

Robert MIMEUR
Ex-Professeur de l'Enseignement Technique

TECHNIQUE du PETIT APPAREILLAGE ÉLECTROMÉCANIQUE

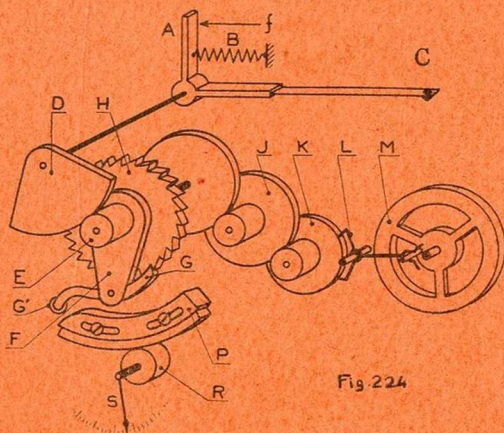


Fig 224

Préface de M. BRAILLE,
Directeur de l'Ecole Nationale Professionnelle d'Horlogerie, Petite Mécanique
et Appareillage de CLUSES

— 1949 —
PHILIPPE CHARAT
Editeur
PONT-DE-BEAUVOISIN
(SAVOIE)





Robert MIMEUR

Ex-Professeur de l'Enseignement Technique

TECHNIQUE

du PETIT APPAREILLAGE

ÉLECTROMÉCANIQUE

Préface de M. BRAILLE,

Directeur de l'Ecole Nationale Professionnelle d'Horlogerie, Petite Mécanique
et Appareillage de CLUSES

— 1949 —

PHILIPPE CHARAT

Editeur

PONT-DE-BEAUVOISIN

(SAVOIE)

*Tous droits de reproduction et traduction
interdits pour tous pays.*



PRÉFACE

Le Petit Appareillage électrique représente, sur le plan économique, un vaste champ d'activités où la Technique règne en maîtresse. Les spécialistes ne l'ignorent pas. Ils en connaissent toute l'importance. Ils savent que leurs réalisations ne peuvent souffrir la médiocrité. Ils peuvent, seuls, se faire une idée exacte de la multiplicité des considérations tant théoriques que matérielles dont ils doivent tenir compte pour que leurs œuvres connaissent le succès.

Cependant, la perfection du fonctionnement des organes employés et la grande modestie de ligne des boîtiers qui en dérobent la complexité réelle aux yeux des usagers n'ont-elles pas pour conséquence inévitable de laisser croire à ceux-ci que tous les phénomènes exploités sont d'une grande simplicité.

A chacun ses soucis. Ceux du professionnel de l'appareillage électrique ne sont pas des moindres comme vous pourrez en juger, même si vous ne faites que parcourir cet ouvrage.

L'exposé clair et concis a été débarrassé volontairement de ce caractère d'abstraction qui en rendrait la lecture pénible au profane. Le texte, abondamment illustré de schémas d'une grande simplicité permet à tous de suivre sans fatigue la longue suite des chapitres qui en font décidément un ensemble complet. Toutes les principales questions qu'il convenait de traiter ont été abordées en allant progressivement du simple au composé.

Elèves d'établissements scolaires d'Enseignement Technique, artisans, techniciens de l'industrie, spécialistes de l'appareillage trouveront ici de précieux renseignements qui ne sont réunis nulle part ailleurs. Ce livre manquait. Il sera pour tous un précieux instrument de travail. Il contribuera à renseigner objectivement ceux qui n'auraient ni le temps ni les moyens de consulter l'importante documentation technique qui s'y trouve condensée.

L'auteur possède une expérience industrielle de premier ordre, il a, de plus, consacré une partie de sa carrière à l'enseignement. Il nous fait ainsi bénéficier des deux grandes qualités qui résultent de la conscience avec laquelle il a su se consacrer à toutes ses tâches.

Le réalisme et la clarté.

Grâce à son vaste travail de synthèse, un peu de lumière sera jetée sur un sujet aussi complexe que celui qu'il vient d'avoir l'audace de traiter.

H. BRAILLE.

Directeur de l'École Nationale
Professionnelle d'Horlogerie
de CLUSES.



AVANT-PROPOS

Ce livre s'adresse à tous les Professionnels de la petite mécanique de précision et de l'électricité. Devant l'importance du sujet, l'auteur a jugé bon de se fixer des limites. C'est ainsi qu'il n'a pas traité des machines tournantes, de l'horlogerie électrique, des machines parlantes, T.S.F., Télévision, Radar, etc., pour lesquels la littérature technique est plus abondante.

Voulant être compris par tous, il a laissé de côté les développements mathématiques non immédiatement utilisables. Cependant, il a été contraint d'inclure quelques calculs et formules indispensables à la compréhension.

Tous les symboles, abréviations, schémas, sont conformes aux normalisations en vigueur.

Un aide-mémoire, placé à la fin du volume, rappelle au lecteur le sens de tous les symboles et abréviations employés.

L'auteur adresse ses remerciements à tous les Etablissements français et étrangers qui ont bien voulu le documenter largement sur leurs récentes créations. Peut-être, lors de la parution du livre, certains chapitres paraîtront-ils déjà dépassés, la technique de l'automatisme progressant à pas de géant. Malgré tout, les applications changent, mais les principes demeurent.

Il sollicite les avis, suggestions et critiques de ses lecteurs et, s'engageant à en tenir le plus grand compte, il les en remercie d'avance.

LIVRE I

AVANT-PROPOS

Ce livre s'adresse à tous les Professionnels de la petite mécanique de précision et de l'électricité. Devant l'importance du sujet, l'auteur a jugé bon de se limiter des limites. C'est ainsi qu'il n'a pas traité des machines tournantes, de l'horlogerie électrique, des machines perforantes, T.S.F., Télévision, Radar, etc., pour lesquels la littérature technique est abondante.

Voulant être complet, l'auteur a laissé de côté les développements mathématiques immédiatement utilisables. Cependant, il a été contraint d'inclure quelques calculs et formules indispensables à la compréhension.

Tous les symboles, abréviations, schémas, sont conformes aux normalisations en vigueur.

Un aide-mémoire, placé à la fin du volume, rappelle au lecteur le sens de tous les symboles et abréviations employés.

L'auteur adresse ses remerciements à tous les Etablissements français et étrangers qui ont bien voulu le documenter largement sur leurs récentes créations. Peut-être, lors de la parution du livre, certains chapitres paraîtront-ils déjà dépassés, la technique de l'automatisme progressant à pas de géant. Malgré tout, les applications changent, mais les principes demeurent.

Il sollicite les avis, suggestions et critiques de ses lecteurs et, s'engageant à en tenir le plus grand compte, il les en remercie d'avance.



LIVRE I

CHAPITRE I.

Conducteurs, Isolants, Canalisations

Sommaire

CHAPITRE I.

Conducteurs et Matériaux Electriques.

Généralités sur les conducteurs et les isolants. Résistivité. Variation de la résistivité avec la température. Choix d'un conducteur.

Propriétés et emplois des principaux conducteurs et matériaux magnétiques. Cuivre et alliages. Aluminium et alliages. Zinc. Etain. Plomb. Tungstène. Molybdène. Alliages pour résistances et rhéostats. Nickel. Fer et alliages. Métaux précieux. Mercure. Eau. Carbone et dérivés.

CHAPITRE II.

Isolants.

Généralités sur les isolants. Résistivité et rigidité diélectrique. Choix d'un isolant.

Propriétés et emplois des principaux isolants. Paraffine. Porcelaine. Verre. Pyrex. Quartz. Marbre. Gutta-percha. Caoutchouc. Ebonite. Fibre. Bois, papiers, cotons et produits à base de cellulose. Résine. Cire. Gomme laque. Bakélite.

Isolants spéciaux pour appareils thermiques. Amiante. Mica. Terres réfractaires.

CHAPITRE III.

Canalisations Electriques.

La pose d'une canalisation électrique. Choix de la section du conducteur. Densité de courant. Choix de l'isolant recouvrant le conducteur.

Canalisations extérieures. Canalisations souterraines. Canalisations intérieures. Canalisations sous basses tensions. Effets d'induction et de capacité dans les lignes traversées par des courants variables.

Appareillage de branchement. Boîtes et blocs de jonction. Prises de courant, fiches, douilles d'ampoules.

LIVRE I

Conducteurs, Isolants, Canalizations

Sommaire

CHAPITRE I.

Conducteurs et Matériaux Electriques.

Généralités sur les conducteurs et les isolants. Résistivité. Variation de la résistivité avec la température. Choix d'un conducteur.

Propriétés et emplois des principaux conducteurs et matériaux magnétiques. Cuivre et alliages. Aluminium et alliages. Zinc. Etain. Plomb. Matériaux Molybdène. Alliages pour résistances et rhéostats. Nickel. Fer et alliages. Métaux précieux. Mercure. Eau. Carbone et dérivés.

CHAPITRE II.

Isolants.

Généralités sur les isolants. Résistivité et rigidité diélectrique. Choix d'un isolant.

Propriétés et emplois des principaux isolants. Paraffine. Porcelaine. Verre. Papier. Quartz. Marbre. Gutta-percha. Caoutchouc. Ébonite. Fibre. Bois. Papier, coton et produits à base de cellulose. Résine. Cire. Gomme japon. Bakélite.

Isolants spéciaux pour appareils thermiques. Amiante. Mica. Tapes réfractaires.

CHAPITRE III.

Canalizations Electriques.

La pose d'une canalisation électrique. Choix de la section du conducteur. Densité de courant. Choix de l'isolant recouvrant le conducteur.

Canalizations extérieures. Canalizations souterraines. Canalizations intérieures. Canalizations sous basses tensions. Etats d'induction et de capacité dans les lignes traversées par des courants variables.

Appareillage de branchement. Boîtes et blocs de jonction. Prises de courant, fiches, douilles d'ampoules.

CHAPITRE I.

Conducteurs et Matériaux Electriques.

GENERALITES SUR LES CONDUCTEURS ET ISOLANTS. RESISTIVITE.

Tous les corps existant dans la nature peuvent être considérés comme des conducteurs de l'électricité, même ceux que l'on a coutume d'appeler « isolants ». La distinction faite entre conducteurs et isolants est une donnée essentiellement pratique ; il serait plus exact d'employer les termes « bons conducteurs » et « mauvais conducteurs » de l'électricité, bien que ces appellations prêtassent encore à confusion. Ne considère-t-on pas l'eau, par exemple, comme bon ou mauvais conducteur, suivant les cas où on l'emploie ?

En tout état de cause, seule la notion de Résistivité permet un classement méthodique des matières employées en électricité. Pour trouver la résistance d'un volume quelconque d'un corps donné, on multiplie le coefficient de résistivité de ce corps par sa longueur, et on le divise par sa section.

Le coefficient de résistivité ρ est donné, suivant les ouvrages, soit en microhms ($1 \mu\Omega = 10^{-6}$ Ohm) par centimètre de longueur et par centimètre carré de section, soit en Ohms par mètre de longueur et par millimètre carré de section. Nous adopterons dans cet ouvrage la première de ces deux notations.

Exemple : Quelle est la résistance d'un fil de cuivre de 1 mm^2 de section et d'une longueur de 1 km . ?

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{1,6 \times 10^5}{10^{-2}} = 16.10^6 \mu\Omega \text{ ou } 16 \text{ Ohms.}$$

Pratiquement, on a coutume d'appeler « conducteurs » les corps dont la résistivité ne dépasse pas quelques Ohms/cm. 2 .

VARIATION DE LA RESISTIVITE AVEC LA TEMPERATURE.

La résistivité des conducteurs et des isolants est donnée, sauf indication contraire, pour une température de 0° centigrade du corps considéré. En ce qui concerne les conducteurs, elle augmente généralement avec la température ; font exception les liquides non métalliques, le Carbone sous toutes ses formes et les oxydes de terres rares (oxydes alcalino-terreux) dont la résistivité diminue quand la température s'élève.

La variation de résistivité avec la température s'exprime par la formule :

$$\rho_t = \rho_0 (1 + kT)$$

dans laquelle :

ρ_0 est la résistivité à 0° centigrade,

k est un coefficient propre à chaque conducteur, et appelé « coefficient de température »,

et T est la température du corps, en degrés centigrades.

Remarque : D'après ce qui précède, on peut écrire :

Résistance du corps à T° : $R_t = R_0 (1 + kT)$.

Intensité du courant traversant un corps donné, à T° :

$$I_t = \frac{I_0}{1 + kT}$$

CHOIX D'UN CONDUCTEUR.

La notion de résistivité d'un corps ne suffit pas pour justifier son choix pour un usage donné en électricité. Suivant les cas, on se guidera sur les caractéristiques suivantes :

- 1° — Résistivité et coefficient de température.
- 2° — Propriétés mécaniques appropriées à l'emploi : résistance à la traction, module élastique, fragilité, facilités d'usinage, etc...
- 3° — Propriétés chimiques : oxydabilité, altérabilité, action sur les matières en contact, etc.
- 4° — Propriétés thermiques : point de fusion, dilatabilité, conductibilité thermique, etc...
- 5° — Prix de revient.

PROPRIÉTÉS ET EMPLOIS DES PRINCIPAUX CONDUCTEURS ET MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES.

CUIVRE ET ALLIAGES.

Cuivre : Résistivité : $1,56 \mu\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$.

Coefficient de température : 0,0042.

Le cuivre pur, ou cuivre rouge, est le meilleur des conducteurs (l'argent mis à part). Il est employé dans les fils de bobinage (sauf dans les cas où l'on a besoin d'une résistance invariable avec la température), et dans les canalisations intérieures et souterraines.

Sa résistance à la traction, et ses qualités mécaniques sont faibles : c'est ce qui empêche l'emploi du cuivre pur dans les canalisations aériennes et dans les pièces d'appareillage.

BRONZES.

Résistivité : 1,7 à 15 $\mu\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$.

Coefficient de température : 0,003 à 0,004.

Les bronzes sont des alliages de cuivre, et dans des proportions variables d'étain, de zinc, de plomb, de phosphore, de silicium, d'aluminium, etc. En général, ces additions confèrent aux alliages une amélioration sensible des qualités mécaniques, telle que la résistance à la traction, qui s'élève à 120 kg/mm² dans le bronze au chrome-silicium (Cuivre pur : 27 kg/mm²). On les utilise alors pour les canalisations aériennes, malgré un accroissement sensible de la résistivité, ainsi que pour les antennes de T.S.F.

BRONZE PHOSPHOREUX.

Composition : Cu : 85 % ; Sn : 2 % ; Ph : 5,6 % ;

Résistivité : 4 $\mu\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$.

Coefficient de température : 0,00064.

Le bronze phosphoreux, outre sa grande résistance à la traction (60 kg/mm²) présente également une grande résistance au frottement. Il est couramment employé pour les coussinets et collecteurs de moteurs et dynamos, ainsi que pour les ressorts-spiraux d'appareils de mesure.

BRONZE DE GLUCINIUM.

Composition : Cu : 97 % ; Be : 2,3 % ;

Résistivité : 6 $\mu\Omega$ /cm./cm² ;

Coefficient de température : 0,004.

Après trempe et revenu, cet alliage est dur, très élastique et remarquablement résistant à la fatigue et à l'usure. De réalisation assez récente, son emploi en électricité se limite à l'heure actuelle aux lamelles ressorts pour contacts et aux paliers de machines tournantes. Il devrait donner de bons résultats pour les collecteurs de moteurs et dynamos.

CHRYSOCAL.

C'est un alliage de cuivre, de nickel et de fer qui, à l'état écroui, est élastique et permet, comme le bronze de glucinium, la réalisation de lamelles-ressorts pour contacts.

LAITON.

Composition : Cuivre, étain et zinc dans des proportions variables ;

Résistivité : 5,5 à 8 $\mu\Omega$ /cm./cm² ;

Coefficient de température : 0,001.

La grande facilité d'usinage du laiton le rend très intéressant pour la confection de pièces d'appareils électriques. Il n'est pas utilisé sous la forme de fils conducteurs, car il est plus cassant que le cuivre et le bronze.

MAILLECHORT.

Composition : Cu : 60 % ; Ni : 15 % ; Zn : 25 % ;

Résistivité : 30 $\mu\Omega$ /cm./cm² ;

Coefficient de température : 0,00036.

