facile de munir un équipement de plusieurs groupes transformateur-redresseur spécialisés chacun pour un groupe de circuits galvaniquement découplés.

3 - CIRCUITS ANALOGIQUES:

Ces circuits, qui travaillent à très faible courant ou sous de très faibles puissances dans le cas des équipements statiques, sont les plus sensibles à l'environnement. Ils nécessitent souvent l'emploi des trois sortes de dispositions suivantes:

a - Découplage à l'entrée:

- Si le circuit transmet des informations en courant continu, elles sont en général codées ou "numériques". Le découplage est alors assuré par une répétition, au moyen d'un relais rapide (à anche), des signaux reçus.
- Si le circuit transmet des informations en courant alternatif (réducteurs de mesure, par exemple), le découplage est obtenu par des transformateurs à fort isolement et munis, entre bobinages, d'un écran métallique relié à la masse. Bien entendu, ces transformateurs "intermédiaires" doivent reproduire fidèlement les composantes transitoires du réseau d'énergie.

b - Blindage:

Non seulement certains circuits peuvent requérir le blindage déjà signalé des conducteurs, mais il peut être nécessaire d'enfermer, dans un blindage magnétique, les transformateurs et bobines de réactance auxiliaires, ou même un sous ensemble tout entier.

c- Circuits anti-oscillants:

Principalement, dans les circuits de mesure analogiques, les périodes transitoires ou les fronts raides peuvent exciter par choc des oscillations libres capables d'affecter soit la valeur de crête, soit l'instant de passage par zéro d'une grandeur agissant sur montage à semi-conducteurs. Il est nécessaire d'éviter ces oscillations en empêchant toute possibilité d'influence mutuelle de réactances et de condensateurs, en utilisant autant que possible des combinaisons résistances-condensateurs et des filtres actifs.

4 - CIRCUITS LOGIQUES:

Les circuits logiques sont moins sensibles à l'environnement que les circuits de mesure analogiques. Toutefois, les équipements qui en comportent peuvent nécessiter deux sortes de précautions:

a - Découplage:

On peut éviter aisément les influences apportées par les circuits extérieurs en pratiquant un découplage galvanique par relais rapides (à anche par exemple). Toutefois, pour protéger ces relais eux-mêmes, il peut être nécessaire, dans certains cas, de les précéder d'un filtre extérieur, comme il a été indiqué pour les entrées de sources auxiliaires.

b - Protections de bobines:

La coupure d'une bobine de relais engendre en général une surtension à ses bornes, qui est appliquée au circuit qui l'alimente (donc au contact ou au semi-conducteur qui est chargé d'interrom-

pre ce circuit). Cette surtension, de courte durée (de l'ordre de la milliseconde) peut avoir une amplitude très supérieure à la tension normale (on a constaté une crête de 1200 volts sur des relais de tension nominale 48 volts) et dépasser le niveau d'isolement des composants des circuits. Dans les circuits à semi-conducteurs, en particulier, il est nécessaire de supprimer ces surtensions, par exemple en connectant entre les bornes mêmes de la bobine des relais une diode en opposition avec la tension normalement appliquée.

Seria: ELEKTRYKA z. 31

M. PÉTARD

Electricité de France

Zarząd Produkcji i Przesyłu

WARUNKI PRACY ELEKTROENERGETYCZNEJ AUTOMATYKI ZABEZPIECZENIOWEJ

S t r e s z c z e n i e

Wprowadzanie do eksploatacji zminiaturyzowanych elementów elektromechanicznych i półprzewodnikowych jako części składowych automatyki zabezpieczeniowej wymaga stosowania środków, mających na celu ochronę tych nowych elementów przed zniszczeniem względnie uniknięcia błędnych zadziałań pod wpływem czynników, nieistotnych dla konwencjonalnych zabezpieczeń. Do zasadniczych problemów związanych z powyższym należą:

- a) napięcia zakłóceniewe występujące w obwodach wtórnych prądu przemiennego;
- b) problemy dotyczące pomocniczych źródeł zasilania;
- c) zagadnienia związane z pomiarami analogowymi;
- d) warunki szybkiej informacji dyskretnej pomiędzy odpowiednimi członami.

