



ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ

ΜΗΝΙΑΙΟΝ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΝ ΣΥΓΓΡΑΜΜΑ

ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΟΥ ΣΥΛΛΟΓΟΥ

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΑΞΕΩΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΥ ΟΙ κ. κ.

Η. ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ, Π. ΖΑΧΑΡΙΑΣ, Κ. ΚΤΕΝΑΣ, Δ. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ ΕΠΙΜΕΛΗΤΉΣ Α. Σ. ΣΚΙΝΤΖΟΠΟΥΛΟΣ

ETOE IG'

ΑΘΗΝΑΙ, ΑΠΡΙΔΙΟΣ 1915

-

APIO. 4.

HEPIEXOMENA

Etudes sur les accidents au materiel électrique et les moyens pour les empêcher Greg. D. Paicos. Έπιστημονικά Νέα, Α. Σ. Σκιντζοπούλου.

ETUDE SUR LES ACCIDENTS AU MATÉRIEL ÉLECTRIQUE ET LES MOYENS POUR LES EMPÊCHER

PAR
GRÉG. D. PAÏCOS
ingénieur électricien
A. I. M.

CHAPITRE I.

Accidents au matériel Electrique.

Nous allons passer en revue les accidents de différentes natures qui se produisent dans le matériel électrique et en déterminer les causes.

Sur les réseaux de distribution de force, il y a trois causes principales de déstruction des alternateurs ou des transformateurs elles sont les suivantes:

1. Charges Statiques

Si nous considérons l'expérience classique des laboratoires de physique où l'on prend deux boules A et B on sait que, si on approche la boule A chargée positivement de la boule B qui n'est pas chargée il se développe dans celle-ci une charge négative qui sera fonction de la charge de A. et de la distance entre les deux boules.

Il est absolument de même dans les réseaux de distribution. Si l'on considère un nuage A et une ligne de distribution B. le nuage A étant chargé positivement par exemple, B n'ayant à l'origine aucune charge, au fur et à mesure que A se rapproche de B il se développe dans la ligne une charge négative qui pourra prendre une valeur quelconque si la ligne est parfaitement isolée. Cette charge aura toujours une tendance à s'écouler à la terre sous forme de courant continu.

2. Décharge atmosphérique à haute fréquence.

Considérons deux nuages A et B à proximité l'un de l'autre et une ligne de distribution l, dont une extremité aboutit à un transformateur T ayant une certaine capacité par rapport à la terre. Si entre A. et B. il se produit une décharge cette décharge enverra au travers de l'atmosphère des vibrations qui viendront frapper la ligne l et y créeront une onde se transmettant de proche en proche jusqu'au transformateur. Le courant ainsi engendré s'écoulera à la terre au travers de la capacité de celui-ci et principalement par la portion de cette

capacité la plus rapprochée de la ligne. On comprend en effet que la selfinduction du transformateur, présentant une résistance énorme au passage des courants à haute fréquence, la presque totalité de voltage de la décharge sera absorbée par les premières spires.

3. Surtensions à basse fréquence.

Considérons un alterateur A. branché sur une canalisation l avec possibilité de coupure par un interrupteur I. Nous représentons par C la capacité de cet altérnateur vis à vis de la terre.

S'il vient à se produire sur la ligne l un court-circuit, il y a dans l'alternateur une quantité d'énergie représentée par

LI

Le désignant la self induction et Il'intensité du courant. Si l'on suppose que l'interrupteur automatique coupe le court circuit d'une manière instantanée au moment de la rupture il se peut que la quantité d'énergie LI² soit en ce moment emmagasinée dans l'altérnateur lui-même et comme le circuit est ouvert, il ne pourra s'écouler que par la capacité de l'alténateur ou encore en pérforant un isolant. Il est possible d'estimer la surtention qui se produit en ce moment.

En effet, si C désigne la capacité de l'altérnateur vis à vis de la terre et V le voltage qui se développe aux bornes du condensateur au moment de la rupture

nous aurons

$$\frac{\text{LI}^2}{2} = \frac{\text{CV}^2}{2}$$
équation d'où l'on tire.

$$V = I \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Cette tension pourra être très considérable. Par exemple pour un altérna teur de 1000 KVA et 10000 voltes on trouvera que dans le cas de rupture instantanée par l'intérrupteur automatique on obtiendrait une tension égale à 300.000 voltes. Pratiquemment cette surtension ne sera jamais atteinte parce qu'il faut toujours un certain temps pour que la rupture se produise, même avec un intérrupteur à huile.

Nous aurons des phénomènes analo-

gues dans le cas présenté sur la figure 1 ou A représente un altérnateur, I un interrupteur automatique et l'une canalisation des câbles. Quand l'altérnateur fonctionne, il y a échange constant d'énergie entre la self introduction de l'al-

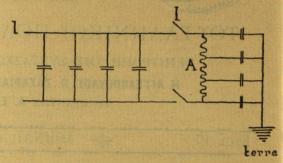


Fig. 1.

térnateur et la capacité du réseau des câbles. Il se peut que cette self induction et cette capacité soient telles qu'elles puissent entrer en résonnance pour l'une quelconque des harmoniques de la force électromotrice de l'altérnateur. Dans ces conditions il pourra y avoir surtension soit au moment d'une variation de charge, soit au moment du court circuit sur la ligne, soit au moment du fonctionnement de l'interrupteur automatique.