Le maillechort, qui s'usine comme le laiton, coûte plus cher, mais présente le gros avantage d'être moins oxydable à chaud. Il est très utilisé pour les connexions d'appareils thermiques.

ALUMINIUM ET SES ALLIAGES.

Aluminium : Résistivité : 2,8 $\mu\Omega$ /cm./cm² ;

Coefficient de température : 0,0039.

L'aluminium est très employé en électricité, soit à l'état pur, (dans le cas où l'on craint la corrosion) soit plutôt sous la forme de duralumin ou d'autres alliages.

Résistivité du Duralumin : 4 $\mu\Omega$ /cm./cm² ;

Coefficient de température : 0,004.

Le Duralumin offre à l'usinage des facilités presque aussi grandes que le laiton. Il est donc tout indiqué pour les pièces d'appareillage. De plus, il est beaucoup plus léger :

Densité du Duralumin : 2,7 ;

Densité du Laiton : 8.

Il s'oxyde à sec beaucoup plus difficilement que le cuivre et ses alliages ; par contre, à l'air humide, et surtout en présence d'autres métaux, il se corrode très rapidement. Enfin, le cuivre et ses alliages sont importés, alors que l'aluminium est français.

Il résulte de cette comparaison que le cuivre et ses alliages ont des possibilités d'utilisation très voisines de celles de l'Aluminium et de ses alliages. Le choix de l'une ou de l'autre de ces deux matières devra donc résulter d'une étude très sérieuse, que ce soit pour déterminer le plus solide, le plus durable, le meilleur conducteur ou le plus économique de chacun d'eux (1).

L'aluminium ou ses alliages sont très employés, planés, pour les plaques de condensateurs variables de T.S.F. On en fait également des blindages électrostatiques pour la haute fréquence, des rotors de moteurs et compteurs à champ tournant, des pièces d'équipage mobile d'appareils de mesure, etc. L'Aluminium constitue une des armatures des condensateurs électrolytiques, et sert à faire certains fils fusibles.

ZINC.

Résistivité : $5,6 \mu\Omega/\text{cm}./\text{cm}^2$;

Coefficient de température : 0,0036.

Ce métal est presque exclusivement employé en crayons ou en plaques, pour les électrodes négatives des piles, soit pur, soit amalgamé à du mercure. (Livre II)

ETAIN.

Résistivité : $13,2 \mu\Omega/\text{cm}./\text{cm}^2$;

Coefficient de température : 0,0044.

L'Etain a des qualités mécaniques médiocres, sauf sa malléabilité qui est remarquable. On en fait des armatures de condensateurs fixes, de machines électrostatiques, etc.

On l'emploie allié au plomb pour les soudures dites « à l'Etain ». Voici quelques proportions d'alliages, correspondant chacune à une température de fusion. La soudure qui fond à la plus haute température est la plus solide.

Etain 66 % Plomb 33 % Température de fusion : 180°

Sn 50 % Pb 50 % Température de fusion : 213°

Sn 33 % Pb 66 % Température de fusion : 240°

Dans la proportion de 40 % d'étain et 60 % de Plomb, l'alliage est employé sous la forme de fils fusibles pour les coupe-circuits

(1) Ces considérations sont valables pour des conditions normales d'approvisionnement.

PLOMB.

Résistivité : $19 \mu\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$.

Coefficient de température : 0,0042.

Le Plomb est principalement employé à former les plaques d'accumulateurs au Plomb. Allié à l'Étain, on a vu qu'il sert aux soudures et fils fusibles. En rondelles, il réalise une liaison électrique efficace entre des corps plus durs ou de faible conductibilité (résistance au graphite). Son travail est facile, au simple couteau mouillé. Il est nécessaire pour assurer le contact, de gratter préalablement ses faces, pour les débarrasser de l'oxyde qui recouvre presque instantanément le plomb laissé à l'air libre.

Les cuves destinées à l'électrolyse sont intérieurement tapissées de plomb, pratiquement inattaquable aux acides.

Le plomb se soude très bien à lui-même, mais il faut le décaper à l'aide de stéarine. (Les soudeurs de tuyaux de plomb se servent d'une bougie comme décapant).

TUNGSTÈNE, MOLYBDÈNE.

Ce sont des métaux rares, très lourds et difficilement oxydables, même à chaud. Ils sont très utilisés pour les filaments de lampes à incandescence, et dans les fours travaillant à haute température (tableau ci-après). Le Tungstène réalise certains contacts : magnétos, trembleurs, allumeurs rotatifs pour automobiles, etc...

Remarque.— Le tungstène est un des corps les plus durs existant dans la nature. La fixation sur les appareils de pastilles de tungstène servant de contacts ne peut se faire ni par rivetage, ni par vissage. Il est nécessaire de braser au cuivre ces pastilles sur leurs supports ; cette opération est délicate, et ne peut être entreprise sans un outillage spécial.

MATIÈRES ET ALLIAGES POUR RÉSISTANCES, RHÉOSTATS, APPAREILS CHAUFFANTS.

(Voir tableau page suivante)

Tous les alliages ci-dessus ont une résistivité relativement élevée et servent aux applications thermiques de l'électricité. Nous nous sommes borné à quelques alliages types, qui comprennent de nombreuses variantes.

Les alliages au Nickel-Chrome supportent très bien les échauffements et refroidissements successifs, et ont l'avantage supplémentaire de posséder un coefficient de dilatation très faible. Les alliages RNC et similaires sont recouverts d'une pellicule d'oxyde adhérente et résistante, et jusqu'à 600° , on peut les enrouler à spires jointives sans risque de court-circuits, pourvu que la chute de tension entre deux spires voisines soit inférieure à 2 volts. Ils existent dans le commerce en fils et en rubans. A section égale, le ruban offre une plus grande surface rayonnante.

Le constantan et la manganine ont une résistance pratiquement invariable dans les limites de la température ambiante. Leur utilisation principale est la confection de bobinages additionnels et de shunts pour ap-

MATIÈRES ET ALLIAGES POUR RESISTANCES, RHEOSTATS, APPAREILS CHAUFFANTS.

Matière	Composition	Résis- tivité $\rho, \Omega \text{ cm/cm}^2$	k	Température limite d'emploi	Utilisation
Maillechort	Cu 60%, Zn 25%, Ni 15%	30	0,00027	200°	Bornes, visserie d'appareils chauffants
Manganine	Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%	46	0,00002	à	
Constantan	Cu 60%, Ni 40%	50	0,00002	300°	Appareils de mesure
Ferro-Nickel	Fe 74%, Ni 25%, C 0,8%	80	0,0004	400°	Rhéostats
RNC 0		74	0,0008	400°	Rhéostats, résistances
RNC 1	Fe 50%, Ni 35%, Cr 15%	100	0,0003	600°	Résistances températures moyennes
RNC 2	Fe 30%, Ni 60%, Cr 10%	111	0,0001	900°	Radiateurs, réchauds, fers
RNC 3	Ni 80%, Cr 20%	96	0,00005	1100°	Fours
RCA 44	Alliage Fe, Cr, Al.	140	0,0004	1250°	Fours
Carbure de Silicium (Carborundum)		900 à 5000	négligeable	1400°	Fours
Platine		11	0,0036	1500°	Fours
Molybdène		5,7	0,0033	2200°	Fours, fusion de métaux
Tungstène		5,5	0,0045	2500°	Fusion de métaux
Charbon ou graphite		800 à 7000	environ — 0,0002	2700°	Fusion de métaux

pareils de mesures (Livre V)

Les alliages fer-chrome-aluminium sont tout indiqués pour les températures de 1.000 à 1.250°. Ils sont assez dilatables ; il faut tenir compte de cette particularité dans l'établissement des fours.

NICKEL.

Résistivité : 10 $\mu\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$.

Coefficient de température : 0,0062.

Le Nickel est un métal faiblement magnétique. Cette propriété disparaît quand on le chauffe vers 300° (Point de Curie).

Le Nickel entre dans la composition de nombreux alliages résistants et de nombreux alliages aux propriétés magnétiques remarquables, que nous verrons plus loin. A l'état pur, il n'est surtout employé que dans les applications où son coefficient de température élevé et sa faible oxydabilité sont avantageux : Sondes thermométriques pour la pyrométrie, par exemple.

FER ET ALLIAGES.

Résistivité du fer : 9 $\mu\Omega/\text{cm}/\text{cm}^2$.

Coefficient de température : 0,0055

Le fer et ses alliages sont employés en électricité presque exclusivement pour leurs propriétés magnétiques. Le fer doux (fer pur de Suède, fer Armco) sert aux pièces polaires, noyaux et armatures d'électro-aimants, de moteurs et de dynamos, car il ne possède que très peu d'induction rémanente.

On emploie pour les mêmes usages le ferro-Silicium (fer allié à plus de 3 % Si, et 0,5 % environ de carbone) et certains alliages au Nickel (Permax, Mumétal, Anhyster, etc.) qui ont pour caractéristiques un très faible coefficient d'hystérésis ou une très haute perméabilité pour de faibles champs.

Les alliages à haute perméabilité servent à faire des électro-aimants très sensibles, des éléments d'appareils de mesures, et des blindages magnétiques destinés à isoler certains appareils des champs magnétiques extérieurs. Pour obtenir leurs caractéristiques maxima, il est indispensable de faire suivre leur usinage d'un traitement thermique approprié (recuits) indiqué par le fabricant.

On réduit dans certains cas (hautes fréquences, T. S. F.) les pertes par hystérésis et courants de Foucault en remplaçant les tôles par du fer pulvéulent. La perméabilité s'en trouve diminuée par suite de la multiplicité des entrefers créés entre les grains de métal.

Remarque. — Les tôles au Silicium sont vendues dans le commerce sous le nom de « tôles dynamo ». On les trouve en différentes qualités, caractérisées chacune par un nombre exprimant les pertes par Hystérésis par kg de tôle, et pour une induction maximum de 10.000 gauss, et pour 50 cycles par seconde : tôles de 3,6 watts, 1,6 watt, etc.

Le coefficient de température élevé du fer le fait employer pur dans les ampoules régulatrices Fer-Hydrogène (Livre VI)

ACIERS.

Les aciers (combinaisons Fe-C) sont surtout utilisés, après addition de divers constituants, pour la confection d'aimants permanents. Les aimants naturels sont des minerais d'oxydes magnétiques $Fe^3 O^4$. Ils ne sont plus employés, car ils sont très inférieurs aux aimants artificiels.

Les aciers destinés aux aimants artificiels sont notamment :

Les aciers au Manganèse et au Chrome,

Les aciers au tungstène, (5 à 6 % de Tungstène),

Les aciers au cobalt (10 à 35 % de Cobalt), au Cobalt-chrome et au cobalt-titane,

Les aciers au Nickel-aluminium (Fe 65 %, Ni 25 %, Al 10 %) et leurs dérivés.

Les récentes recherches qui ont abouti à la création des aciers au cobalt et au nickel-aluminium ont permis des simplifications et des réductions d'encombrement importantes dans certains appareils, notamment les magnéto d'automobile et d'aviation (Livre III), les appareils de mesures (Livre V).

En chauffant les matières magnétiques, et l'acier en particulier, il est une température dite « point critique » ou « point de Curie » à partir de laquelle celui-ci perd ses propriétés magnétiques. Il se trouve que ce point critique correspond au point de transformation des aciers trempants, c'est-à-dire la température optimum pour la trempe. Cette propriété est utilisée dans certains fours électriques à tremper.

ALLIAGES FERREUX NON MAGNETIQUES.

Les alliages suivants :

Fer 87 %, Manganèse 13 %.

Fer 74 %, Nickel 8 %, Chrome 18 % (inoxydable)

sont à peu près insensibles à l'action des champs magnétiques, tout en offrant des qualités mécaniques supérieures à n'importe quel métal amagnétique. On les emploie pour des ressorts, des frettages d'induits, etc.

ALLIAGES FERREUX POUR RACCORDEMENT AU VERRE.

Pour des sorties d'ampoules, et en général dans tous les cas où un métal doit être soudé à du verre, il importe que les deux matières possèdent, du moins dans les températures d'emploi, le même coefficient de dilatation. On emploie :

le platinite (Alliage Fer-nickel) ;

le fernico (Alliage fer-nickel-cobalt).

le ferro-chrome (alliage à 15 % de chrome).

METAUX PRECIEUX.

Les métaux précieux possèdent en électricité l'avantage de ne s'oxyder que très lentement, ce qui les rend intéressants en appareillage pour la réalisation des contacts.

ARGENT.

Résistivité : $1,47 \mu\Omega/\text{cm.}/\text{cm}^2$;

Coefficient de température : 0,004.

L'argent est utilisé dans tous les cas où l'on a besoin d'une très haute conductibilité. Il offre l'avantage d'être très malléable, et sert à faire des spiraux et ressorts de rappel dans les appareils où les efforts en jeu sont minimes. L'argent est en outre un des rares conducteurs dont l'oxyde soit également conducteur, ce qui constitue un avantage supplémentaire lorsque l'argent s'oxyde après de nombreuses étincelles. On en fait aussi des fils fusibles.

OR.

Résistivité : $2,2 \mu\Omega/\text{cm.}/\text{cm}^2$;

Coefficient de température : 0,0037.

L'alliage or-chrome possède une résistivité rigoureusement constante avec la température. Il est utilisé pour la confection de résistances étalons.

PLATINE.

Résistivité : $11 \mu\Omega/\text{cm.}/\text{cm}^2$;

Coefficient de température : 0,0036.

Le platine est particulièrement choisi pour les contacts sous température élevée. On l'emploie pur ou allié à l'iridium, sous le nom de platine iridié, le meilleur alliage pour contacts, mais aussi le plus cher.

Les fils pour appareils de mesures thermiques sont souvent en alliage platine-argent (33 % Pt, 67 % Ag) dont le coefficient de température est faible : 0,00034, et le coefficient de dilatation élevé.

MERCURE.

Résistivité : $94 \mu\Omega/\text{cm.}/\text{cm}^2$;

Coefficient de température : 0,0009.

Le mercure est un métal simple, liquide aux températures ambiantes. On l'utilise de plus en plus pour en faire des contacts électriques (Livre VI)

EAU.

Résistivité de l'eau de source : 5.300 Ohms/cm./cm² ;

Résistivité de l'eau de Seine : 2.000 Ohms/cm./cm² ;

Résistivité de l'eau contenant du bicarbonate de soude à saturation : 70 Ohms/cm./cm² ;

Résistivité de l'eau acidulée sulfurique à 26° Baumé : 0,82 Ohms/cm./cm².

L'eau pure est employée pour faire des résistances et rhéostats sous hautes tensions ; pour les basses tensions, on emploie souvent l'eau alcaline.

L'eau acidulée sulfurique sous 20 à 28° Baumé est employée comme électrolyte des accumulateurs au plomb et de certaines piles. Additionnée

de potasse caustique, elle sert d'électrolyte dans les accumulateurs alcalins (Détails Livre II).

CARBONE.

Le carbone et ses dérivés sont employés sous plusieurs formes en électricité. Sa résistivité varie entre 0,0008 Ohm et 5 Ohms/cm./cm². C'est le seul corps simple dont la résistivité décroît quand la température s'élève.

Charbons de Lampes à Arc : Ils sont préparés sous forme de crayons, par compression et dessiccation au four à haute température, d'une pâte à base de noir de fumée, obtenue à partir d'une substance organique. On y mélange quelquefois du goudron.

Charbons de Piles : Ce sont des charbons de cornue, en plaques, crayons ou agglomérés, qui forment l'électrode positive de la plupart des piles. Leur extrémité est parfois revêtue, par électrolyse, d'une pellicule de cuivre, qui facilite leur raccordement au circuit extérieur.

Membranes de charbon pour microphones : Ce sont des disques minces de charbon de cornue, présentant parfois des bossages pour augmenter la surface de contact des grains de charbon. La face en contact avec ces grains est polie, pour la résistance de contact.

Grainille de charbon : Elle se compose de billes de petit diamètre, ou d'éclats irréguliers de charbon. Dans les microphones récents, on place des billes de diamètres différents, afin d'obtenir des sensibilités égales de l'appareil pour les différentes fréquences audibles.