Każdy z wymienionych problemów został w pracy przeanalizowany z punktu widzenia:

- 1) przyczyn i przebiegu możliwych zakłóceń;
- 2) środków zabezpieczających przed zakłóceniami;
- 3) zasad organizacyjnych o charakterze ogólnym, które w pewnych przypadkach mogą być pomocne w eliminacji zakłóceń.

W rozdziale II omówiono napięcia zakłóceniamiowe mogące wystąpić w obwodach wtórnych prądu przemiennego. Należy do nich:

- a) Napięcia zakłóceniamiowe o częstotliwości 50 Hz, które w warunkach normalnej pracy układu elektroenergetycznego mają niewielkie amplitudy, w warunkach zwarciovych natomiast przyjmują znaczne wartości. Przyczynami powstawania tych napięć są: prądy indukcyjne rzędu 50 A (w warunkach normalnych) w niektórych oczkach siatki uziemiającej stacji, podłużne spadki napięć w taśmach uziemiających, sprzężenia indukcyjne pomiędzy obwodami wtórnymi przekładników napięciowych a przewodami W.N. (obszar zakropkowany na rys. 1);
- b) Napięcia zakłóceniamiowe występujące podczas łączeń wyłączników lub odłączników w stacjach najwyższych napięć. Napięcia te mają charakter oscylacyjny tłumiony o częstotliwości od 100 kHz do 15 MHz i czasie trwania rzędu 20 mikrosekund (dane dla stacji 225 kV). W niektórych przypadkach amplituda napięcia wtórnego przekładników napięciowych pojemnościowych wynosiły kilkaset do kilku tysięcy V (rys. 2).

Zakłócenia podane w pkt "a" można wyeliminować takimi sposobami jak: zwiększenie liczby połączeń z ziemią wielooczkowego obwodu uziemiającego stacji, prowadzenie wszystkich przewodów tego samego obwodu w jednym kablu (o ile to możliwe - w ekranowanym), zapewnienie odpowiedniego poziomu izolacji w stosunku do ziemi poszczególnych członów zabezpieczeń.

Dla redukcji napięć zakłóceniamiowych grupy "b" należy stosować także środki jak: zmniejszenie reaktancji obwodów uziemiających drogą odpowiedniego rozmieszczenia taśm uziemiających (rys. 5); uziemienie płaszczy kabli pomiarowych; wybór odpowiedniego płaszczy kabla (tablice I i II); symetryzacja przewodów i źródeł zasilających;

W rozdziale III omówiono problemy dotyczące pomocniczych źródeł zasilania. Do problemów tych należą: ciągłość pracy źródła, zmienność napięcia, względny udział składowych zmiennych w prądzie sta-

łym, wybór i usytuowanie pomocniczych źródeł elektrycznych, wybór napięcia baterii akumulatorowej.

W rozdziale IV omówiono błędy i zakłócenia występujące w wielkościach elektrycznych przekazywanych w postaci analogowej z przekładników pomiarowych. Analizowano kolejno błędy powstające w indukcyjnych i pojemnościowych przekładnikach napięciowych, w dzielnikach pojemnościowych ze wzmacniaczem.

Następnie przedyskutowano błędy w przekładnikach prądowych. Omówiono przekładniki z zamkniętym i otwartym obwodem magnetycznym, przekładniki bezrdzeniowe i inne urządzenia pomiarowe (np. przekładniki magnetoptyczne).

Rozdział V poświęcono kontroli informacji logicznych. W szczególności omówiono automaty, zabezpieczenia, połączenia galwaniczne i normalizację napięć.

Rozdział VI dotyczy zasad organizacyjnych wpływających na eliminację zakłóceń. Omówiono ogólny sposób wyboru elementów w zależności od temperatury, zasadę rozdzielania obwodów, poprawę warunków izolacyjnych w stosunku do mocy. Szczegółowo przeanalizowano pod tym względem źródła pomocnicze, obwody analogowe i obwody logiczne.