En resumé on peut dire qu'il y a possibilité de surtension chaque fois que l'on essaye de troubler ou de rompre la connexion qui relie une self induction et une capacité et que les surtensions se produiront vraisemblablement en ce moment.

4. Mode de destruction des isolants dans les altérnateurs ou transfomateurs.

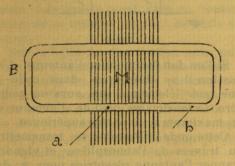
Si nous prenons par exemple un altérnateur dont l'enroulement dans les encoches est placé dans des gouttiers en Micanite cet altérnateur formera un condensateur dont une armature sera le fil du bobinage, le dieléctrique sera la micanite, l'autre armature étant la masse métallique de la machine. S'il se produit des surtensions et plus spécialement si ces surtensions sont à haute fréquence elles donneront lieu entre le fil et la micanite à des effluves qui produiront de

l'ozone. L'ozone oxydant enérgique brulera peu à peu le coton qui se trouve autour des fils et par une nouvelle élévation du voltage il y aura pérforation de l'isolation entre deux couches de l'enroulement.

On peut vérifier que ceci n'est pas seulement une théorie.

Nous avons eu souvent l'occasion de constater le phénomène suivant.

Nous avons examiné des bobines d'altérnateurs disposés de la façon indiquée sur la figure 2. B représente une des



bobines qui se trouvent noyées dans la masse de fer M de la machine sur toute la partie rectiligne a. Au contraire les parties b. ne sont pas environnés de tôles de fer.

Si l'on démonte les bobines qui sont proches des bornes de la machine on constate que le plus souvent dans les parties a le coton est complètement brulé et se détache, le cuivre est oxydé et présente une teinte verdâtre. Dans les parties b au contraire le coton est intact et le cuivre a conservé sa couleur normale. Ceci montre bien l'effet de destruction qui est causé par la capacité même de l'altérnateur, car cette capacité n'a une valeur appréciable que sur la partie a qui est noyée dans la tôle de fer, tandis qu'elle est négligeable dans la partie b qui se trouve à l'air libre.

Qu'il s'agisse de décharge atmosphérique à haute fréquence ou des phénomènes de résonnance le mode de destruction des enroulements est le même, les courts-circuits se produisent de fil à fil, mais il est extrêmement rare qu'il y ait préforation des isolants à la masse.

Il faut également remarquer que quand

il s'agit des phénomènes à haute fréquence, tout le voltage de décharge est absorbé par la self induction des premières couches de l'enroulement et qu'il se développe par conséquent entre deux couches de fil des tensions tout à fait hors de proportion avec celles qu'on admet généralement dans le calcul des machines.

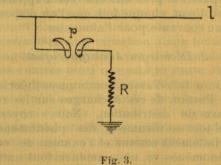
Supposons par exemple que sur un transformateur fonctionnant à 20,000 volts et calculé pour 150 volts entre couches, l'on envoie une décharge à haute fréquence à 10000 volts seulement. il pourra se faire que ces 10,000 volts soient absorbés par les 20 premières couches de l'enroulement, il en résultera entre deux couches de fil une différence de potentiel de 1000 volts qui amenera la perforation des isolants.

CHAPITRE II

Examen des moyens dont on dispose pour empêcher les différents accidents au matériel électrique. que nous venons de décrire.

1. Charges Statiques.

Comme nous l'avons dit ces charges sont constituées par une pression continue qui se développe dans la ligne et tendant à s'écouler vers la terre. Cette pression s'accroît toujours d'une manière relativement lente et pour l'écouler il suffit de relier la ligne à la terre par une résistance qui peut avoir une valeur assez considérable.



Les appareils les meilleurs à notre avis sont les résistances à jet d'eau parceque ce sont des appareils adsolument

indéréglables et ne comportent aucun enroulement de fil.

On peut également employer l'appareil indiqué fig. 3 et qui se compose d'une paire de cornes.

Ces cornes peuvent pivoter chacune autour d'un axe en telle sorte que leur partie inférieure agit exactement comme un electroscope à feuilles d'or.

En serie avec des cornes se trouve une résistance R. Si entre terre et le conducteur il se développe une différence de potentiel statique, les deux parties inférieures des cornes seront attirées l'une vers l'autre et quand elle seront assez rapprochées il s'amorcera un arc qui sera repoussé vers la partie supérieure de ces cornes et se souflera de lui-même. Comme dans tous les appareils à distance explosives il faut que la résistance ohmique en série soit assez grande pour que le fonctionnement de l'appareil lui-même ne puisse pas produire de haute fréquence.

On peut également employer une résistance métallique à enroulement de fil mais cet appareil à l'inconvénient d'être relativement fragile et il arrive assez souvent que des fils venant à ce casser l'appareil soit mis hors de circuit.

On emploie également des selfs inductions à noyau de fer. Ces selfs inductions ont une très grande valeur de telle sorte que le courant altérnatif les traverse difficilement, mais elles ont une faible résistance ohmique et le courant continu peut s'écouler au travers d'elles avec la plus grande facilité.