Balais : Les balais des machines électriques tournantes sont des blocs de charbon de cornue, de charbon graphitique, de graphite ou d'aggloméré métallographitique, assurant la liaison entre le collecteur et le circuit extérieur. Le charbon est, malgré sa résistivité importante, particulièrement intéressant pour sa résistance au frottement. Sa résistivité est même dans certains cas un avantage pour atténuer les étincelles de commutation.

Graphite : Le graphite ou mine de plomb, carbone naturel presque pur, est utilisé dans les résistances fixes de T.S.F., sous forme d'une couche très mince appliquée sur un support isolant, et protégée par une peinture vitrifiante. Certains rhéostats et potentiomètres sont également à base de graphite.

Il sert en outre à faire des résistances chauffantes pour des températures élevées, jusqu'à 2.700°. On l'emploie dans ce cas sous forme de baguettes, de plaques, de tubes ou de creusets.

CHAPITRE II.

Isolants.

GENERALITES SUR LES ISOLANTS, RESISTIVITE ET RIGIDITE DIELECTRIQUE.

Nous avons vu que seule la notion de résistivité d'un corps permet de situer exactement ce corps dans l'échelle des bons et mauvais conducteurs de l'électricité. Mais alors que les plus résistants des corps dits « bons conducteurs » ont une résistivité de quelques Ohms/cm./cm², nous trouverons pour les moins résistants des corps dits « isolants » une résistivité de l'ordre de plusieurs centaines de Mégohms/cm./cm² (1 MΩ = 1 million d'Ohms).

Le choix d'un isolant n'est pas uniquement conditionné par sa résistivité. Il faut également faire entrer en ligne de compte la plus ou moins grande facilité avec laquelle un corps se laisse traverser par une *décharge disruptive* ou étincelle électrique. On appelle cette propriété la « rigidité diélectrique » du corps. Un isolant peut avoir une haute résistivité et une faible rigidité diélectrique. Comme la puissance disruptive d'une étincelle électrique croît avec la différence de potentiel entre les électrodes, le choix d'un isolant devra donc être fait en tenant compte de la tension à laquelle il sera soumis.

Le coefficient de rigidité diélectrique d'un corps est exprimé par le quotient de la plus petite différence de potentiel qui produise une étincelle à travers ce corps, par l'épaisseur de la partie traversée. Il s'exprime en kilovolts (1 kV = 1.000 V) par centimètre.

Remarque : La rigidité diélectrique varie avec beaucoup d'autres facteurs que l'épaisseur : température, pression (pour les gaz), temps et mode d'application de la tension d'essai, caractéristiques de cette tension (continu ou alternatif, fréquence) etc. C'est pourquoi ce n'est qu'après essai dans les conditions d'emploi que l'on peut être fixé sur la rigidité diélectrique d'un corps ; encore faut-il appliquer un coefficient de sécurité de 4 ou 5, pour éviter tout imprévu.

A titre d'exemple, voici quelques valeurs du coefficient de rigidité diélectrique de l'air pur et sec pour des courants continus.

Distance en mm	D. d. p. en Volts	Rigidité diélectrique en kV/cm
1	4.765	47
2	8.140	40
5	16.664	33
10	25.071	25
15	28.949	19
20	30.932	15

CHOIX D'UN ISOLANT.

En s'inspirant de ce qui précède, on choisira un isolant pour une application définie, en se guidant sur les caractéristiques suivantes :

- 1° — Résistivité ;
- 2° — Rigidité diélectrique ;
- 3° — Nature du courant, et fréquence, s'il s'agit de courants alternatifs ;
- 4° — Propriétés mécaniques : résistance à la traction, fragilité, facilités d'usinage, etc.
- 5° — Propriétés chimiques : influence des acides, des sels, de l'humidité, etc.
- 6° — Propriétés thermiques : point de fusion, inflammabilité, déformation à chaud, etc.
- 7° — Prix de revient.

PROPRIÉTÉS ET EMPLOIS DES PRINCIPAUX ISOLANTS.

PARAFFINE.

Résistivité : 34 milliards de $M\Omega/cm/cm^2$.

Elle est extraite des huiles lourdes de pétrole. La paraffine du commerce, impure renferme des acides gras qui affaiblissent ses qualités isolantes et attaquent les métaux en contact.

Fondue au bain-marie, la paraffine sert à imprégner le bois, le coton, le carton, le liège et les bobinages de fils sous coton. Le fil sous coton paraffiné est très en faveur dans la radiotechnique, à cause des hautes qualités de la paraffine en haute fréquence.

Les éléments de piles, les boîtes de jonction de certains câbles souterrains, les boîtes de résistances pour laboratoires sont rendus étanches avec la paraffine.

PORCELAINE.

Résistivité de l'ordre de 90 millions de $M\Omega/cm/cm^2$.

La porcelaine est obtenue par cuisson de certaines terres spéciales (kaolin). Deux cuissons sont nécessaires à la porcelaine émaillée : la première pour la durcir après moulage, la seconde pour l'émailler. Il convient, pour certaines applications électriques (isolateurs aériens) de vérifier scrupuleusement la qualité de l'émaillage, car c'est celui-ci qui donne l'étanchéité nécessaire à un bon isolement. Des parties non émaillées, de simples piqûres même à la surface de la pièce, suffisent à compromettre gravement l'isolement à haute tension, car la porcelaine non émaillée est hygrométrique.

On emploie la porcelaine pour les isolateurs sous haute et basse tension pour certaines pièces de petit appareillage : socles d'interrupteurs, de fusibles, d'ampoules, boîtes de jonction, où l'on cherche d'abord un bas prix de revient. Certaines porcelaines spéciales ont des propriétés remarquables pour la haute fréquence ou les températures élevées.

VERRE.

Résistivité : environ 9 milliards de $M\Omega/cm/cm^2$.

Le verre est un excellent isolant, mais il possède le défaut de condenser facilement la vapeur d'eau atmosphérique, ce qui rend sa surface partiellement conductrice.

Il est employé pour les isolateurs, et en plaques et en tubes pour les condensateurs d'émission de T. S. F.

Le verre s'usine industriellement au diamant ou avec des outils en carbures de tungstène. On le perce facilement avec un foret composé d'un tube de cuivre fendu diamétralement, et en présence de poudre de diamant ou d'émeri délayée dans de l'essence de térébenthine.

Une technique récente provenant des Etats-Unis consiste à « filer » le verre et à constituer avec le fil très fin obtenu un véritable tissu isolant, très souple, appelé « soie de verre » ou « laine de verre ». On utilise ce tissu pour isoler les bobinages et comme calorifuge.

PYREX.

Le Pyrex, est un verre spécial, composé de silice, d'anhydrique borique et de substances diverses. Son coefficient de dilatation linéaire est environ le tiers de celui du verre, ce qui donne au pyrex l'avantage de résister efficacement aux sautes de température. On l'utilise surtout en TSF pour les supports de bobinages et de lampes d'émission.

QUARTZ.

Résistivité : 5.000 milliards de $M\Omega/cm/cm^2$.

Le quartz est de la silice cristallisée à l'état pur. C'est le meilleur isolant connu. Sa rigidité diélectrique et ses qualités en haute fréquence sont également parmi les plus élevées. On le travaille par fusion, moulage, étirage, etc.

On l'utilise pour faire des isolateurs de haute qualité, et aussi pour ses curieuses propriétés « piézo-électriques » découvertes par les frères Curie. Sans pouvoir s'étendre longuement sur ce sujet complexe, on peut remarquer qu'un cristal de quartz convenablement taillé peut se contracter et se dilater en épaisseur, à une fréquence bien déterminée par ses dimensions et parfaitement constante. On possède donc un véritable étalon de fréquence utilisé en T.S.F. pour garder exactement la longueur d'onde assignée à un poste d'émission. On l'emploie aussi depuis peu dans des machines à enregistrer électriquement la marche des montres, et dans les horloges de haute précision.

MARBRE.

Le marbre est une pierre naturelle susceptible d'acquérir un beau poli. Il se travaille facilement à la lime, à la scie, au foret, etc. en lubrifiant avec de l'eau. Le foret peut dévier lors du perçage, surtout avec les marbres teintés, dont les veines présentent des duretés variables.

Il sert à faire des tableaux de commande, des socles d'appareils, etc. Il tend à être remplacé actuellement par les tableaux métalliques.

GUTTA-PERCHA.

Résistivité : 25 à 450 millions de $M\Omega/cm/cm^2$.

La gutta-percha est une gomme végétale extraite d'un arbre de l'Inde. Elle est ductile, élastique, solide à la température ambiante ; elle se ramollit à la chaleur et est inaltérable. Les électriciens l'emploient pour isoler leurs épissures de fils, et pour l'étanchéité des câbles souterrains.

CAOUTCHOUC.

Résistivité à l'état vulcanisé : environ 1.400 millions de $M\Omega/cm/cm^2$.

Le caoutchouc est une gomme végétale, extraite du suc laiteux de certains arbres exotiques, principalement l'hévéa de l'Afrique Equatoriale.

C'est un des isolants les plus utilisés, à cause de sa souplesse et de sa haute résistance. Le caoutchouc à l'état pur, ou « cru », se colle à lui-même et devient visqueux à chaud. Pour lui donner ses propriétés définitives, on le « vulcanise ». Le caoutchouc vulcanisé est du caoutchouc auquel on a incorporé, à 150°, environ 2 % de soufre. On utilise le caoutchouc vulcanisé pour l'isolement des fils électriques, comme amortisseur de bruits et de chocs, pour des gants isolants, etc. Le caoutchouc vulcanisé attaque les métaux cuivreux avec lesquels il est en contact, en formant des sulfures.

Le caoutchouc du commerce est impur ; on y ajoute des substances destinées à modifier ses qualités, ou simplement à diminuer son prix de revient : carbonate de soude, céruse, farine de bois, amiante, etc.

Le caoutchouc se moule très bien à chaud. Il est soluble dans l'éther, le sulfure de carbone, la benzine, le tétrachlorure de carbone, ce qui permet d'en faire des vernis souples de haute qualité électrique, qui servent à recouvrir et imprégner les bobinages.

À la longue, le caoutchouc durcit et devient friable.

EBONITE.

Résistivité : 28 milliards de $M\Omega/cm/cm^2$.

L'ébonite est faite de caoutchouc et de soufre, ce dernier en plus grande proportion que dans le caoutchouc vulcanisé (20 à 40 %)

On la trouve dans le commerce en planches, tubes, bâtons, etc. C'est une matière dure, cassante, noire, dégageant à l'usage une odeur caractéristique de caoutchouc. Elle peut acquérir un beau poli, lorsqu'on la frotte avec un feutre garni d'huile et de produits à polir (rouge anglais). La cassure de l'ébonite de bonne qualité est brun foncé.

Elle nécessite des soins particuliers pour son usinage, particulièrement lors du perçage, qui écaille facilement la matière lorsque la mèche débouche dans le vide. On peut par contre la cintrer, la plier aisément après l'avoir trempée dans l'eau bouillante. Elle se ramollit en effet à chaud, mais ne fond pas. On ne peut donc pas la mouler.

L'ébonite n'est pas un corps stable. À la longue, elle « travaille » et se déforme. On doit en tenir compte pour la précision des travaux à effectuer.

On l'emploie pour faire des socles, des rondelles, des boutons isolants, etc...

FIBRE.

Résistivité : 5 millions de M/cm./cm².

La fibre est un isolant à base de pulpe de bois, agglomérée à chaud à la presse hydraulique, et colorée en rouge ou en noir. Elle n'est recommandable que pour les basses tensions. Elle est facile à travailler, et on la trouve dans le commerce en planches, tubes et bâtons.

Elle offre l'avantage particulier d'être très résistante à l'usure, et on l'emploie pour faire les coussinets de certains moteurs, ou des sabots de freins.

La fibre, comme l'ébonite, se déforme avec le temps et n'est donc pas recommandée pour les travaux précis. On en fait surtout des manches d'interrupteurs et des rondelles isolantes.

BOIS.

Le bois, à l'état naturel, est un isolant de qualité variable suivant son degré de siccité. Il ne peut être employé en électricité que recouvert d'un vernis isolant qui le rend indépendant des variations hygrométriques, ou imprégné à cœur d'une substance isolante telle que la paraffine ou la bakelite (voir plus loin). En tous cas, il faut le choisir d'un grain serré (noyer, hêtre, pitchpin, acajou, cèdre, etc.).

Il sert à faire des manches de commande et des socles d'appareils à basse tension.

PAPIER, COTON, TISSUS ET PRODUITS A BASE DE CELLULOSE.

Ce sont de bons isolants, à condition d'être secs, car comme le bois, ils sont très hygrométriques. On se sert couramment de coton ou de soie pour recouvrir et « guiper » les fils électriques.

Pour améliorer leurs qualités, on les imprègne d'un isolant, et on obtient alors les produits suivants :

Papier paraffiné : obtenu en plongeant du papier fin dans de la paraffine fondue. Il sert à l'isolement des condensateurs fixes.

Leatheroid, Lederpape, Presspahn, etc. : ce sont des papiers et des cartons isolants, très solides, obtenus par imprégnation. Ils servent à faire des carcasses de petites bobines, des isollements de couches de fil, des protections légères, etc...

Toile et Soie huilées : on obtient ces produits en imprégnant des tissus d'un vernis gras souple. Ils sont utilisés pour des isollements de fils, de couches bobinées, de stators de moteurs, etc. Les tubes de coton verni ou « souplesseaux » isolent les sorties de bobinages, les épissures et connexions. La soie huilée et la toile huilée se trouvent dans le commerce en grandes dimensions ou en rubans, ces derniers étant pris dans le « droit-fil » (sens du tissage) ou en « biais ». La coupe en biais permet au ruban d'épouser les formes les plus complexes et les courbures irrégulières, sans « goder » ni faire de plis.

PAPIER, CARTON et TOILE BAKELISES : Voir plus loin, bakelite.

CELLULOÏD.

Résistivité : 40 millions de $M\Omega/cm./cm^2$.

Le celluloid est une solution solide de nitrocellulose et de camphre. Il est élastique, et les acides ne l'attaquent qu'à chaud. Il est très inflammable. Il peut être plié, moulé, découpé en le trempant préalablement dans l'eau chaude. On le colle à lui-même avec une solution de débris de celluloid dans l'acétone.

Le celluloid est peu employé comme isolant électrique, sauf dans le cas de revêtement de pièces apparentes, grâce aux vives couleurs qu'on peut lui donner.

RESINE.

La résine est extraite des conifères. Elle sert surtout comme décapant non acide pour les soudures à l'étain de conducteurs électriques. La pâte à souder est une dissolution de résine dans de l'alcool. Lorsque l'alcool contient de l'eau, la pâte à souder devient oxydante et est à rejeter. On s'en rend compte en la faisant chauffer : une bonne pâte doit fondre sans crépiter.

CIRE.

La cire est extraite des alvéoles où les abeilles mettent leur miel. Elle était très employée pour l'imprégnation à chaud des bobinages ; les vernis gras, au caoutchouc ou à la bakelite l'ont à peu près supplantée.

La *cire noire* est à base d'asphalte, de résine et de cire. On l'emploie pour obturer les bacs de piles.

GOMME LAQUE.

Résistivité : 9 milliards de $M\Omega/cm./cm^2$.

La gomme laque est une gomme végétale produite par la piqûre, d'un insecte sur divers arbres de l'Inde. On la trouve dans le commerce en paillettes brunes, que l'on fait dissoudre dans l'alcool. On obtient ainsi un vernis assez cassant, mais très isolant, utilisé pour recouvrir le coton, le papier, les cartonnages, la toile, ou pour imprégner les bobinages. Sa qualité ne vaut qu'en raison de la pureté de l'alcool.

BAKELITE.

La bakelite (1) est une résine synthétique à base de phénol et de formol. Elle réunit un ensemble d'avantages difficiles à trouver dans d'autres matières.

a/ Résistivité : 6 millions de $M\Omega/cm./cm^2$.

b/ Grande rigidité diélectrique.

c/ Inaltérabilité et insensibilité à la chaleur jusque vers 300°.

d/ Résistance à l'attaque des acides, de l'oxygène et de l'ozone.

e/ Résistance mécanique élevée.

f/ Opacité aux rayons X.