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1. Układ połączeń przekładników napięciowych

Rys. 2. Załączenie pod napięcie odcinka szyn

Rys. 3. Przebieg napięcia zakłóceniewego występującego między przewodem pomiarowym a ziemią, mierzone u podstawy pojemnościowego przekładnika napięciowego:

- w obwodzie wtórnym przekładnika napięciowego S_2CT-M ,
- w obwodzie zasilanym z odległego źródła

Rys. 4. Napięcia zakłóceniewe występujące między przewodami obwodu napięciowego a ziemią zmierzone na wprowadzeniach zprzekładnika.

- Rys. 5. Przykład rozmieszczenia taśm uziemiających (kwadraty zaznaczone cienką linią oznaczają fundamenty betonowe na których umieszczone są odpowiednie urządzenia)
- Rys. 6. Sposób uziemiania kadzi transformatora mocy
- Rys. 7. Uziemianie płaszcza kabla na obydwu jego końcach
- Rys. 8. Uziemianie płaszcza kabla kontrolnego; A - Sposoby uziemiania kabla kontrolnego, P, K - poprawne, T - złe, B - rozkład potencjału wzdłuż kabla kontrolnego
- Rys. 9. Przykład jednostki autonomicznej dla dwóch pól liniowych
- Rys. 10. Błąd pojemnościowego przekładnika napięciowego w następnym zwarcia na zaciskach pierwotnych w chwili U_{\max} i $U = 0$
- Rys. 11. Błąd pojemnościowego przekładnika napięciowego w następnym zwarcia w obciążonym obwodzie wtórnym
- Rys. 12. Pojemnościowy dzielnik napięciowy ze wzmacniaczem PA - wzmacniacz wstępny, A - wzmacniacz, K - przetwornik stały-stały
- Rys. 13. Przykład nasycenia rdzenia przekładnika prądowego pośredniczącego pod wpływem składowej nieokresowej prądu
- Rys. 14. Błędy przekładnika prądowego głównego uprzednio odmagnesowanego pod wpływem składowej nieokresowej o pełnej asymetrii po ponownym załączeniu na zwarcie
A - obwód wtórny nieobciążony, B - z obciążeniem znamionowym
- Rys. 15. Filtrowanie impulsów zakłócających występujących w obwodzie zasilania

М. ПЕТАРД

Энергетика Франции

Дирекция Производства и Электропередачи

Париж

УСЛОВИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

С о д е р ж а н и е

Зведение в эксплуатацию миниатюрных электромеханических и полупроводниковых элементов в виде составных частей автоматических устройств релейной защиты требует применения мероприятий, имеющих за задание охрану этих новых элементов от повреждений либо предотвращение ошибочных действий от факторов несущественных для конвенциональных защит.

Основные проблемы, возникающие из выше изложенного:

- а) ложные напряжения, появляющиеся во вторичных цепях переменного напряжения,
- б) проблемы, относящиеся к вспомогательным источникам питания,
- в) вопросы, связанные с аналоговыми измерениями,
- г) условия быстрой дискретной информации между соответствующими элементами.

Каждая из вышеуказанных проблем была анализирована в настоящей работе с точки зрения:

- 1) причин и процессов возможных нарушений,
- 2) мероприятий защищающих от повреждений,

- 3) организационных правил общего характера, которые в некоторых случаях могут быть полезными при ликвидации нарушений.

В II разделе рассмотрены ложные напряжения, которые могут выступить во вторичных цепях переменного напряжения. К ним принадлежат:

- а) Ложные напряжения с частотой 50 гц, которые в условиях нормальной работы энергетической системы имеют небольшие амплитуды, но в условиях короткого замыкания достигают значительных величин. Причины возникновения этих напряжений: индукционные токи порядка 50 а (в нормальных условиях) в некоторых узлах сетки контурного заземления подстанции, продольные падения напряжения в полосах заземления, индукционная связь между вторичной цепью трансформаторов напряжения а проводами высокого напряжения (заштрихованная область на рис. 1).
- б) Ложные напряжения, выступающие во время переключений разъединителями и выключателями на подстанциях высокого напряжения. Эти напряжения имеют колебательный затухающий характер с частотой от 100 кгц до 15 мкгц и продолжительностью порядка 20 мсек (данные для подстанции 225 кв). В некоторых случаях амплитуда вторичного напряжения емкостных трансформаторов напряжения имела величину порядка несколько сот до несколько тысяч вольт (рис. 2).