En ce qui concerne, nous pensons que l'appareil le plus efficace est l'appareil à jet d'eau, chaque fois que l'on dispose d'eau courante pour l'alimenter.

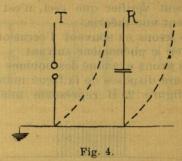
2. Décharges Atmosphériques.

On a fait d'assez nombreuses théories sur l'action de ces décharges sur les réseaux de distribution. Nous croyons que tout se résume à des phénomènes parfaitement connus et l'examen de ces phénomènes va nous amener tout naturellement à la solution cherchée de la suppression des accidents conséquence des décharges.

Il s'agit dans l'espèce d'une simple

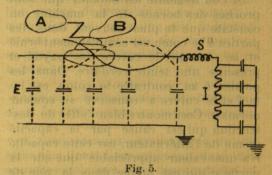
transmission de télégraphie sans fil, telle que celle que nous avons représenté figure 4.

Nous y avons désigné par T une antenne transmettrice et par R une antenne réceptrice.



Si l'on fait fonctionner l'antenne d'émission il se développe dans celle-ci une onde électrique qui aura un point zéro de tension au pied de l'antenne et un maximum à la partie supérieure.

Cette onde vibratoire se transmettra au travers de l'atmosphère et viendra frapper l'antenne réceptrice pour y développer une onde de même force et de même forme qui aura également un point zéro de tension au point de branchement avec la terre et un max. à la partie supérieure; ce phénomène connu et exactement superposable à celui qu'on constate sur la ligne de distribution.



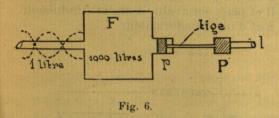
Si nous nous reportons à la figure 5 dans laquelle A et B désignent deux nuages et l une ligne de distribution nous voyons que le système des deux capacités A, et B, entre lesquelles se produit une décharge, représente exactement une antenne transmettrice, la ligne de distribution l l'antenne réceptrice.

Lorsque la décharge se produira en-

tre A et B il y aura émission de vibration au travers de l'atmosphère et ces vibrations venant toucher la ligne *l* y développeront une onde qui se transmettra sur la ligne de proche en proche et pourra venir frapper le transformateur T qui se trouve à son extrêmité. Cette onde pourra avoir à l'entré du même poste un maximum de tension et causer la destruction du transformateur.

On remarquera que très souvent dans les systèmes de télégraphie sans fil on réunit le pied de l'antenne à la terre par l'intermédiaire du condensateur sans toute fois que le point zéro de tension cesse de se trouver au pied de cette antenne.

Sur la ligne de distribution nous pouvons faire exactement la même chose et si à l'entrée du poste nous plaçons une batterie des condensateurs E nous serons assurés que le point où cette batterie de condensateur sera connectée, sera à un point zéro de tension pour toutes les décharges à haute fréquence.



Il convient de remarquer que le condensateur a une résistance qui varie en raison inverse de la fréquence et que par conséquent, cet appareil présentera une résistance négligeable au passage des courants de fréquence élevées, alors qu'au contraire cette résistance sera très grande pour tous les courants aux fréquences habituelles des réseaux de distribution. Tout se passera donc comme si nous avions fait le court-circuit à la terre pour tous les courants de fréquence élevée et pour cela seulement. Pour mieux nous rendre compte du fonctionnement du système nous pouvons assimiler le réseau de distribution indiqué fig. 5 à un système hydraulique, tel que celui indiqué fig. 6.

Ici la capacité C est remplacée par un tuyau en caoutchouc t dont les parois

ont une élasticité tout à fait assimilable à la capacité de la ligne. La batterie des condensateurs est remplacée par un réservoir F ayant également des parois élastiques. La self induction S, est représentée matériellement sur la fig. 6 par un piston p se mouvant dans un cylindre et surchargé d'un poids P. L'ensemble du piston et du poids est une masse ou une inertie qui est absolument analogue à la self induction S.

De même que cette self induction peut transmettre du courant au transformateur T, de même le poids P pourra transmettre un mouvement au moyen de la tige. Supposons maintenant que l'ensemble du tuyau t et du réservoir F, soit rempli d'eau et que l'on communique à ce liquide un mouvement oscillatoire au moyen d'une impulsion donnée à l'extremité libre, il y aura, par exemple déplacement d'un litre et par suite de l'élasticité des parois ce litre de liquide se déplacera de proche en proche jusqu'à l'extrêmité du tuyau réuni au réservoir. Il faut nécessairement que ce litre trouve son logement à l'intérieur du réservoir et il pourra le faire, soit en forcant le réservoir à augmenter de volume par suite de l'élasticité de ses parois, soit en forçant le piston p à ce déplacer dans le cylindre. Il est évident que par suite d'inertie du piston p et du poids P ceuxci refuseront à se déplacer et que ce sera le réservoir F qui ayant mille litres de capacité, par exemple, augmentera son volume de un millième pour loger un litre supplémentaire. Au bout d'un instant le réservoir reprendra ses dimensions primitives et chassera le litre en arrière, dans la direction du tuyau t en créant ainsi une onde en sens inverse. Il résultera une vibration dans toute la longueur du tuyau avec des nœuds et des ventres ainsi que cela se passe dans les tuyaux sonores. Cette vibration sera peu à peu amortie par le frottement du liquide sur les parties du tuyau en caoutchouc et elle disparaitra complètement au bout d'un nombre d'oscillations peu considérable.