La bakelite revêt 3 aspects différents, qui correspondent à 3 stades de sa fabrication :

(1) Le mot «bakélite» vient de son inventeur, le Docteur Baekeland.

1° — Le produit « A » est solide et a l'aspect d'une résine jaunâtre ; il se dissout dans l'alcool. Il fond sous l'action de la chaleur.

2° — Le produit « B » procède de l'action de la chaleur sur le produit « A » lorsque celle-ci est poussée au-delà de la température de fusion. Moins cassant que « A », le produit « B » est solide à toutes les températures ; il est insoluble dans tous les solvants habituels. La chaleur a pour effet de le ramollir en lui donnant la consistance du caoutchouc, mais elle n'en amène jamais la fusion.

3° — Le produit « C » résulte de l'action prolongée de la chaleur ou « polymérisation » sur le produit « B ». C'est le produit définitif, et qui possède les qualités énumérées ci-dessus. Le passage de l'état « B » à l'état « C » peut coïncider avec un moulage à chaud, permettant d'obtenir des formes très diverses, et de réaliser de substantielles économies d'usinage dans la fabrication en grandes séries de douilles, prises de courant, pièces d'appareillage, socles, etc. L'adjonction de colorants appropriés permet d'obtenir des effets artistiques.

Vernis Bakelite : il est obtenu par dissolution de la bakelite « A » dans un solvant approprié. Il est très employé actuellement dans l'imprégnation des bobinages.

Papier, Carton et Bois bakélisés : ce sont des produits obtenus par imprégnation à chaud, et doués d'un haut pouvoir isolant. Ils se travaillent, se tournent, se percent comme du bois dur, mais ils usent beaucoup les outils de coupe.

Les tubes en carton bakélisé sont très utilisés comme supports de bobines de T.S.F.

Toile bakélisée : elle est obtenue en agglomérant des tissus de coton et en les imprégnant de bakelite. Elle se travaille comme le carton bakélisé, mais offre sur ce dernier la supériorité d'une grande résistance à l'usure par frottement. On en fait des engrenages silencieux, des toucheaux d'interrupteurs rotatifs, etc...

ISOLANTS SPÉCIAUX POUR APPAREILS THERMIQUES.

AMIANTE.

L'amiante est un minéral naturel incombustible, à texture fibreuse et de couleur grisâtre. Il est très mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. On l'utilise comme support de fils chauffants (bouilloires, réchauds, fours, etc.) et comme calorifuge. On le trouve dans le commerce aggloméré en carton, tissé en rubans, bobiné en cordons, ou simplement à l'état fibreux pour faire des bourrages.

MICA.

Résistivité : 84 millions de $M\Omega/cm/cm^2$.

Le mica est un composé minéral (silico-aluminate de magnésie) de structure feuilletée. Il se sépare en lames minces avec un couteau. Les trous se découpent à l'emporte-pièce. Le mica tacheté n'a pas moins de résistivité que le mica transparent ; seule sa rigidité diélectrique peut être

inférieure.

Le mica est meilleur conducteur thermique que l'amiante ; aussi l'emploie-t-on de préférence à cette dernière lorsque les fils chauffants doivent rayonner de la chaleur. Outre ses qualités d'incombustibilité, le mica a l'avantage d'une grande rigidité diélectrique et rend de remarquables services dans la construction des condensateurs soignés, surtout en haute fréquence.

En agglomérant des débris de mica avec un liant approprié (souvent de la gomme laque) on obtient la « micanite », dont la texture est plus régulière que celle du mica, et qui peut se mouler. La micanite a une résistivité qui atteint 300 millions de $M\Omega/cm/cm^2$. Son principal usage est l'isolement des collecteurs de machines tournantes. Par contre, ses qualités diélectriques sont très inférieures à celle du mica pur.

TERRES REFRACTAIRES.

Les terres réfractaires employées en électricité sont nombreuses. Citons :

— La « Stéatite », qui est un silicate de magnésie. On peut la mouler, la tourner, la percer, la fileter, etc... et lui faire acquérir ses propriétés définitives par cuisson. Elle est utilisée comme supports de réchauds, radiateurs, fours, comme perles isolantes, etc...

— La « Magnésie » en poudre, qui enrobe les fils chauffants à l'intérieur de tubes métalliques inoxydables plongeant dans les liquides à chauffer. (Éléments blindés Backer, Calrod, Chromalox, etc.). Comme tous les composés magnésiens, elle est assez bonne conductrice de la chaleur.

Pour les hautes températures, on emploie des porcelaines spéciales, ou des produits à base de kaolin et d'alumine.

Citons également la terre à fours, qui constitue le support de nombre d'appareils chauffants.

Enfin, le « Quartz » est particulièrement intéressant pour sa non-dilatabilité.

Remarque. — Il existe dans le commerce de multiples autres isolants, désignés généralement sous des noms commerciaux divers, et qui ont des propriétés électriques et des applications très variées. Leur énumération serait fastidieuse et sans grand intérêt, étant donné que la plupart de leurs constructeurs gardent secrète leur composition.

CHAPITRE III.

Canalisations Electriques.

organe compensateur dont la figure 173 représente un type (1).

Le fil dilatable ABCD est enroulé en BC sur une poulie P s'appuyant sur un couteau solidaire du ressort E. Le courant électrique traverse seulement la partie AB du fil. La dilatation de celui-ci fait tourner la poulie et le bras F qui lui est lié, tire sur le fil G et fait mouvoir l'aiguille par la poulie P'. Le ressort de rappel est en H.

Si la température ambiante s'élève, les 2 brins AB et CD s'allongent également, et la poulie P se déplace, poussée par le ressort E, mais ne tourne pas sur son axe, n'occasionnant ainsi aucun déplacement de l'aiguille.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS.

Les appareils thermiques à dilatation sont intéressants car ils mesurent indifféremment et avec la même échelle les courants continus et alternatifs quelle que soit la fréquence de ces derniers. Les champs extérieurs n'ont pas d'effet sur eux. Ils sont enfin de construction simple et économique.

Par contre, ils sont parmi les plus gros consommateurs de courant : 2 à 10 Watts et plus pour les voltmètres et wattmètres. Cette consommation exclut leur emploi pour les courants faibles. De plus, ils sont fragiles et résistent mal aux surcharges. (On les munit souvent d'un fusible.) Enfin, ils sont assez peu précis par suite de l'inconstance des propriétés physiques du fil dilatable.

APPAREILS A COUPLE THERMO-ELECTRIQUE.

Le principe de ces appareils est très différent de celui des précédents. Le courant à mesurer chauffe le point de soudure de deux fils de métaux différents. Les extrémités de la soudure sont reliées à un galvanomètre à cadre mobile. La soudure en s'échauffant crée une force électro-motrice et le galvanomètre est alors traversé par un courant continu, dont la loi de variation par rapport à la température est connue. Rien n'empêche alors de graduer le galvanomètre en unités de la grandeur à mesurer : milliampères ou millivolts.

Pratiquement, comme la f.e.m. du couple thermo-électrique est très faible (de l'ordre de 0,06 millivolt par degré centigrade, pour les plus sensibles) on met plusieurs couples en série, que l'on enferme dans une ampoule où l'on a mis un gaz dont la conductibilité thermique est indépendante de la température : l'argon par exemple. On peut ainsi mesurer de faibles courants alternatifs, ce qui serait impossible avec l'appareil thermique classique.

(1) Carpentier.

LIVRE VI

Petit Appareillage Electrique.

Sommaire

CHAPITRE I. Généralités.

Classification. Règlementation en vigueur. Présentation des appareils. Boîtiers. Le silence dans le petit appareillage. Insonorisation d'un appareil.

- 1^o Suppression des bruits en contact.
- 2^o Suppression des grincements.
- 3^o Suppression des vibrations magnétiques.
- 4^o Suppression des vibrations de résonance.
- 5^o Suppression de la propagation du bruit.

Lubrification.

CHAPITRE II.

Appareillage de Commande.

Définitions. Classification. Qualités d'un bon interrupteur et d'un bon commutateur.

Les contacts. Résistance de contact. Mesure d'une résistance de contact. Pression de contact. Densité de contact. Métaux employés. Contacts à mercure. Contacts en charbon. Disposition des contacts. Vibration des contacts. Influence de la nature des métaux en contact. Principale cause de destruction des contacts mobiles. Remèdes appropriés. Soufflage de l'arc. Contacts rotatifs, balais et collecteurs. Profils en contact.

Interrupteurs et commutateurs manuels. Dispositifs permettant la coupure rapide. Relais à commande immédiate. Coefficients d'amplification d'un relais.

Appareils de commande asservis. Appareils de commande asservis au temps. Aperçu des dispositifs de temporisation. Systèmes chronométriques : balanciers annulaires avec échappement. Départ automatique de l'échappement. Balanciers pendulaires. Applications. Temporisation par la viscosité d'un fluide. Temporisation par la force centrifuge. Inertie d'un organe mobile. Inertie calorifique. Courants de Foucault. Fréquence du courant alternatif : moteurs synchrones. Commande des contacts dans les appareils asservis au temps.

organe compensateur dont la figure 173 représente un type (1).

Le fil dilatable ABCD est enroulé en BC sur une poulie P s'appuyant sur un couteau solide du ressort E. Le courant électrique traverse seulement la partie AB du fil. La dilatation de celui-ci fait tourner la poulie et le bras F qui lui est lié, tire sur le fil G et fait mouvoir l'aiguille par la poulie P. Le ressort de rappel est en H.

Si la température ambiante s'élève, les 2 bras AB et CD s'allongent également, et la poulie P se déplace, poussée par le ressort E, mais ne tourne pas sur son axe, n'occasionnant ainsi aucun déplacement de l'aiguille.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Les appareils thermiques à dilatation sont intéressants car ils mesurent indifféremment et avec la même échelle les courants continus et alternatifs quelle que soit la fréquence de ces derniers. Les champs extérieurs n'ont pas d'effet sur eux. Ils sont enfin de construction simple et économique.

Par contre, ils sont par ailleurs de gros consommateurs de courant, 2 à 10 Watts et plus pour les voltmètres à 100 millivolts. Cette consommation exclut leur emploi pour les courants faibles. De plus, ils sont fragiles et résistent mal aux surcharges. (On les munit souvent d'un fusible.) Enfin, ils sont assez peu précis par suite de l'inconstance des propriétés physiques du fil dilatable.

APPAREILS A COUPLE THERMO-ELECTRIQUE

Le principe de ces appareils est très différent de celui des précédents. Le courant à mesurer chauffe le point de soudure de deux fils de métaux différents. Les extrémités de la soudure sont collées à un galvanomètre à cadre mobile. La soudure en s'échauffant crée une force thermo-motrice et le galvanomètre est alors traversé par un courant continu, dont la loi de variation par rapport à la température est connue. Rien n'empêche alors de graduer le galvanomètre en unités de la grandeur à mesurer : milliampères ou millivolts.

Pratiquement, comme la f.e.m. du couple thermo-électrique est très faible (de l'ordre de 0,06 millivolt par degré centigrade, pour les plus sensibles) on met plusieurs couples en série, que l'on enferme dans une ampoule où l'on a mis un gaz dont la conductibilité thermique est indépendante de la température : l'argon par exemple. On peut ainsi mesurer de faibles courants alternatifs, ce qui serait impossible avec l'appareil thermique classique.

(1) Carpentier.

LIVRE VI.

Petit Appareillage Électrique.

Sommaire

CHAPITRE III.
CHAPITRE I.**Généralités.**

Classification. Règlementation en vigueur. Présentation des appareils. Boîtiers. Le silence dans le petit appareillage. Insonorisation d'un appareil.

- 1°- Suppression des chocs dus aux pièces en contact ;
- 2°- Suppression des grincements ;
- 3°- Suppression des vibrations magnétiques ;
- 4°- Suppression des vibrations de résonance ;
- 5°- Suppression de la propagation du bruit.

Lubrification.

CHAPITRE II.

Appareillage de Commande.

Définitions. Classification. Qualités d'un bon interrupteur et d'un bon commutateur.

Les contacts. Résistance de contact. Mesure d'une résistance de contact. Pression de contact. Densité de contact. Métaux employés. Contacts à mercure. Contacts en charbon. Disposition des contacts. Vibration des contacts. Influence de la nature des métaux en contact. Principale cause de destruction des contacts mobiles. Remèdes apportés. Soufflage de l'arc. Contacts rotatifs, balais et collecteurs. Profils en contact.

Interrupteurs et commutateurs manuels. Dispositifs permettant la coupure rapide. Relais à commande immédiate. Coefficient d'amplification d'un relais.

Appareils de commande asservis. Appareils de commande asservis au temps. Aperçu des dispositifs de temporisation. Systèmes chronométriques : balanciers annulaires avec échappement. Départ automatique de l'échappement. Balanciers pendulaires. Applications. Temporisation par la viscosité d'un fluide. Temporisation par la force centrifuge. Inertie d'un organe mobile. Inertie calorifique. Courants de Foucault Fréquence du courant alternatif : moteurs asynchrones. Commande des contacts dans les appareils asservis au temps.

Appareils asservis à des grandeurs électriques. Relais ampèremétriques. Fusibles. Conditions de réalisation d'un bon coupe-circuit à fusible. Formes de réalisation. Inconvénients des fusibles. Dimensions des fils fusibles en alliage plomb-étain. Relais à maxima d'intensité. Technique de la protection contre les surintensités. Disjoncteur magnéto-thermique à action retardée. Soufflage de l'arc. Relais à minima d'intensité. Relais d'induction. Relais ohmmétriques. Relais d'impédance. Relais wattmétriques. Relais d'énergie et de quantité.

Appareils asservis à des grandeurs physiques et chimiques. Température. Pression. Hygrométrie. Lumière.

CHAPITRE III.

Appareillage de Réglage manuel.

Réglage par variation de résistance. Matières employées. Rhéostats à curseurs. Rhéostats circulaires. Rhéostats à plots. Rhéostats à fil calibré. Boîtes de résistances. Rhéostats à liquides.

Réglage par variation d'inductance.

Réglage de la tension. Potentiomètres. Survolteurs-dévolteurs.

CHAPITRE IV.

Appareillage de Réglage automatique ou de Régulation.

Propriétés d'un régulateur. Valeur de la régulation.

Régulation de grandeurs électriques. Système Tirill. Régulation à la réception. Régulation de l'intensité. Lampes fer-hydrogène. Régulateur à colonne de charbon. Régulateur à impédance variable. Régulation de la tension. Tubes au néon. Régulateur à résonance.

Régulation au moyen d'appareils de mesures électriques. Régulation directe. Régulation par palpage. Régulation potentiométrique.

Régulation de la vitesse d'un moteur électrique.

CHAPITRE V.

Dispositifs et Appareillage de liaison et de transmission.

A/ Les liaisons mécaniques.

Liaison par engrenages. Module. Jeu d'engrenage. Rattrapage de jeu. Réalisation de rapports de transmission. Rapports complexes. Engrenages à vis sans fin. Engrenages différentiels. Rapport de transmission d'un train différentiel. Utilisation des trains différentiels. Applications. Rendement d'un engrenage.

Liaisons mécaniques diverses. Liaison en bout d'axes. Démultiplication sans jeu.

B/ Les liaisons étanches.

C/ Les liaisons électriques. Télécommande.

1^{er} Problème : effectuer une commande à distance au moyen d'une impulsion de courant.

2^{me} Problème : transporter à distance les indications d'un appareil de mesure.

3^{me} Problème : transmettre à distance un mouvement circulaire continu.

4^{me} Problème : transmettre à distance un mouvement rectiligne alternatif.

CHAPITRE VI.

Dispositifs utilisant les Tubes Electroniques.

Généralités. Constitution de la matière. Protons et électrons.

La diode. Constitution. Propriétés des kénotrons. Rôle redresseur. Propriétés des phanotrons. Phanotrons à cathode froide. Phanotrons à cathode incandescente. Redressement des courants à haute fréquence. Détection. Tubes au néon. Applications.

La triode. Composition. Propriétés statiques et dynamiques. Rôle de relais amplificateur. Rôle détecteur. Rôle oscillateur. Application de la triode. Voltmètre à lampe. Multivibrateur. La triode à gaz ou thyatron.