Нарушения, представленные в пункте "а" можно устранить путем: увеличения количества соединений с землей контурного заземления подстанции, проведением всех проводов одной и той же цепи в одном кабеле (по возможности - экранированном), обеспечения соответствующего уровня изоляции между отдельными элементами защиты а землей.

С целью устранения ложных напряжений группы "б" необходимо: уменьшить реактанс цепи заземлителей путем соответствующего размещения заземляющих полос (рис. 5), подобрать соответствующую оболочку кабеля (таблица I и II), произвести симметризацию проводов и источников питания.

В разделе III представлены проблемы, касающиеся вспомогательных источников питания.

К этим проблемам принадлежат: непрерывность работы источника, изменяемость напряжения, относительное участие переменных составляющих в постоянном токе, выбор и размещение вспомогательных электрических источников, выбор напряжения аккумуляторной батареи.

В разделе IV представлены ошибки и помехи, возникающие в электрических величинах, передаваемых от измерительных трансформаторов в форме аналогов. Проанализировано поочередно ошибки возникающие в индукционных и емкостных трансформаторах напряжения, в емкостных делителях с усилителем.

В дальнейшем представлены ошибки в трансформаторах тока. Обсуждено измерительные трансформаторы с замкнутой и открытой магнитной цепью, трансформаторы без сердечника и другие измерительные устройства (магнитооптические измерительные трансформаторы).

Раздел V посвящен контролю логической информации. В особенности представлено автоматизацию и защиту, гальванические соединения и нормализацию напряжений.

Раздел VI касается организационных форм, имеющих влияние на устранение нарушений. Рассмотрены общие правила выбора элементов в зависимости от температуры, правила разделения цепей, улучшение изоляционных условий в отношении к мощности. Подробно проанализировано в этом отношении вспомогательные источники питания, аналоговые цепи и логические цепи.

ОПИСАНИЕ РИСУНКОВ

- Рис. 1. Схема соединений трансформаторов напряжения
- Рис. 2. Включение под напряжение отрезка шин
- Рис. 3. Диаграмма напряжения помехи, возникающего между измерительным проводом и землей, измеренного у основания емкостного трансформатора напряжения:
- во вторичной цепи трансформатора напряжения S_{CT-M}
 - в цепи, питаемой с отдаленного источника
- Рис. 4. Напряжения помехи, возникающие между проводами цепи напряжения и землей измеренные на входе реле
- Рис. 5. Пример размещения заземляющих полос (квадраты обведенные тонкой линией обозначают бетонные фундаменты, на которых располагаются соответствующие устройства)
- Рис. 6. Способ заземления корпуса трансформатора мощности
- Рис. 7. Заземление оболочки кабеля на его концах
- Рис. 8. Заземление оболочки контрольного кабеля. А) Способы заземления контрольного кабеля Р, К: К - правильное; Т - неправильное; Б) распределение потенциала вдоль контрольного кабеля
- Рис. 9. Пример автономной единицы для двух линейных ячеек
- Рис. 10. Ошибки емкостного трансформатора напряжения в результате к.з. на первичных зажимах в моменте U_{\max} и $U = 0$
- Рис. 11. Ошибки емкостного трансформатора напряжения в результате к.з. в нарушенной вторичной цепи
- Рис. 12. Емкостный делитель напряжения с усилителем
- РА - предварительный усилитель
 - А - усилитель
 - К - преобразователь "постоянный-постоянный"
- Рис. 13. Пример насыщения сердечника трансформатора тока из-за влияния апериодической составляющей тока

Рис. 14. Ошибки основного трансформатора тока размагниченного предварительно из-за влияния аperiodической составляющей с полной асимметрией после повторного включения на короткое замыкание

А - ненарушенная вторичная цепь

Б - с номинальной нагрузкой

Рис. 15. Фильтрация импульсов помех в цепи питания

M. PÉTARD
Electricité de France
Management of Production and Transfer

OPERATING CONDITIONS OF POWER SYSTEM PROTECTION

S u m m a r y

Both electromechanical and semi-conductor miniaturized elements applied in relaying schemes demand special care, which purpose is to protect the elements from damage, or to avoid relay incorrect operation due to factors immaterial to conventional protections. The main questions concerned are following:

- a) offset transient voltages in a.c. secondary circuits
- b) auxiliary supplies problems
- c) analog measurements problems
- d) conditions of quick sample information transmission between individual units.