On voit qu'il y a assimilation absolue entre le phénomène électrique de la figure 5 et le phénomène hydraulique de la figure 6. Dans le phénomène électri-

que la résistance d'amortissement du tuvau en caoutchouc est remplacé par la résistance ohmique du conducteur. La seule condition à réaliser pour obtenir un point pratiquement nul de tension à l'entrée du poste sera que la capacité de la batterie E soit très grande par rapport à la capacité du transformateur ou de l'altérnateur à protéger par l'antenne. Cette capacité devra être également très grande par rapport à celle de la longueur de la ligne occupée par une oscillation de haute fréquence. Il est évident, que pour obtenir un résultat quelconque il faudra que la résistance ohmique du circuit soit négligeable.

Nous avons eu l'occasion de constater sur des réseaux que les intensités qu'il fallait écouler à la terre pour obtenir le point zéro de tension à l'entrée du poste se chiffraient par des centaines et même par des milliers d'ampères. Il en résulte que pour tout ce qui est écoulement de courant de haute fréquence à la terre, tous les appareils qui comportent des résistances ohmiques élevées sont absulement sans valeur.

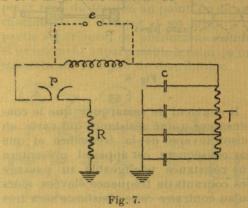
Nous ajouterons de plus que, comme on peut s'en rendre compte par la fig. 7 ci-après, tout appareil qui comporte une distance explosive forme un circuit de résonnance avec la capacité et la self induction de l'appareil à protéger et que par conséquent, l'appareil lui-même fabrique de la haute fréquence c. à. d. aggrave le mal qu'il est destiné à éviter Il n'y a qu'un moyen d'éviter cette production de haute fréquence, c'est d'intercaler dans le circuit une résistance assez élevée pour que la production des courants de haute fréquence soit impossible; mais alors on limite énormément le débit des appareils et comme nous venons de le dire ils deviennent sans aucune valeur au point de vue de l'écoulement des décharges atmosphériques.

D'ailleurs un raisonnement simple et indiscutable nous dispenserait de faire aucune théorie sur l'efficacité de l'emploi des condensateurs pour la protection contre les décharges à haute fréquence.

L'on a constaté en effet que presque tous les accidents étaient localisés dans les parties d'enroulement les plus rapprochées des bornes d'entrée des appareils. Il en résulte que c'est la première partie de la self induction et la première partie de la capacité qui rentrent seules en jeu pour l'écoulement des décharges.

La conclusion à tirer de cette remarque est immédiate; si nous mettons en avant de l'appareil à protéger une capacité et une self induction équivalantes respectivement à celles qu'il possède, nous aurons localisé les effets dangeureux dans ces organes accessoires et s'il leur arrive des preforations, au moins seront-ils plus facilement réparables qu'à un enroulement. Pratiquemment ces accidents seront ou nuls ou sans gravité en raison de la résistance des condensateurs et self induction employèes et aussi à cause de la facilité de remplacer ces éléments.

On peut facilement démontrer qu'un appareil à distance explosive et à résistance ne sera pas capable de créer un point zéro de tension sur la ligne. Considérons en effet (fig. 7) un parafoudre à cornes p en série avec une résistance R et placé en avant d'un self induction S et d'un transformateur T.



Supposons que la ligne fonctionne normalement à 10000 volts et que le parafoudre à cornes soit réglé pour fonctionner à 12000 volts. S'il survient à la ligne une onde à haute fréquence dont le potentiel soit inférieur à 12000 volts, le parafoudre à cornes ne fonctionnera même pas; mais cette décharge étant absorbée par les premières couches de l'enroulement, pourra y développer entre deux couches des différences de potentiel de 1000 volts et da-

vantage encore ce qui produira de perforation de fil à fil.

Supposons maintenant que l'onde crée sur la ligne une différence de potentiel suffisante pour faire fonctionner le parafoudre à cornes, il y aura passage de courant au travers du parafoudre mais la différence de potentiel sera absorbée dans la résistance R et l'écoulement de courant ne sera jamais assez considérable pour créer sur la ligne un point zéro de tension.

Tout au plus la tension de cette décharge sera t-elle limitée à une certaine valeur. Dans ces conditions la ligne restant à un potentiel élevé et la terre à un potentiel zéro la haute fréquence s'écoulera à la fois à la terre par deux chemins, l'un formé par le parafoudre à cornes p, et l'autre par la self induction S; la self induction du transformateur et sa capacité vis à-vis de la terre est le phénomène dangereux de l'élévation énorme du potentiel entre les premières spires de l'enroulement qui se produira avec toutes ses conséquences.

Remarquons du reste que tous les éléctriciens avaient bien l'impression de la nécessité absolue de réduire la résistance du chemin de la terre, la meilleure preuve en est le soin avec lequel on s'ingénie à avoir des plaques de terre de moins de 25 ohms de résistance, et néanmoins l'on met en série avec elles des résistances de 3000 à 700,000 ohms Il semble qu'il y ait une singulière contradiction.