La tétraode.

La pentaode.

L'indicateur visuel cathodique.

Les circulaires et instructions officielles et les règlements de l'Union des Syndicats de l'Électricité (USE) prescrivent les conditions auxquelles doivent répondre les appareils faisant l'objet de cet ouvrage. Nous soulignons notamment les publications suivantes :

- C 8 Normalisation des balais en charbon ou graphite pur ou métallisé.
- C 11 Règles à appliquer pour l'exécution et l'entretien des installations électriques de 1^{re} catégorie.
- C 20 Règles d'établissement des disjoncteurs 1^{re} catégorie.
- C 25 Règles d'établissement du petit appareillage 1^{re} catégorie. (Fascicule I, interrupteurs et commutateurs).
- C 26 Spécification pour la fourniture des tôles magnétiques.
- C 54 Normalisation des bornes de connexion (complétée par C 327).
- C 60 Règles d'établissement des appareils électro-domestiques.
- C 307 Mesures de précaution contre la mise sous tension accidentelle des masses métalliques des installations de 1^{re} catégorie.

Remarque : Les installations de 1^{re} catégorie qui concernent les appareils ici étudiés sont ainsi définies par la publication 408 de l'USE :

Distributions à courant continu présentant une tension inférieure à 600 Volts entre conducteur et terre, et distributions à courant alternatif présentant une tension inférieure à 150 Volts entre conducteur et terre.

CHAPITRE I.

Généralités.

CLASSIFICATION.

Les petits appareils électriques, c'est-à-dire les appareils mettant en jeu de faibles puissances, forment une branche très importante de l'industrie électrique. Même si l'on en exclut les appareils rotatifs (moteurs et générateurs) les appareils de télécommunications (télégraphe, téléphone, téléimpression, télévision, TSF, etc.) et les horloges électriques, leur nombre est immense, leur énumération et leur description seraient fastidieuses. Nous nous sommes borné à étudier sous ce titre les dispositifs les plus intéressants, leurs conditions de fonctionnement et leurs applications.

Nous avons adopté la classification suivante :

- 1° *Appareillage de commande ;*
- 2° *Appareillage de réglage manuel ;*
- 3° *Appareillage de réglage automatique ;*
- 4° *Dispositifs et appareillage de liaison et de transmission ;*
- 5° *Dispositifs utilisant les tubes électroniques.*

REGLEMENTATION EN VIGUEUR.

Les circulaires et instructions ministérielles et les règlements de l'Union des Syndicats de l'Electricité (USE) prescrivent les conditions auxquelles doivent répondre les appareils faisant l'objet de cet ouvrage. Nous soulignons notamment les publications suivantes :

- C 8 Normalisation des balais en charbon ou graphite pur ou métallisé.
- C 11 Règles à appliquer pour l'exécution et l'entretien des installations électriques de 1^{re} catégorie.
- C 20 Règles d'établissement des disjoncteurs 1^{re} catégorie.
- C 25 Règles d'établissement du petit appareillage 1^{re} catégorie. (Fascicule I, interrupteurs et commutateurs).
- C 26 Spécification pour la fourniture des tôles magnétiques.
- C 54 Normalisation des bornes de connexion (complétée par C 327).
- C 60 Règles d'établissement des appareils électro-domestiques.
- C 307 Mesures de précaution contre la mise sous tension accidentelle des masses métalliques des installations de 1^{re} catégorie.

Remarque : Les installations de 1^{re} catégorie qui concernent les appareils ici étudiés sont ainsi définies par la publication 408 de l'USE :

« Distributions à courant continu présentant une tension inférieure à 600 Volts entre conducteur et terre, et distribution à courant alternatif présentant une tension inférieure à 150 Volts entre conducteur et terre. »

PRESENTATION DES APPAREILS.

L'aspect extérieur d'un appareil est conditionné par sa fonction, mais il peut également répondre à des conditions de protection bien déterminées. C'est ainsi que l'on distingue :

— Les appareils *non protégés*, dans lesquels les pièces sous tension sont accessibles au toucher ;

— Les appareils *protégés*, dans lesquels aucune des pièces sous tension n'est accessible « directement au toucher », quelle que soit la nature de la protection ; un dispositif est généralement prévu pour empêcher l'accès des pièces dangereuses lorsque l'appareil est sous tension ;

— Les appareils à *enveloppe renforcée*, dans lesquels la protection est obtenue au moyen d'une enveloppe mécanique robuste ;

— Les appareils *anti-déflagrants*, qui peuvent fonctionner sans danger dans un milieu explosif ;

— Les appareils *étanches*, dont les qualités peuvent être spécifiées par une expression telle que : appareil étanche à la pluie, à la lance, à l'immersion, à la pression, aux gaz. La désignation « étanche » seule désigne les appareils étanches à la pluie.

Il est évident que la valeur de l'étanchéité est une cause de plus-value de l'appareil : un appareil étanche à l'immersion reviendra plus cher qu'un appareil étanche à la pluie. L'étanchéité aux gaz est la plus chère et la plus difficile ; il n'existe guère d'appareils vraiment étanches aux gaz sous une certaine pression.

L'étanchéité est obtenue à l'aide de joints de portes, de capots, etc., en caoutchouc ou en tresse de coton suiffé. Les axes de manœuvre et les conducteurs sortent de l'appareil par des presse-étoupe (page 32). Cet appareillage est le plus souvent employé conjointement à des canalisations sous tubes d'acier avec raccords filetés (Livre I, page 32).

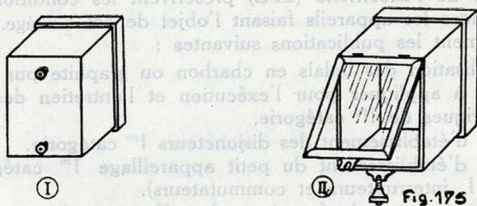


Fig. 175. — Deux exemples de réalisation de boîtiers d'appareils muraux.

BOITIERS.

Les appareils peuvent être présentés en boîtiers et montés sur des tableaux.

Les boîtiers se composent : soit d'un socle isolant supportant l'appareil, et d'un capot de protection en tôle soudée par points et vernie, ou en bakélite moulée (fig. 175-I) ;

soit d'une boîte en fonte de fer ou d'aluminium, fermée à l'avant par un couvercle à charnière, souvent vitré (fig. 175-II) ;

soit d'une carcasse en bakelite moulée, servant à la fois de boîte et de bâti pour les différentes pièces, et faisant ainsi partie intégrante de l'appareil, qui ne peut être séparé sans démontage complet.

Plusieurs appareils peuvent être rassemblés sur un *tableau*, portant également les appareils de mesures. L'aspect est alors plus esthétique, mais la sécurité est moins efficace qu'avec des appareils en boîtiers séparés (fig. 176).

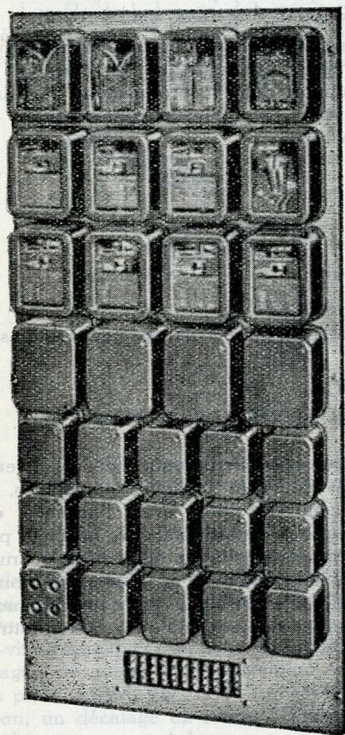


fig. 176

Fig. 176. — Tableau de relais
 et appareils divers,
 montés en boîtiers séparés
 (Compagnie des Compteurs).

LE SILENCE DANS LE PETIT APPAREILLAGE.

De nombreux appareils électriques sont destinés à être utilisés dans des habitations particulières, et les exigences du confort amènent à éliminer les bruits gênants dans leur fonctionnement.

Ces bruits peuvent être désagréables par leur perception directe, ou par leur répercussion dans les réceptions radiophoniques. Ce dernier cas sort du cadre de cet ouvrage, et est traité dans des publications spécialisées. Nous ne considérerons que les bruits directement perçus ; ceux-ci sont de 4 sortes principales :

- 1° les chocs dus aux pièces en contact ;
- 2° les grincements dus aux frottements non ou mal lubrifiés ;
- 3° les vibrations dues aux effets magnétiques du courant alternatif ;
- 4° les vibrations de certaines pièces métalliques, en résonance avec des causes extérieures (trépidations, vibration des murs, etc.).

Il faut en outre considérer le cas des bruits causés par les appareils, mais amplifiés par les matières et milieux environnants. On constate en effet l'influence très importante du support dans la propagation du bruit. Le bois, les parois minces avec intervalle d'air peuvent former autant de caisses de résonance qui amplifient le bruit.

INSONORISATION D'UN APPAREIL.

L'insonorisation d'un appareil peut se comprendre :

- a) en supprimant la cause du bruit ;
- b) en empêchant le bruit de se propager.

Le premier procédé est le plus radical, mais n'est pas toujours possible.

1° SUPPRESSION DES CHOCS DUS AUX PIÈCES EN CONTACT.

Nous verrons plus loin que les interrupteurs, pour bien remplir leurs fonctions, doivent avoir des coupures brusques et rapides. Il paraît dès lors difficile de concilier cette condition avec l'absence de chocs ; néanmoins, certains constructeurs, en substituant aux contacts par pression des contacts par glissement, amortissent déjà notablement le bruit. Des butées en caoutchouc ou en feutre judicieusement placées y contribueront également avec efficacité. Les chocs d'engrenages sont souvent amortis par l'emploi de roues en toile bakélisée (celoron) ou de roues à rattrapage de jeu

2° SUPPRESSION DES GRINCEMENTS.

Les grincements dus aux frottements en l'absence de lubrifiants sont particulièrement indésirables ; outre le bruit, ils sont l'indice d'une usure prochaine des pièces frottantes. Le constructeur y remédie par le choix convenable des matériaux et leur disposition judicieuse, en évitant le frottement des métaux de même nature, en employant les roulements sur paliers lisses bien ajustés, ou sur roulements à billes très soigneusement sélectionnés, en interposant des rondelles de fibre ou de carton bakérisé aux points de friction, et surtout par le choix du lubrifiant (page 224).

3° SUPPRESSION DES VIBRATIONS MAGNETIQUES.

Les bruits d'origine magnétique proviennent des champs créés par le passage des courants alternatifs. Ils se manifestent surtout dans les tôles magnétiques mal fixées, ou dans les bobinages insuffisamment immobilisés.

Il convient de serrer très énergiquement, par rivets ou par écrous freinés, les tôles entre elles, et en général toutes les pièces d'un appareil destiné à être soumis à un courant alternatif. On n'oubliera pas que les rivets et les tiges de fixation, s'ils sont en métal différent des tôles, se dilatent inégalement, et, après plusieurs variations de température, prennent du jeu.

Les fils de bobinage doivent être également serrés avec énergie. L'imprégnation succédant au bobinage donne toute sécurité sous ce rapport. Les bobines doivent être montées sans jeu sur leurs noyaux. Au besoin, on doit les caler avec des plaquettes isolantes.

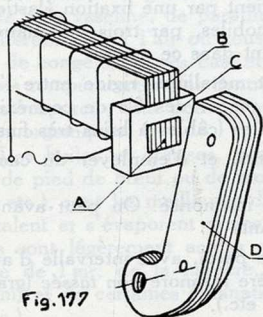


Fig. 177. — Spire de Thomson montée sur un électro-aimant pour atténuer le ronflement dû aux champs alternatifs.

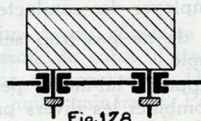


Fig. 178. — Montage anti-résonant d'un boîtier.

Le bruit peut également provenir des vibrations de l'armature d'un relais au collage. Il est alors causé par l'irrégularité de la force attractive qui passe par des maxima et s'annule à la fréquence même du courant. Dans ce cas, on munit l'armature, ou l'extrémité du noyau qui lui fait vis-à-vis, d'une pièce appelée quelquefois « spire de Thomson ». C'est une bague de cuivre ou d'aluminium, entourant une partie de l'extrémité de la pièce polaire (fig. 177). La présence de cette bague crée, par self-induction, un décalage en retard (déphasage) du flux de la zone baguée A du pôle, par rapport à la zone non baguée B. Les deux flux qui en résultent sont eux-mêmes déphasés, et la force qui attire l'armature ne s'annule pas en même temps dans les sections A et B. Il s'ensuit que l'attraction ne disparaît jamais et que les vibrations sont ainsi à peu près supprimées.

4° SUPPRESSION DES VIBRATIONS DE RESONANCE.

Il peut se produire des vibrations de résonance dans l'appareil même, ou hors de l'appareil. Souvent, on les remarque dans le capot métallique

quand celui-ci est mal fixé ; des cales de caoutchouc bien placées supprimeront ce défaut. Il faut noter que le caoutchouc attaque les métaux cuivreux, en formant des sulfures ; cette attaque est en tous cas superficielle.

Lorsque des pièces élastiques se mettent à vibrer en résonance avec un autre organe, on peut les immobiliser en employant le moyen de la figure 186, décrit à propos des lames de contact. Lorsque le bruit est dû à des déplacements vibratoires d'une tôle mince et que la fixation de celle-ci n'est pas à incriminer, on y remédie généralement par une modification d'épaisseur, ou par projection d'un autre métal pulvérisé à chaud (procédé Schoop), ou simplement par un vernis épais.

5° SUPPRESSION DE LA PROPAGATION DU BRUIT.

C'est l'insonorisation proprement dite. On doit d'abord isoler l'appareil des pièces environnantes. On y parvient par une fixation élastique analogue au « moteur flottant » des automobiles, par trois ou quatre points garnis de caoutchouc (fig. 178). Il convient dans ce cas :

1° d'éviter absolument tout contact métallique rigide entre l'appareil bruyant et le support. Il faut même se méfier des fils de connexion ; on peut employer des conducteurs très souples (câbles à brins très fins) ;

2° de ne pas trop serrer les isolants, et d'employer du caoutchouc très souple.

L'appareil lui-même peut alors être insonorisé. On peut avantageusement combiner les divers procédés suivants :

1° Entourer l'appareil d'une double paroi, avec intervalle d'au moins 5 millimètres, rempli d'air ou d'une matière insonore *non tassée* (granulé de liège, laine de verre, d'amiante, kapok, etc.).

2° Isoler l'organe bruyant du reste de l'appareil, en ne le fixant que par des points de petite section, si possible non métalliques.

3° Tapisser les parois intérieures du boîtier, qui répercutent le bruit, avec des matières absorbantes : tissu plissé, granulé de liège aggloméré avec un adhésif approprié, etc., ou même avec du métal ondulé.

De toutes façons, on n'oubliera pas qu'un corps est d'autant plus insonore qu'il est moins serré : les capitonnages doivent être très lâches. On n'oubliera pas non plus qu'en insonorisant un appareil, on empêche du même coup l'évacuation de la chaleur par rayonnement, ce qui peut être dangereux dans certains cas.

LUBRIFICATION.

Les pièces frottantes et tournantes d'un appareil doivent être lubrifiées : pour éviter le grippage, pour améliorer le glissement et pour éviter le bruit. On doit lubrifier toutes les pièces frottant l'une sur l'autre. Le lubrifiant doit posséder les qualités suivantes :

1° rester à l'endroit où on l'a mis ;

2° former, même en mince couche, une pellicule résistante qui s'interpose entre les matières en contact (c'est l'onctuosité) ;

3° ne pas s'évaporer ;

4° ne pas s'altérer sous l'action de l'air, de la lumière, des agents chimiques ou des métaux en présence, et ne pas altérer ces mêmes métaux ;

5° suivant les cas : garder ses propriétés lubrifiantes à des températures différentes de l'ambiante.