Each of the problems mentioned above has been analysed from the following points of view:

- 1) offset reasons and transients
- 2) anti-offset protective means
- 3) general organizational rules, which in some cases can be useful for elimination of offset transients.

In chapter II there are discussed offset voltages which can appear in a.c. secondary circuits:

- a) 50 Hz voltages, magnitudes of which under normal operating conditions are small, but under fault conditions are considerably high. They are caused by: induction currents of about 50 A (under normal operating conditions) existing in some me-

shes of earthing net in the station; voltage longitudinal drops in earthing tapes; induction couplings between secondaries of voltage transformers and high voltage wires (dotted area in fig. 1).

- b) Offset transient voltages appearing in e.h.v. stations during switching operations of circuit - breakers or isolators. They are oscillatory damped transients of 100 kHz up to 15 MHz frequency and duration of 20μ s (225 kV station data). Occasionally the secondary voltages magnitudes of voltage capacitance transformers reached values of several hundreds to several thousands volts (fig. 2).

Disturbances mentioned under "a" can be removed with the help of following means: increase of earth connections of multiple - mesh earthing circuit of the station, putting all the wires of the same circuit into one cable (possibly the cable should be provided with a screen), keeping the insulation satisfying level (with respect to earth) of individual elements of the protections.

To reduce offset transient voltages of group "b" the following means should be applied: diminishing of earthing circuits reactance due to suitable arrangement of earthing taps (fig. 5); earthing of measuring cables sheaths; correct choice of cable sheaths (tables I and II); symetrizing of wires and supply sources.

Chapter III deals with problems of auxiliary voltage supplies. There are following questions involved: continuity of supply, voltage variations, precentage share of a.c. components in d.c. correct choice and location of elektrik supplies, correct choice of battery voltage.

In chapter IV there are discussed errors and disturbances caused by measuring transformers, the analysis being carried out of errors arising in induction and capacitance voltage transformers and also in capacitance voltage dividers with amplifier.

Then the current transformers errors are discussed for current transformers with closed ferromagnetic path, with air gap in the

core, with air core and for other measuring devices e.g. magneto-optical transformers.

Chapter V deals with logical information control with special interest to relaying, galvanic connections and voltage standardization.

In chapter VI there are discussed organizational rules which affect the offset transients removal. General method for elements choice according to temperature is described, then the principle of circuits division and improvement of insulating conditions are discussed. In regard to this, auxiliary voltage sources, analog and logical circuits are analysed in detail.

FIGURES DESCRIPTIONS

- Fig. 1. Connection scheme of voltage transformers
- Fig. 2. Switching of busbar section
- Fig. 3. Transient of offset voltage appearing between measuring wire and earth, the voltage being measured at the basis of capacitance voltage transformer
- in secondary circuit of voltage transformer S_2CT-M
- in circuit being energized from remote source
- Fig. 4. Offset voltages appearing between voltage circuit wires and earth; measurements carried out at voltage transformer terminals
- Fig. 5. An example of earthing taps distribution (quadrangles marked with thin line are concrete foundations)
- Fig. 6. The method of earthing of power transformer tank
- Fig. 7. Earthing of sheath on both ends of the cable
- Fig. 8. Earthing of control cable sheath
A - methods of earthing of control cable P, K - correct, T - wrong, B - Potential distribution along control cable
- Fig. 9. An example of autonomy unit for two line fields
- Fig. 10. Capacitance voltage transformer error as a result of fault on primary terminals when $U_{max} = 0$ and $U = 0$

- Fig. 11. Capacitance voltage transformer error as a result of fault in loaded secondary circuit
- Fig. 12. Capacitance voltage divider with amplifier
PA - pre - amplifier, A - amplifier, K - converter "direct - to - direct"
- Fig. 13. An example of intermediary current transformer core saturation as a result of d.c. component influence
- Fig. 14. Errors of main current transformer previously demagnetized under the influence of fully asymmetrical d.c. component after reclosing on short-circuit
A - opened secondary circuit, B - rated burden
- Fig. 15. Filtration of pulses appearing in supply circuit.