La résistance équivalante d'une batterie de condensateurs de 0.1 mf. pour une fréquence de 100,000 est de 14 ohms seulement. Les décharges ayant en général une périodicité bien plus élevée la résistance équivalente sera encore plus basse.

3. Surtensions.

On conçoit que les conditions de résonnance d'un réseau soient impossible à établir par le calcul, par la raison que l'on ne connaît d'avance ni les harmoniques des machines ni les capacités ou coefficients de self induction des appareils. Ces quantités varient d'ailleurs constamment avec le nombre des machines en marche, la longueur des lignes et la quantité d'appareils récepteurs en service.

Dans ces conditions tout calcul est illusoire et le seul but que l'on puisse se proposer est de trouver le moyen d'écouler les surtensions quand elles se produisent.

Conditions à réaliser par un limiteur de tension.

On a employé dans ce but des appareils à distance explossive en série avec des résistances.

Considérons figure 7 un enroulement de transformateur T ayant une self induction L et une capacité C par rapport à la terre, une résistance R, et une distance explosive P.

Le circuit ainsi formé R. P. S. T. est un circuit oscillatoire absolument semblable à celui que l'on emploie en télégraphie sans fil pour la production de la haute fréquence et si certaines conditions sont remplies le fonctionnement de l'appareil p enverra des courants de haute fréquence dans le transformateur.

Si l'on a CR² (4L il y aura résonnance et la forme du courant sera oscillatoire. Le régime est oscillatoire. Si au contraire CR² (4L il n'y aura plus de résonnance et la forme de la décharge sera celle de la figure 8.

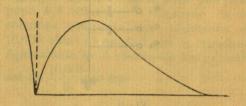


Fig. 8.

Si la résistance R est trop faible, il y aura production de courant de haute fréquence et la presque totalité du voltage de haute fréquence étant absorbée par les premières spires du transformateur, il se produira des perforations entre les spires de l'enroulement. Si la résistance est assez grande il n'y aura plus de production de haute fréquence mais le débit de l'appareil sera insuffi-

sant pour écouler les surtensions si elles sont importantes. Nous avons fait une expérience en employant un parafoudre à corne p une résistance liquide de 4000 ohms telles que celles généralement employées sur les réseaux de 8 à 10.000 volts. En S est une self induction composée d'une spirale en fer ayant une résistance d'environ 0.05 ohms et aux bornes de cette résistance se trouve une distance explosive e. Il est évident que si nous obtenons des étincelles en e, c'est que la spirale en fer sera traversée par des courants de haute fréquence.

Quand on fait fonctionner un parafoudre à cornes dans ces conditions avec une résistance R de 4 à 6.000 ohms on voit sur l'éclateur e des étincelles qui atteignent quelquefois 4 à 6 m/m de longueur, ce qui prouve que le fonctionnement du parafoudre engendre de la haute fréquence qui est envoyée dans le transformateur.

Avec d'assez grande valeur de résistance la haute fréquence disparaîtra.

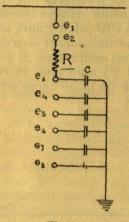


Fig. 9.

Il semblerait à priori qu'un appareil de protection efficace est impossible à réaliser puisque l'on se trouve pris entre ces deux alternatives, ou mettre de faibles résistances et créer de la haute fréquence dommageable pour les enroulements à protéger, ou mettre de grandes résistances et ne pouvoir écouler les surtensions assez rapidement. En réalité comme nous allons le montrer, on peut arriver à tourner cette difficulté.

Description et fonctionnement de la soupage éléctrique

L'appareil (fig. 9) se compose d'un premier éclateur e, --e, ayant en série une résistance R, et plusieurs éclateurs e₈ — e₄ e₈. Les éclateurs e₈ e7 sont réunis à la terre par l'intermédiaire de petits condensaters C ... C. Le dernier éclateur e8 est réuni directement à la terre par un conductenr métallique.

Supposons maintenant que la ligne soit au potentiel 10,000 volts et que la première distance explosive soit reglée pour fonctionner à 12,000 volts. La première boule e_i , est au potentiel 10,000 volts toutes les autres sont maintenues au potentiel zéro de la terre par l'intermédiaire des petits condensateurs. Quand il v aura une sustension atteignant 12000 volts il sautera une petite étincelle entre e, et e, et la boule e, qui était au potentiel zéro se mettra au potentiel 12,000 volts moins la chute de tension dans l'arc. Le courant qui passe dans l'étincelle est très petit car c'est seulement celui qui traverse les petits condensateurs, la chute de tension dans l'arc sera alors très grande soit environs 500 volts. Les boules e, et e, se mettront donc au potentiel 12,000 - 500 = 11,500. La boule e4 étant toujours maintenue au potentiel zéro et la boule e3 étant à 11,500 volts il sautera une étincelle entre e3 et e4 et e4 se mettra au potentiel 11,500 - 500 = 11,000 volts et ainsi de suite.