Ces qualités sont contradictoires : les huiles qui ne s'étalent pas ont en général un pouvoir lubrifiant médiocre ; celles qui « graissent » bien, c'est-à-dire qui sont très adhérentes, s'altèrent sous l'action de l'oxygène de l'air ; enfin, toutes les huiles s'épaississent à froid et se fluidifient à chaud. Il faut donc adapter avec discernement la qualité du lubrifiant à l'application envisagée. On tiendra utilement compte des données suivantes :

— Les huiles et graisses de provenance minérale (huiles provenant du pétrole : de vaseline, de paraffine, etc.) sont chimiquement très stables. Elles s'altèrent peu à l'air ou sous l'effet des agents chimiques. Elles ont un point de congélation très bas, et sont tout indiquées pour la lubrification aux basses températures. Par contre, elles ont nettement tendance à s'étaler et à s'évaporer ; leur pouvoir graissant (onctuosité) est inférieur à celui des huiles organiques.

— Les huiles et graisses organiques : animales ou végétales (huiles de lard, de pied de bœuf ou de mouton, de poisson, de colza, d'arachides, de ricin, etc.), sont les meilleures du point de vue de l'onctuosité. De plus, elles s'étalent et s'évaporent moins vite que les huiles minérales. Par contre, elles sont légèrement acides et s'altèrent assez vite sous l'action de l'oxygène de l'air, de la lumière, de certains métaux (alliages cuivreux, aluminium) et de certaines émanations (parfums, vernis bakelite, bois odorants, etc.).

Elles se solidifient au-dessus de 0°, à des points différents suivant leur provenance, mais elles gardent leur onctuosité à une température plus élevée que les huiles minérales.

— On trouve dans le commerce des huiles « compoundées » raffinées qui sont un mélange d'huiles minérales et organiques, créant un compromis entre les qualités et les défauts de ces deux lubrifiants. Ce sont les plus employées. On les désigne généralement sous le nom d'huiles et de graisses d'horlogerie.

— On fabrique depuis peu des huiles de synthèse (le plus souvent à partir de la houille) préparées spécialement pour les mêmes usages. Ces huiles ont une remarquable cohésion moléculaire et n'ont par conséquent aucune tendance à s'étaler. Elles s'emploient avantageusement dans les pivotements sur crapaudines coniques, surtout quand les crapaudines et l'axe sont en acier, ainsi qu'aux endroits où les autres huiles ne se maintiennent pas. Par contre, leur onctuosité est inférieure à celle des huiles précédentes.

Elles dissolvent les vernis celluloseux et forment avec eux un magma collant qui n'a plus aucun pouvoir lubrifiant.

(1) «Compagnie Française de Raffinage».

— Tous les lubrifiants précités sont préparés industriellement avec des viscosités variables (la viscosité correspond à l'inverse de la fluidité). Il faut toujours choisir la viscosité maximum compatible avec les pressions en jeu, de façon à limiter l'évaporation, l'étalement et la liquéfaction à chaud.

— L'huile dissout le caoutchouc. On doit éviter de mettre ces deux matières à proximité l'une de l'autre.

— Dans certains contacts frottants (interrupteurs manuels) et malgré le pouvoir isolant des lubrifiants, on peut les interposer pour éviter le grip-page. Il est nécessaire, dans ce cas, d'avoir de fortes pressions de contact et d'employer la graisse ou l'huile minérales.

— Les roulements à billes (sauf les roulements minuscules) se lubrifient à la graisse minérale très pure.

— Certaines huiles d'horlogerie sont colorées en rouge vif (1) pour éviter l'action de la lumière. Ne pas confondre cette coloration systématique avec une altération au contact d'un alliage ferreux, cette altération se manifestant ordinairement par une coloration rouge.

— Une maison française (1) fabrique un liquide appelé « Epilame » (dissolution d'un faible pourcentage d'un acide gras dans du toluène ou de la benzine) qui, étalé sur les surfaces à lubrifier, retarde notablement, par affinité moléculaire, l'étalement de toutes les huiles. Ce produit est particulièrement indiqué dans les appareils délicats ou soumis à des températures élevées (appareils destinés aux régions tropicales).

CHAPITRE II.

Appareillage de Commande.

DEFINITIONS.

Les appareils étudiés dans ce chapitre sont définis ainsi qu'il suit :

Interrupteur : Appareil permettant simplement l'ouverture et la fermeture d'un circuit. L'interrupteur peut être uni, bi ou multipolaire.

Contacteur : Appareil permettant simplement la fermeture d'un circuit. Sa position de repos est celle du circuit ouvert.

Rupteur : Appareil permettant simplement l'ouverture d'un circuit. Sa position de repos est celle du circuit fermé.

(1) «Compagnie Française de Raffinage».

Commutateur : Appareil permettant de modifier suivant une loi préétablie, les connexions d'un circuit. Un commutateur peut également être interrupteur.

Inverseur : Commutateur permettant d'inverser le sens des connexions d'un circuit.

Relais : Appareil destiné à transformer automatiquement un phénomène quelconque en une grandeur électrique, ou à amplifier la valeur d'un phénomène électrique.

CLASSIFICATION.

On peut classer les appareils de commande en deux grandes catégories :

1° Les appareils manuels ;

2° Les appareils asservis.

La première catégorie comprend les interrupteurs, commutateurs, contacteurs et rupteurs, dans lesquels l'action suit immédiatement la commande manuelle.

La deuxième catégorie comprend les appareils dont le fonctionnement est asservi à une grandeur électrique, physique ou chimique. On peut les classer à leur tour suivant le tableau ci-dessous :

Appareils à commande automatique	Appareils asservis au temps	{	Relais retardés ou temporisés
			Minuteries Contacteurs horaires
	Appareils asservis à une grandeur électrique	{	Relais ampèremétriques, voltmétriques, wattmétriques
			Relais d'énergie, de fréquence, de cos φ
Appareils asservis à une grandeur physique ou chimique	{	Asservis directement à une variation de :	Longueur Volume Pression (de fluides) Débits (de fluides) Température Humidité Vitesse Accélération, etc
		Asservis indirectement au moyen d'une transformation en un courant électrique d'une variation de :	Lumière Chaleur (par couple thermoélectrique) CO ₂ , CO pH, etc.

Remarque : Cette classification n'offre rien d'absolu. Un relais peut fort bien, par exemple, être asservi à la fois au temps et à une autre grandeur : les disjoncteurs par exemple. Il se peut aussi qu'un appareil soit à la fois manuel et automatique, comme les interrupteurs-disjoncteurs, ou asservi à la fois à deux grandeurs : ainsi les conditionneurs d'air, sensibles à la fois à la température et à l'humidité.

QUALITES D'UN BON INTERRUPTEUR ET D'UN BON COMMUTEUR.

Qu'il soit à commande manuelle ou automatique, un bon interrupteur ou un bon commutateur doit posséder les qualités suivantes :

1° Il doit être robuste, et les matières qui le constituent doivent pouvoir supporter sans usure anormale les manœuvres répétées auxquelles l'appareil est destiné.

2° Les matières qui le constituent doivent évacuer les échauffements éventuels le plus rapidement possible (cette condition concerne le choix et la forme des matériaux).

3° Les surfaces constituant les contacts mobiles doivent être largement calculées, en fonction de l'intensité du courant qui les traverse (voir page 230).

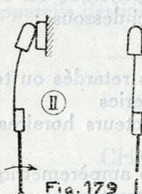


Fig. 179

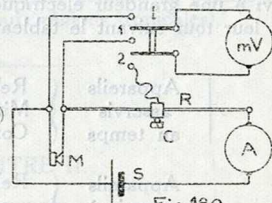


Fig. 180

Fig. 179. — Contact par roulement, pour séparer les points de contact des points de rupture.

Fig. 180. — Méthode de mesure d'une résistance de contact.

4° La coupure doit être *rapide*, pour que l'arc qui apparaît à la rupture dans un circuit inductif soit rapidement éteint, même si la commande se fait lentement.

5° Toutes les fois que cela est possible, les contacts doivent être *glissants*, de façon à assurer un auto-nettoyage et l'expulsion des poussières. A défaut de contacts glissants, on cherchera à faire *rouler* les surfaces en contact l'une sur l'autre, afin que la rupture ne se fasse pas à l'endroit du contact (fig. 179).

6° Les isolants seront choisis pour éliminer tout danger d'électrocution ou d'incendie au moment des manœuvres.

7° La chute de tension créée dans l'appareil doit être la plus petite possible. L'U.S.E. prévoit des épreuves pour contrôler cette chute de ten-

sion qui doit être au maximum de 80 millivolts pour les appareils coupant jusqu'à 5 Ampères, et 30 millivolts pour les appareils coupant de 5 à 20 Ampères.

LES CONTACTS.

Lorsque le courant électrique se propage par conductibilité directe d'un conducteur à l'autre, le contact peut être *permanent* ou *mobile*, suivant qu'on a affaire à des métaux serrés en permanence l'un contre l'autre, ou à des pièces s'écartant et se rapprochant au cours des différentes manœuvres des appareils de commande.

RESISTANCE DE CONTACT.

Le courant rencontre pour traverser un contact une résistance supplémentaire dite « résistance de contact ». Cette résistance varie avec la pression de contact et la nature des conducteurs en présence. Elle varie également, surtout quand la puissance électrique transportée est faible, avec l'intensité du courant. Cette anomalie, en contradiction avec la loi d'Ohm, n'est qu'apparente. En effet, quand deux conducteurs sont en contact, la liaison n'est effective que sur quelques points seulement, pour des raisons constructives faciles à comprendre. Ailleurs, une épaisseur d'air est interposée. La section véritable de passage du courant est donc très faible ; il en résulte un échauffement qui se transmet à l'air et amorce le passage du courant à travers cette mince couche d'air. Ce phénomène se fera d'autant plus sentir que l'intensité du courant est plus grande, et la résistance vraie du contact va donc décroître quand l'intensité augmentera.

MESURE D'UNE RESISTANCE DE CONTACT.

Le schéma de la figure 180 indique une méthode connue pour mesurer la résistance d'un contact. Le millivoltmètre mV indique, lorsque le commutateur à fiches est en 1, la chute de tension au point de contact M ; en 2, il indique, par un curseur mobile C, la longueur, et par conséquent la résistance, de la portion de fil calibré donnant la même chute de tension. Cette résistance est égale à la résistance de contact. Cette méthode a l'avantage de soumettre le contact au courant qui le traverse habituellement.

Remarque : Il est nécessaire, pour l'exactitude de l'expérience, qu'on ait en 1 et en C des contacts de qualité très supérieure à celle du contact à mesurer M.

PRESSION DE CONTACT.

Pour les raisons énoncées plus haut, on cherchera à serrer le plus énergiquement possible les pièces en contact. Le meilleur contact est obtenu par la soudure qui est recommandée chaque fois qu'elle est possible.

Lorsque le contact est obtenu par vissage, il faut chercher à relier ensemble des métaux de même dilatabilité, de façon à conserver le serrage initial malgré des variations répétées de température. Il faut également que les métaux serrés possèdent une certaine ténacité : il est connu, en

particulier, que les alliages fusibles pour coupe-circuits étant mous, ne reprennent pas leur volume initial après plusieurs dilatations et contractions successives, et les vis qui les bloquent se desserrent rapidement, augmentant ainsi la résistance de contact.

Lorsqu'il s'agit d'un contact mobile, la pression doit être réglée au maximum compatible avec la puissance mécanique qui commande la manœuvre.

DENSITE DE COURANT.

La résistance du contact va obliger, pour réduire l'échauffement, à diminuer en cet endroit la densité du courant, par rapport à celle habituellement admise dans les conducteurs (Livre 1, page 29).

C'est ainsi qu'on ne dépassera pas, pour les courants faibles, 0,05 Ampère à 0,1 Ampère par millimètre carré. Les normes U.S.E. prescrivent une densité maximum de courant de :

1° 0,2 A/mm² pour les contacts mobiles, avec minimum de 25 mm² ;

2° 0,4 A/mm² pour les contacts fixes, avec minimum de 12,5 mm².

METAUX EMPLOYES.

Les métaux et alliages en présence dans les contacts fixes sont, comme on l'a vu, de préférence de même nature. On emploie couramment le cuivre, le laiton, le bronze.

Pour les contacts mobiles, ces mêmes matières peuvent être employées pour les appareils de moyenne puissance. Pour les appareils de faible puissance, on emploie avantageusement les métaux précieux : or, argent, platine, et leurs alliages (notamment le platine iridié). Ces métaux sont difficilement oxydables, et leurs oxydes sont, pour la plupart, conducteurs. On utilise aussi le tungstène, surtout lorsque l'appareil est en atmosphère chaude. Ce dernier métal est difficile à fixer sur son support. On le trouve dans le commerce en pastilles cylindriques brasées à haute température sur des vis ou des rivets de cuivre, qui servent à la fixation.

La présence de l'oxygène de l'air favorise l'oxydation des contacts. On peut y remédier en plaçant le contact dans le vide ou dans un gaz réducteur (Azote ou hydrogène).

CONTACTS A MERCURE.

Le mercure, métal simple liquide à la température ambiante, peut réaliser des contacts particulièrement intéressants. Ceux-ci sont réalisés : soit en faisant plonger à volonté une électrode en fer pur dans un bac rempli de mercure (surmonté d'une nappe d'alcool pour diminuer l'émission) ; soit en faisant basculer une ampoule hermétiquement close, dans laquelle le liquide peut à volonté court-circuiter deux ou plusieurs électrodes. Toutes les combinaisons de commutations peuvent être réalisées avec ces ampoules, qui peuvent couper jusqu'à 30 Ampères environ. L'oxydation du métal est retardée en faisant le vide dans l'ampoule ou en la garnissant d'azote ou d'hydrogène. Les parois de l'ampoule sont en verre, en pyrex ou en quartz, pour les plus hautes intensités. Les électrodes sont en alliage dont le coefficient de dilatation est le même que celui

de l'enveloppe, afin d'assurer l'étanchéité à toutes les températures prévues.

Les figures 182-I à III représentent quelques réalisations caractéristiques (1). L'intérêt des interrupteurs à mercure réside en leur longévité (quand ils sont fabriqués avec soin) et dans la faible puissance mécanique nécessaire pour les manœuvrer.

CONTACTS EN CHARBON.

Le contact mobile charbon sur charbon est quelquefois intéressant. Il offre une résistance relativement élevée, mais très constante malgré les variations d'intensité. On emploie le charbon des cornues à grain très fin, et le graphite.

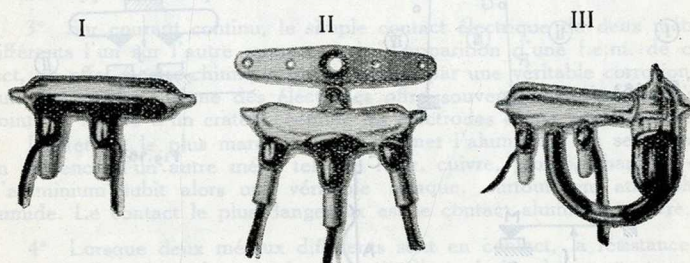


fig. 182

Fig. 182. — 3 contacts à mercure : I interrupteur simple. II inverseur. III interrupteur retardé (voir fig. 213).

DISPOSITION DES CONTACTS.

3 modes principaux de disposition des contacts sont employés :

1° Le *contact direct*, dans lequel la pièce mobile M (fig. 183-I), généralement une lame-ressort, est au repos éloignée de la pièce fixe P, la force motrice F servant à fléchir le ressort pour faire contact entre les deux pièces. La pièce fixe peut être immobile, ou montée également sur une lame-ressort (fig. 183-III). Ce système est intéressant dans certains interrupteurs automatiques, lorsque la force motrice est faible, et aurait à vaincre une résistance trop grande lors du contact (fig. 183-II et IV).

2° Le *contact à réaction*, dans lequel la pièce mobile M repose normalement sur la pièce fixe P sous l'action de son ressort (fig. 184) le rôle de la force motrice F étant d'écarter à volonté les deux pièces. Cette disposition, improprement appelée quelquefois : contact à fermeture (et la première : contact à ouverture) est intéressante, car la pression de contact est constante et ne dépend pas des variations éventuelles de la force motrice.

(1) «S. R. P. I.».

3° Le contact à court-circuit, dans lequel la pièce mobile est une palette qui court-circuite à volonté 2 contacts fixes (fig. 185-1). Elle peut se concevoir avec des ressorts sur la palette mobile, ou sur les contacts fixes (fig. 185-11).