Les étincelles s'amorceront donc en cascades jusqu'à la boule es qui elle est réunie à la terre métalliquement. Quand la dernière étincelle e, es sera amorcée la décharge pourra passer directement de la ligne à la terre en suivant le chemin $e_1 \cdot e_2 \cdot R \cdot e_3 \cdot e_4 \cdot \ldots \cdot e_8$: La résistance R sera prévue assez grande pour éviter toute production de haute fréquence l'appareil aurait un débit qui pourrait se trouver insuffisant s'il s'agissait de surtensions produites dans un grand réseau. Néanmoins dans ce cas on peut constituer une soupape avec un débit quelconque en mettant des colonnes parallèles. En effet chacune des colonnes a un fonctionnement indépendant des autres et toutes les colonnes ne pouvant avoir un réglage rigoureusement identique elles ne commenceront jamais

à fonctionner en même temps.

Quand la tension montera (fig. 10) et arrivera par exemple en (a) l'une des colonnes ou soupapes commencera à fonctionner et si son débit est insuffisant pour l'écoulement de la surtension, le voltage continuera à monter et atteindra le point (b) où une deuxième soupape s'ouvrira, puis éventuellement une troisième soupape commencera à fonctionner. Si trois colonnes suffisent à l'écoulement de la surtension la tension ne pourra pas dépasser la valeur (cd) et à partir de ce point le voltage redescendra. On aura ainsi supprimé la pointe de tension qui sera produite en (a, e, f,). Suppo-

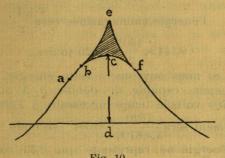


Fig. 10.

sons que l'on ait vérifié qu'une résistance de 10,000 ohms était suffisante pour éviter la production de la haute fréquence et qu'il y ait 10 colonnes en parallèle, nous aurons seulement 1000 ohms de résistance équivalente entre ces conducteurs, mais au point de vue de la production de la haute fréquence le résultat ne serait pas du tout le même, que si nous avions mis une seule colonne avec une résistance de 1000 ohms. En effet les soupapes s'ouvrent les unes après les autres et leur ensemble ne produira pas de phénomène oscillatoire alors que l'on en aurait certainement obtenu avec une seule colonne ayant une résistance de 1000 homs.

Nous avons vérifié expérimentalement ce résultat au moyen du montage de la fig. 7 et nous avons trouvé que quelque fut le nombre de colonnes en parallèle il n'y avait aucune production de haute fréquence à condition que la résistance individuelle d'une colonne fut assez

élevée Quand la tension aux bornes des soupapes descend très légèrement en dessous la tension pour laquelle est réglée l'éclateur e1-e2, les étincelles s'éteignent d'elles mêmes sans qu'aucun soufflage soit nécessaire.

Il en résulte que la soupape ne marche pas pendant toute la durée de la période mais seulement pendant le temps durant lequel se produit la tension. La soupape a donc pour effet d'enlever dans la courbe de voltage toutes les pointes de tension supérieures à la valeur pour laquelle elle est réglée. Nous avons fait sur cet appareil un relevé oscillographique en employant le shéma fig. 11, T est un transformateur dont le

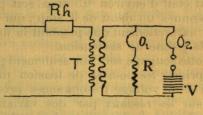


Fig. 11.

primaire contient une résistance pour la réglage de la tension, 0_1 est l'un de circuit d'oscillographe en série avec une grande résistance de 100,000 ohms, ce circuit sert à rélever la courbe de voltage; 02 est le deuxième circuit d'oscillographe monté en série avec une soupape à 6 colonnes, V. Chacune de ces colonnes comporte une résistance de 10,000 ohms ce qui fait que la résistance équivalente de 6 résistance en parallèle

est de
$$\frac{10,000}{6}$$
 = 1,666.

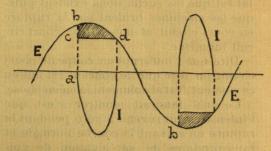


Fig. 12.

Nous donnons fig. 12, l'image de la courbe oscillographique. E représente la courbe de voltage et I le courant. On voit que la tension monte régulièrement suivant la courbe normale de a en b, point de réglage de la soupape. En ce moment la soupape s'ouvre et par le débit qu'elle provoque dans le circuit produit la chute de tension be, de e en e le voltage varie peu. En e la soupape se ferme et la courbe de tension reprend sa valeur normale jusqu'au e où la soupape s'ouvre de nouveau et le phenomène recommence. On a donc supprimé de la courbe de voltage tout ce qui était supérieure à la tension e de réglage de la soupape.

Nos expériences nous ont permis d'établir que le courant absorbé par une colonne au moment de son fonctionnement était d'environ 0,5 amp., soit pour 6 colonnes un débit de 3 amp, qui n'a lieu naturellement que pendant la durée de la pointe de surtension.

Cette soupape sert non seulement pour supprimer les pointes de tension de la courbe de voltage (résonnances produites sur les réseaux par des variations de régime) mais encore à écouler la quantité d'énergie emmagasinnée dans les altérnateurs ou transformateurs au moment de la rupture d'un court circuit par un interrupteur automatique ou par un fusible.

On a souvent prétendu que les automatiques coupant le courant au moment du zéro de l'intensité ne réproduisaient pas de surtension et pour le prouver on a relevé des courbes oscillographiques sur les ruptures de circuit en charge. Nous croyons qu'on n'a fait aucun relevé de ce genre sur les ruptures de court-circuit, et d'ailleurs le fait brutal est que les surtensions existent puisque les machines brùlent par la rupture en court circuit et non par le court circuit lui-même.

Dire que l'interrupteur coupe un court circuit ou dire que le courant est nul en ce moment c'est absolument la même chose.

Ce qu'il faudrait montrer c'est que l'intensité peut revenir à zéro pendant la rupture en suivant la courbe normale et sans produire de surélévation de voltage. C'est ce qui ne se produit jamais quand il s'agit de rompre un cour circuit.

On pourrait croire que les quantités

d'énergie emmagasinées dans un altérnateur au moment d'un court circuit sont énormes et qu'aucun appareil de dimensions raisonnables ne pourrait les écouler.

Cette énergie est au contraite très faible comme nous allons le montrer. Supposons un altérnateur triphasé de 1,000 KVA à 10,000 volts. Le voltage par phase sera de 5,800 volts et l'intensité 57 amp Si l'altérnateur à 15 % de chute de tension au régime normal le voltage réellement engendré dans la machine sera d'environ 6700 volts. Nous supposons que l'intensité du court-circuit soit 150 ampères. Si la fréquence est 50 périodes le coefficient de self induction sera:

$$L = \frac{6700}{310 \times 150} = 0.144$$

l'énergie emmagasinée sera $\frac{L I^2}{2}$

$$0.144 \times \frac{150^2}{2} = 1620$$
 joules.

Si nous ouvrons à cette énergie un chemin capable de débiter 3 A sous 6700 volts le temps nécessaire à l'écou-

lement
$$sera \frac{1620}{3 \times 6700} = 0.081$$
 seconde et

l'énergie ne représente que 0,39 calories; on voit que l'absorption de cette énergie dans les résistances des soupapes produira une élévation de température insignifiante.

Les caractères de cet appareil sont donc les suivants:

1) Absence absolue de création de haute fréquence par le fonctionnement de la soupape. Avec les parafoudres à cornes ou les appareils genre Würtz si on met en série des résistances assez grandes pour éviter la création de la haute fréquence, le débit de l'appareil devient trop petit, si l'on met de faibles résistances pour avoir une capacité suffisante d'écoulement il y a production de haute fréquence. Avec la soupape on peut avoir une capacité illimité d'écoulement.

2) Avec les appareils du genre de parafoudres à cornes une fois l'arc amorcé il se maintient pendant toute la durée de la période jusqu'à ce que le soufflage se produise. Il en résulte que s'il y avait une pointe de tension à chaque période et provenant par exemple d'une har-

monique de la tension, l'arc ne s'éteindrait jamais. Dans ces conditions, même avec des résistances de grande volume l'échauffement deviendrait tellement grand que ces résistances seraient rapidement mises hors de service. Si nous reprenons par exemple, l'exemple précédent et que nous admettions pour l'appareil à cornes un débit de 3 ampères sous 5800 volts soit 17,400 watts pour ne pas dépasser par un fonctionnement constant une surélévation de température de 60° il faudrait une surface de refroidissement de la résistance de 85000 c.m², ce qui serait irréalisable. C'est pour cette raison que dans le réglage des cornes on doit admettre des surtensions considérables pour l'amorsage.

La soupape au contraire n'enlève que les pointes de tension c. à. d. une quantité d'énergie peu considérable.

3) Les éclateurs réglables de la soupape sont enfermés dans des tubes en verre il n'y a donc pas à craindre de fonctionnement intempestif par suite de l'introduction de poussière entre les boules. Du reste comme nous l'avons dit les fonctionnements seraient sans inconvenients puisque l'extinction automatique se produit même avant la fin de la période ou elle a commencée. Enfin tout l'appareil est enfermé dans un cloche occupant un très petit volume pour des capacités beaucoup plus considérables que tous les limiteurs de tension connues.

Remarque. — Dans le cas ou l'on a à craindre que des surtensions entre conducteur l'on a pas besoin de réunir le point neutre des trois soupapes à la terre, de cette façon on peut faire le réglage d'une manière très précise. Si au contraire le point neutre des soupapes est réuni à la terre, il faut prévenir le cas où l'un des conducteurs de la ligne tomberait à la terre, ce qui ferait fonctionner les soupapes sans interruption. Dans ce cas on peut faire le réglage soit pour une surtension de 80 % soit mettre deux appareils dont l'un n'a pas son point neutre à la terre et est réglé pour fonctionner à une surtension faible et dont l'autre a son point neutre à la terre et est réglé pour une surtension de 80 %.

Conclusion.

En résumé pour effectuer d'une manière rationnelle la protection complète d'un réseau de distribution, il faut:

1) Ecouler les charges statiques en mettant constamment chacun des conducteurs à la terre au moyen d'un appareil laissant passer librement le courant continu tout en limitant le débit du courant altérnatif. Ce résultat peut-être obtenu ou moyen des selfs-induction à faible résistance ohmique. Pratiquemment et dans la plupart des cas, il suffira de relier les conducteurs à la terre au moyen des grandes résistances (appareil à jet d'eau ou résistances métalliques) car les charges statiques se développent en général assez lentement.