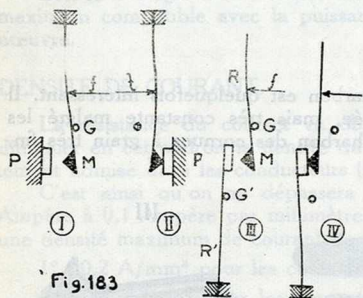


Fig. 183

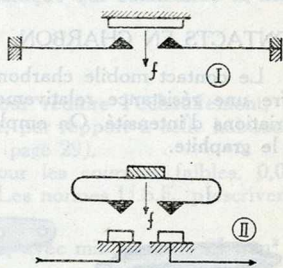
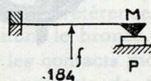


Fig. 185



184

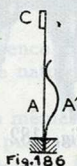


Fig. 186

Fig. 183. — Disposition de contacts directs. I et II : avec un contact fixe ; III et IV : avec les deux contacts élastiques.

Fig. 184. — Contact à réaction.

Fig. 185. — Contact à court-circuit.

Fig. 186. — Dispositif antivibratoire pour contact.

VIBRATION DES CONTACTS.

Certains appareils sensibles comportent des contacts montés sur des lamelles minces et flexibles, et sont : ou traversés par des courants alternatifs, ou soumis à des chocs ou des trépidations. Il s'ensuit des vibrations propres des lamelles pouvant créer des contacts intempestifs.

On peut remédier à ce défaut en utilisant deux lamelles accouplées et de dimensions différentes (fig. 186). On crée ainsi, à force élastique égale, un système ne possédant pas de vibration propre, par suite de la différence des fréquences de vibrations des deux lamelles. On peut aussi, quand cela est possible, y remédier en accentuant la pression de contact.

INFLUENCE DE LA NATURE DES METAUX EN CONTACT.

1° Lorsque deux métaux de même nature sont en contact dans un appareil de faible puissance, on constate qu'ils ont tendance à rester col-

lés, absolument comme si le passage du courant avait provoqué un commencement de soudure autogène. Cette constatation prohibe l'emploi des métaux de même nature lorsque la force qui déplace les contacts est faible.

2° Lorsque deux métaux différents sont en contact, on peut constater, au moyen d'appareils sensibles, qu'à leurs extrémités libres apparaît une force électro-motrice. Cette f.e.m., de l'ordre de quelques millivolts, varie avec la température du point de contact. C'est un couple thermo-électrique, dont il a été question au Livre V, page 212. Si l'on néglige ce couple dans la plupart des appareils, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de très faibles puissances ; il convient donc d'y remédier. On opère le plus souvent en créant dans le circuit deux f.e.m. de contact dirigées en sens opposé, afin qu'elles s'annulent.

3° Sur courant continu, le simple contact électrique de deux métaux différents l'un sur l'autre apporte, avec l'apparition d'une f.e.m. de contact, un effet électro-chimique qui se traduit par une véritable corrosion de l'un des métaux. L'une des électrodes offre souvent alors l'aspect d'une pointe et l'autre d'un cratère, comme les électrodes d'une lampe à arc.

L'effet est le plus marqué quand on met l'aluminium ou ses alliages en présence d'un autre métal tel que : fer, cuivre, plomb, charbon, etc. L'aluminium subit alors une véritable attaque, surtout en atmosphère humide. Le contact le plus dangereux est le contact aluminium-cuivre.

4° Lorsque deux métaux différents sont en contact, la résistance de contact varie suivant le sens du courant. C'est ainsi qu'un contact or sur argent a présenté pour un courant de 2 milliampères une résistance de :

0,098 Ohm dans le sens or \rightarrow argent

0,090 Ohm dans le sens argent \rightarrow or

PRINCIPALE CAUSE DE DESTRUCTION DES CONTACTS MOBILES.

La plus importante des causes de destruction des contacts est la self-induction du circuit commandé. En effet, l'extra-courant de rupture amène une surtension, d'où une étincelle qui accélère l'oxydation des matières en contact.

REMEDES APPORTES.

Plusieurs remèdes peuvent être apportés à ce défaut. Ils consistent tous à supprimer, ou du moins atténuer l'extra-courant de rupture, en offrant à ce courant une dérivation où il peut se dissiper.

La figure 187-I représente une réalisation dans laquelle la résistance R' joue ce rôle. C'est bien entendu une résistance non inductive (résistance en carbone par exemple) d'une valeur égale à 4 ou 5 fois la résistance du bobinage B. On doit remarquer, dans ce cas, que la résistance R' diminue la résistance totale du circuit, et augmente donc l'énergie consommée.

On peut également monter la résistance R' en dérivation sur le contact C (fig. 187-II). Dans ce cas, le courant traverse en permanence la bobine ; il suffit de donner à R' une valeur telle que le courant soit insuffisant à créer un effet appréciable dans la bobine B. Cette méthode est

applicable lorsque les temps de fermeture du contact sont *plus longs* que les temps d'ouverture, car dans ce cas l'énergie supplémentaire dissipée dans R' est moindre que dans le montage précédent.

Un interrupteur spécial à basculeur (interrupteur de Hipp, *fig. 188*) évite une consommation supplémentaire en ne mettant la résistance R' en circuit qu'au moment de la rupture du courant. Une variante simplifiée et très répandue est représentée *figure 189*, où le contact C_2 est en charbon et forme la résistance supplémentaire.

Au lieu d'une résistance, on peut mettre en dérivation un condensateur (*fig. 190*) qui offre sur la résistance l'avantage de ne pas consommer

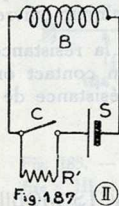
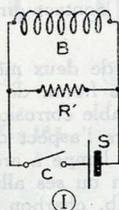


Fig. 187

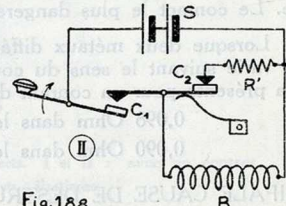
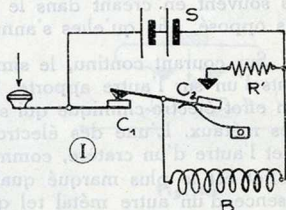


Fig. 188

Fig. 187. — Deux formules d'utilisation d'une résistance sans self-induction, pour absorber l'étincelle d'extra-courant de rupture d'un contact.

Fig. 188. — Interrupteur de Hipp. S : source. B : utilisation (circuit self-lique). C_1 : contact de commande. C_2 : deuxième contact actionné par le premier, et mettant en circuit la résistance sans self-induction R' , seulement au moment de la rupture du circuit principal.

d'énergie supplémentaire sur courant continu. Il se charge lorsque le courant circule dans le circuit, et se décharge au moment de la rupture, en sens inverse de celui de l'extra-courant. La capacité à choisir varie suivant la self-induction du circuit ; on emploie couramment 1 à 5 microfarads. Le condensateur doit être construit pour supporter largement la surtension passagère sans claquer. Toutefois, pour limiter le court-circuit en cas de claquage, et pour atténuer le courant instantané de décharge, il est prudent de mettre en série avec le condensateur C une résistance R' non inductive, égale environ au cinquième de la résistance (ou de l'impédance) du circuit à protéger.

Enfin, on atténue efficacement l'étincelle de self-induction en mettant en dérivation un redresseur de courant du type à oxyde cuivreux (fig. 191) qui n'est pas traversé par le courant normal, mais qui offre un chemin facile à l'extra-courant de rupture. Ce procédé ne peut être employé que sur courant continu. Il retarde notablement le fonctionnement de l'électro-aimant lors de la rupture.

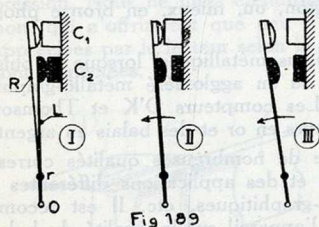


Fig. 189

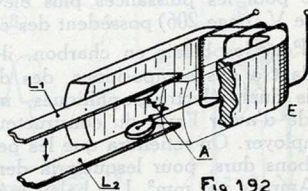
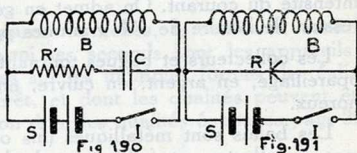


Fig. 192

Fig. 189. — Variante simplifiée de l'interrupteur de Hipp. C_1 : contact métallique principal. C_2 : contact auxiliaire en charbon, supportant l'étincelle de rupture. Les ressorts R et L sont rivés ensemble en R et pivotent autour de l'axe de commande O.

Fig. 190. — Absorption de l'étincelle d'extra-courant par un condensateur C. R' : résistance de protection, non inductive.

Fig. 191. — Absorption de l'étincelle d'extra-courant par un redresseur à oxyde cuivreux R en dérivation sur le circuit selfique.

Fig. 192. — Soufflage magnétique de l'arc. L_1 et L_2 : lames entre lesquelles jaillit l'arc de rupture A. Cet arc est « soufflé » par le flux de l'électro-aimant E (partiellement coupé). Ce dernier est alimenté le plus souvent par le courant même du circuit principal.

SOUFFLAGE DE L'ARC.

Lorsqu'on ne peut éviter un arc, par exemple en cas de court-circuit violent sur un interrupteur, on prévoit divers moyens pour atténuer les effets. La plupart de ces moyens : jet d'air comprimé, vapeur d'huile, interrupteur dans l'huile, ressortissent du gros appareillage. Par contre, il est un système couramment employé dans le petit appareillage, et qui consiste à faire passer l'arc dans un champ magnétique. Celui-ci tend à dévier l'arc (Paragraphe XII, Livre III, page 82., déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique), donc à l'allonger jusqu'à le couper (fig. 192).

CONTACTS ROTATIFS. BALAIS ET COLLECTEURS.

Les interrupteurs et commutateurs tournants, ainsi que les dispositifs à collecteurs, compliquent le problème des contacts en faisant intervenir le facteur « usure ». Les meilleures matières seront celles qui, non seulement rempliront les conditions voulues de conductibilité et d'inoxidabilité, mais pourront supporter la pression de contact des balais sans s'user prématurément. Cette pression des balais est, bien entendu, fonction de l'intensité du courant. On admet en général pour les faibles puissances une pression de l'ordre de 150 grammes par mm^2 .

Les collecteurs et bagues tournantes sont le plus souvent, dans le petit appareillage, en argent, en cuivre, en laiton, ou, mieux, en bronze phosphoreux.

Les balais sont métalliques (fils ou tissus métalliques) lorsque la puissance à collecter est faible, en charbon ou en aggloméré métallo-graphitique pour les puissances plus élevées. Les compteurs O'K et Thomson (Livre V, page 206) possèdent des collecteurs en or et des balais en argent.

Pour les balais en charbon, il existe de nombreuses qualités correspondant à des compositions, des duretés et des applications différentes : balais durs, électro-graphitiques, métallo-graphitiques, etc. Il est recommandé d'avoir l'avis du constructeur de l'appareil sur la qualité du balai à employer. On retiendra que les petites machines emploient en général les charbons durs, pour lesquels la densité de courant à admettre est de 0,6 à 1 Ampère par mm^2 . Les balais métalliques admettent jusqu'à 0,5 A/ mm^2 .

On recouvre souvent les balais d'une légère couche de cuivre électrolytique, qui permet de raccorder par soudure les câbles souples de connexion.

PROFILS EN CONTACT.

Nous avons vu plus haut qu'il était illusoire de vouloir faire « plaquer » l'une sur l'autre deux surfaces métalliques mobiles, et assurer entre elles un contact homogène.

Dans les interrupteurs manuels, dans lesquels la force motrice est suffisamment grande, on utilise le plus souvent une pièce mobile prismatique et rigide M et une pièce fixe F en forme de pince à ressort (fig. 193-I), quelquefois fendue pour multiplier les points de friction. On réalise ainsi le contact frottant dont il a été question page 228.

Les commutateurs modernes, multipliés par la T.S.F., utilisent de petits rivets en métal inoxydable ou en argent, sertis dans la toile bakélisée, qui court-circuitent, lors de la rotation d'une manette, des lamelles-ressorts en chrysocale ou en bronze de glucinium. (Fig. 193-III).

Lorsqu'on a affaire à des interrupteurs et commutateurs automatiques, on ne dispose généralement que d'une puissance mécanique faible, qui ne permet que les contacts par simple pression. On trouve alors des profils variés, dont la figure 193 montre diverses réalisations. On remarquera qu'on y sacrifie délibérément l'illusion d'un contact de grande surface, et qu'on agit généralement par contact « ponctuel » ou « linéaire » d'une surface convexe sur une autre surface plane ou convexe. Cette méthode

est logique, car elle a l'avantage d'admettre aux points de contact une pression spécifique (1) plus élevée.

INTERRUPTEURS ET COMMUTATEURS MANUELS

Les interrupteurs et commutateurs manuels sont à action **permanente**, qui persiste après la manœuvre, ou **temporaire**, qui ne dure que pendant la manœuvre.

Parmi les premiers sont les appareils à fiches, à couteaux, rotatifs, oscillants ou à poussoir (poires). Parmi les seconds sont les appareils à pression. Nous ne nous étendrons pas sur les multiples formes de réalisation, qui n'offriraient que peu d'intérêt, et dont les qualités peuvent être appréciées par le lecteur selon la façon dont les qualités énoncées page 228 sont respectées.

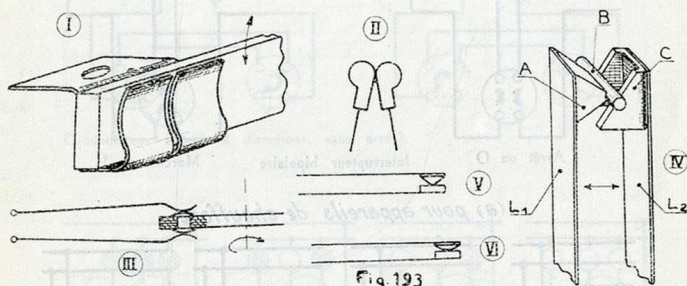
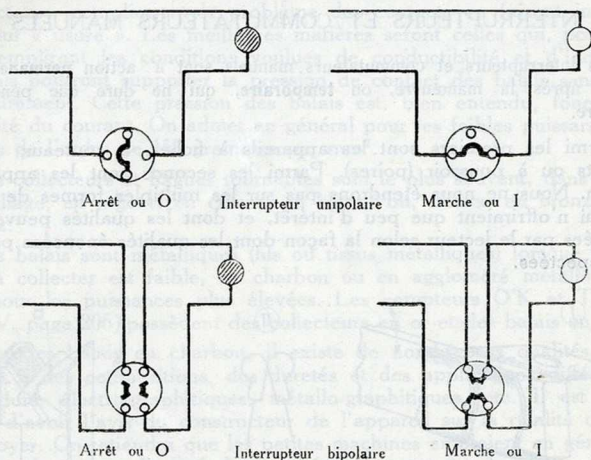


Fig. 193. — Exemples de profils en contact. I : Contact d'interrupteur à couteau. II : Contact à roulement. III : Contact rotatif à palette d'argent et ressorts en chrysocale. IV : Contact d'horloge électrique (système Poncet) ; A : support laiton ; B : goupille or soudée sur A ; C : pièce en U, en argent ; L_1 et L_2 : lamelles-ressorts. V et VI : contacts ponctuels utilisés dans les relais de télécommunications. Les plots de contact sont en métal précieux ou en tungstène.

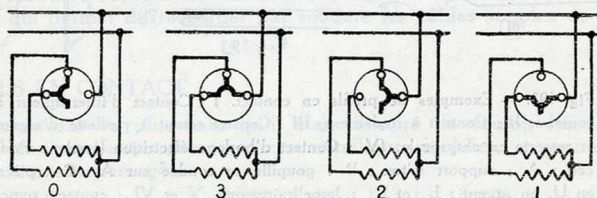
Les interrupteurs peuvent être uni, bi ou multipolaires. Dans un circuit traversé par du courant continu ou alternatif monophasé, il peut paraître suffisant de couper le courant sur un seul fil, et par conséquent d'utiliser un interrupteur unipolaire. C'est pour des raisons de sécurité, et notamment pour éviter les risques d'électrocution, qu'il est imposé d'utiliser un interrupteur bipolaire pour des puissances supérieures à 1 kilowatt. C'est pour les mêmes raisons qu'on coupe les circuits triphasés sur les trois phases, alors qu'il pourrait paraître suffisant de couper sur deux phases seulement.