Dans le cas où l'on emploiera l'appareil Kühlmann (genre éléctroscope) il faudra mettre en série avec lui une résistance assez grande pour éviter la production de la haute fréquence par le fonctionnement de l'appareil lui-même.

2) Pour l'écoulement de la haute fréquence il faudra réaliser à l'entrée de chaque poste un point zéro de la tension pour ces courants. Il faut donc court-circuiter la haute fréquence à la terre par un appareil représentant pour celle-ci une résistance négligeable, tout en représentant une très grande résistance pour les courants à la fréquence normale du réseau. Le seul appareil de ce genre actuellement connu est le condensateur. Il faudra de plus entre le condensateur et l'appareil à protéger une self induction formant inertie et représentant une très grande résistance pour la haute fréquence et une très faible pour la fréquence normale de la ligne. Des spirales en fil de fer sans capacité remplissent parfaitement le but proposé.

Au point zéro de tension ainsi créé sur la ligne, correspond un maximum d'intensité représentant des centaines et même des milliers d'ampères; aucun appareil comportant dans son circuit une résistance élevée ne donnera donc la solution du problème. Aucun appareil comportant une distance explosive en série avec une faible résistance ne résoudra non plus le problème, car le

fonctionnement de l'appareil de protection engendra la haute fréquence qu'il est destiné à éviter.

3) Chaque fois que l'on coupera un court circuit par un interrupteur automatique ou chaque fois qu'une self induction se trouvera en série avec une capacité il y aura possibilité de surtension ou de résonnance.

Il faudra installer aux bornes de selfinduction et souvent aussi aux bornes de la capacité un limiteur du tension qui renfermera momentanément le circuit

ouvert par l'interrupteur.

Cet appareil devra être tel qu'il permette sans élevation de potentiel exagerée, un débit comparable à celui de la machine; il faudra de plus qu'il soit disposé pour que son fonctionnement propre n'engendre pas de haute fréquence.

Pour arriver à ce double but il est indispensable de grouper des appareils en parallèle, chacun d'eux possédant dans son circuit une résistance suffisante pour que la condition CR²/4L soit remplie.

GRÉG. D. PAÏCOS

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΝΕΑ

Άμερικανικόν θεῖον

Ή κυριωτέρα ἐπιχείρησις θείου ἐν ᾿Αμερικῆ ἦτο καὶ κατὰ τὸ 1914 ἡ Ἑταιρία Union Sulphur Co ἡ ὁποῖα παρήγαγε 375,000 Τ. Τὸ ποσὸν τοῦτο ἐξήχθη ἐκ τριῶν φρεάτων, περὶ τὸ τέλος ὅμως τοῦ παρελθόντος ἔτους ἤρ-

χισεν ή ἐκμετάλλευσις καὶ ἐξ ἄλλων φρεάτων πολὺ σπουδαιοτέρων, ὥστε νὰ ὑπολογίση τις πολὺ μεγαλειτέραν τὴν παραγωγὴν τοῦ τρέχοντος ἔτους, παρ' ὅλας τὰς ἐκ τοῦ Εὐρωπαϊκοῦ πολέμου ἀνωμαλίας, ἄν μάλιστα λάβη τις ὑπ' ὄψει ὅτι καὶ ἄλλη 'Αμερικανικὴ ἑταιρία ἡ Freeport Sulphur Co ἐργαζομένη εἰς Bryan Heights τοῦ Freeport Tex. συνεπλήρωσε τὰς ἐγκαταστάσεις της κατὰ τὸ λῆξαν ἔτος μὲ ἡμερησίαν παραγωγὴν 200 Τ.

Οὕτως ἡ 'Αμερικανική παραγωγή θείου ἰσορροπεῖ καὶ πλέον τὴν 'Ιταλικὴν ἥτις ἀνῆλθεν εἰς Τ. 381,978 κατὰ τὸ 1913. Εἰς τὰς θειοπαραγωγοὺς χώρας κατατάσσεται καὶ ἡ 'Ιαπωνία μὲ 49,131 Τ. ὡς καὶ διάφοροι ἄλλαι χῶραι

μὲ συνολικήν παραγωγήν 50000 Τ.

Ρουμανικόν πετρέλαιον.

Ή παραγωγὴ ἀκαθάρτου Ρουμανικοῦ πετρελαίου ἡλαττώθη κατὰ $5,40~^{0}/_{0}$ κατὰ τὸ λῆξαν ἔτος ἐν συγκρίσει πρὸς τὸ 1913, ἐξαχθέντων 1,783,947. Τ.

Παραγωγή ἀσβεστοκυαναμίδης.

Ή παραγωγή τοῦ ἀζωτούχου τούτου λιπάσματος ἀνῆλθε κατὰ τὸ 1914 εἰς τὰ ἐξῆς ποσά.

Γερμανία	T.	36,000
Αὐστοο Οὐγγαρία	>	24,000
Ήνωμέναι Πολιτεΐαι	>	64,000
Γαλλία	>	7,500
Ίταλία	>	22,500
'Ιαπωνία	>	7,500
Νορβηγία		23,500
Σουηδία		17,000
Έλβετία		7,500
		09.500

Α. Σ. ΣΚΙΝΤΖΟΠΟΥΛΟΣ