(1) Pression par unité de surface.

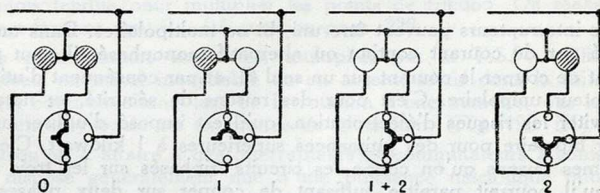
Les schémas ci-contre (fig. 194) montrent quelques réalisations d'interrupteurs et surtout de commutateurs manuels, parmi les plus usités. (1)



(a) pour appareils de chauffage

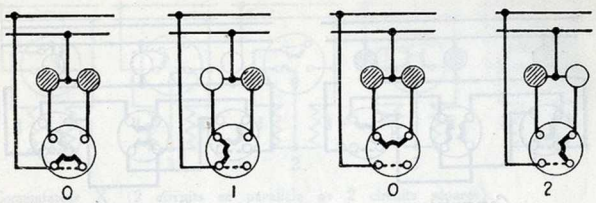


(b) pour circuits d'éclairage

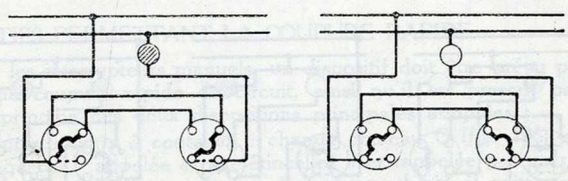


Commutateur I (à 2 directions séparées et marche en parallèle).

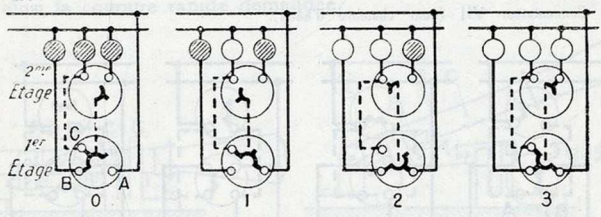
(1) Extrait du fascicule C 25 de l'U.S.E., par autorisation spéciale de l'«Union Technique de l'Electricité».



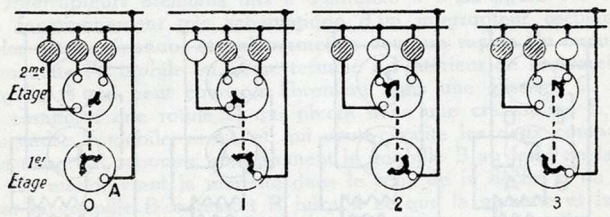
Commutateur II (à 2 directions, avec arrêt).



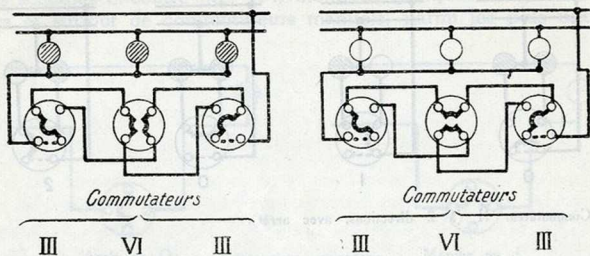
Commutateur III (à 2 directions, sans arrêt).



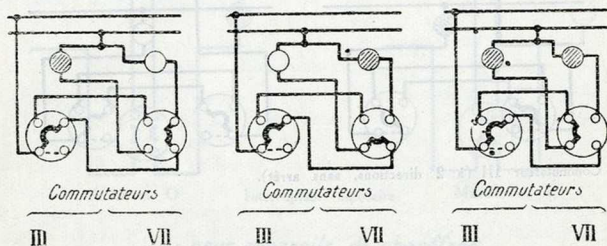
Commutateur IV (à 3 directions pour simple, double ou triple allumage).



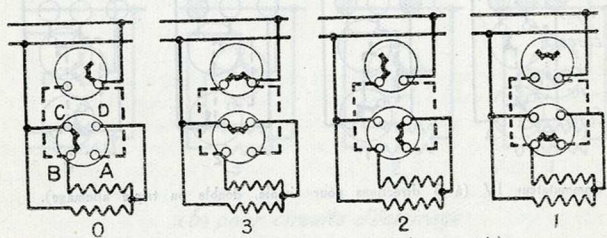
Commutateur V (à 3 directions séparées ou à 3 directions pour simple allumage).



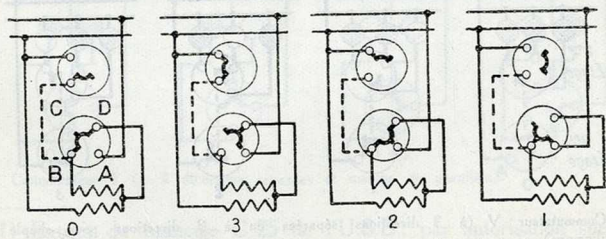
Commutateur VI (inverseur).



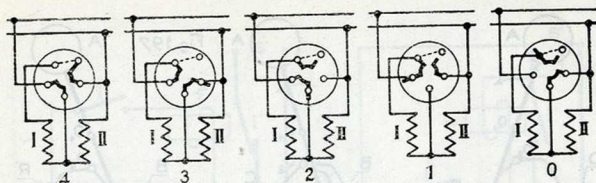
Commutateur VII (pour chambre d'hôtel).



Commutateur VIII (2 directions séparées et marche en série).



Commutateur IX (2 circuits en série, en parallèle ou 1 seul circuit).



Commutateur X (2 circuits en parallèle ou 2 circuits séparés).

Fig. 194. — Schémas d'interrupteurs et commutateurs manuels, avec leur branchement dans leurs circuits respectifs. Les cercles blancs représentent les appareils d'utilisation en circuit, les cercles hachurés les appareils hors circuit).

DISPOSITIFS PERMETTANT LA COUPURE RAPIDE.

Dans les interrupteurs manuels, un dispositif doit être prévu pour permettre une coupure rapide du circuit, ainsi qu'il est prescrit page 228. Voici le principe des deux dispositions principales adoptées :

1° *Interrupteurs à couteaux* : chaque couteau C (fig. 196) est muni d'une plaquette P appelée « pare-étincelles » et rappelée par un ressort R contre le couteau. Si l'on manœuvre lentement celui-ci, il quitte le contact fixe et la plaquette P reste seule pincée par les griffes G et G', et le ressort R s'arme. Lorsqu'il est suffisamment armé, sa force est supérieure à celle du frottement au contact, et la plaquette P revient brusquement, établissant ainsi la coupure rapide demandée.

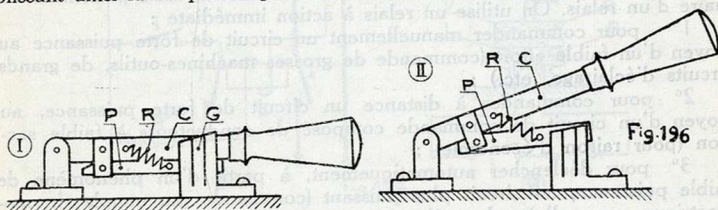


Fig. 196. — Interrupteur à couteau permettant une coupure rapide.

2° *Interrupteurs oscillants dits « Tumblers »* : La figure 197 représente le fonctionnement très schématisé d'un interrupteur oscillant dit « Tumbler » très répandu, et qui permet la coupure rapide du circuit.

La manette A, mobile en O, se termine à l'intérieur de l'appareil par une goupille B qui peut coulisser librement dans une glissière C. Cette glissière comporte une rotule D qui pivote dans une crapaudine E, solidaire du cadre F mobile en O₂ et qui court-circuite les deux contacts G et H. Le ressort R repousse constamment la goupille B au fond de la glissière C. En manœuvrant la manette dans le sens de la flèche f, on comprime par la goupille B le ressort R jusqu'à ce que la manette et la glissière C soient dans le même alignement (II). A ce moment, l'ensemble est en équilibre instable, et le moindre mouvement dans le même sens crée, par la détente du ressort et le jeu de la rotule D, un mouvement

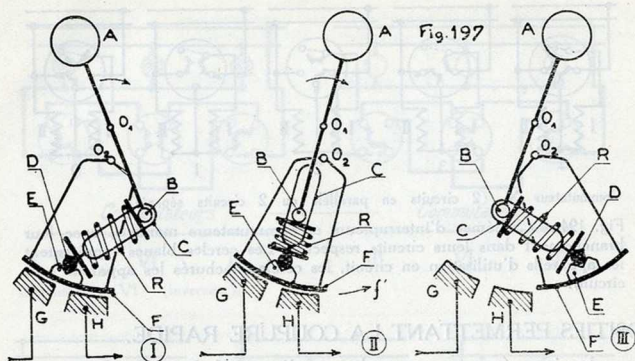


Fig. 197. — Interrupteur oscillant dit « Tumbler ».

brusque dans le sens de la flèche f' du cadre contacteur F autour de O_2 , ouvrant ainsi le circuit entre les contacts G et H (III). L'opération s'effectue identique en sens inverse pour la fermeture du circuit.

RELAIS A COMMANDE IMMEDIATE

Dans cette catégorie sont décrits les interrupteurs et commutateurs dans lesquels le circuit est commandé immédiatement, mais par l'intermédiaire d'un relais. On utilise un relais à action immédiate :

1° pour commander manuellement un circuit de forte puissance au moyen d'un faible effort (commande de grosses machines-outils, de grands circuits d'éclairage, etc.) ;

2° pour commander à distance un circuit de forte puissance, au moyen d'un circuit de commande composé de conducteurs à faible section (pour raison d'économie) ;

3° pour déclencher automatiquement, à partir d'un phénomène de faible puissance, un circuit plus puissant (commande par couple thermo-électrique, par cellule photo-électrique, par ondes radio-électriques, etc.).

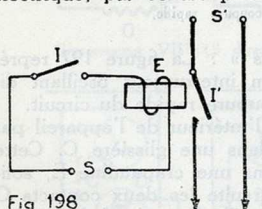


Fig 198

Fig. 198. — Principe général et schématisation des relais à action immédiate.

Le principe général du relais à action immédiate est schématisé figure 198. Une source S fournit le courant nécessaire à l'excitation d'un électro-aimant E lorsque l'interrupteur I est dans la position de circuit fermé. Le noyau attire alors l'armature I' qui ferme l'interrupteur du courant principal issu de S' . Lorsqu'on ouvre I, l'excitation cesse et I' s'ouvre également. On conçoit qu'une faible puissance dans le circuit de S, appelé « circuit primaire », suffit à commander une puissance plus grande dans le circuit de S' , appelé « circuit secondaire ».

De nombreuses variantes sont possibles. Nous schématisons les plus caractéristiques dans les figures 199 à 202 ci-contre.

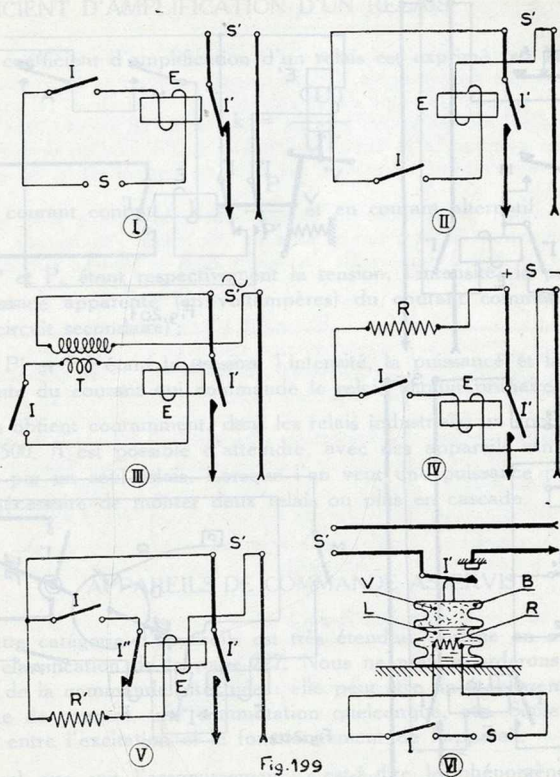


Fig. 199

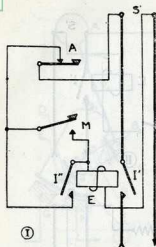
Fig. 199. — I : Relais travaillant à l'ouverture. Le circuit secondaire S' est coupé quand le circuit primaire S est fermé par l'interrupteur I .

II : Relais travaillant à la fermeture, mais dans lequel le circuit primaire est soumis à la même tension que le circuit secondaire.

III et IV : Relais travaillant à la fermeture, dans lequel le circuit primaire est commandé sous basse tension par la source secondaire, au moyen d'un transformateur (courants alternatifs) ou d'une résistance R (courants continus).

V : Relais travaillant à la fermeture, dans lequel une résistance R' est insérée lors du collage de l'armature de l'électro-aimant, pour diminuer la consommation de ce dernier.

VI : Relais utilisant la variation de tension de vapeur d'un liquide volatil V à l'intérieur d'une boîte à soufflet B . Le liquide est chauffé par une résistance R branchée dans le circuit primaire.



①

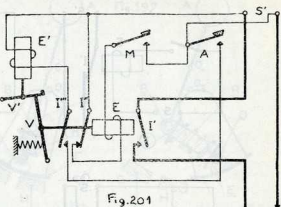


Fig. 201

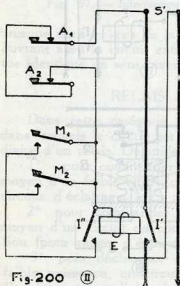


Fig. 200 ②

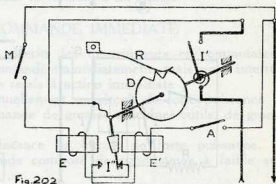


Fig. 202

Fig. 200. — I : relais dit « contacteur-rupteur », dans lequel une excitation passagère des boutons « marche » M et « arrêt » A établit et coupe automatiquement le circuit secondaire S' (commande de machines-outils). L'électro-aimant attire les interrupteurs I' et I''. I' transforme les pressions de courte durée sur les poussoirs, en fermetures et ouvertures permanentes.

II : contacteur-rupteur comportant plusieurs boutons « marche » et « arrêt » (M_1, M_2 et A_1, A_2) indépendants, pour commande de plusieurs points différents.

Fig. 201. — Contacteur-rupteur à deux poussoirs « marche » (M) et « arrêt » (A) dans lequel le courant primaire cesse de passer dans l'électro-aimant E lors du collage, un verrouillage étant assuré mécaniquement par les volets V et V'. Pour l'arrêt, le poussoir A commande l'électro-aimant E' de verrouillage. On réalise ainsi une économie de consommation de courant (fabrication Brandt).

Fig. 202. — Variante sur le même principe que la fig. 201. Le verrouillage est assuré par le ressort-sautoir R entrant dans l'une des encoches du disque D. Le courant ne circule dans les électro-aimants E et E' que pendant le temps de basculement de la palette mobile I'' (fabrication Compagnie des Compteurs).

COEFFICIENT D'AMPLIFICATION D'UN RELAIS.

Le coefficient d'amplification d'un relais est exprimé par la formule :

$$k = \frac{UI}{U'I'}$$

soit en courant continu : $k = \frac{P}{P'}$, et en courant alternatif : $k = \frac{P_a}{P'_a}$

U , I , P et P_a étant respectivement la tension, l'intensité, la puissance et la puissance apparente (en voltampères) du courant commandé par le relais (circuit secondaire) ;

U' , I' , P' et P'_a étant la tension, l'intensité, la puissance et la puissance apparente du courant qui commande le relais (circuit primaire).

On obtient couramment, dans les relais industriels, un coefficient k de 200 à 500. Il est possible d'atteindre, avec des appareils sensibles, 5000 et plus par un seul relais. Lorsque l'on veut une puissance plus grande, il est nécessaire de monter deux relais ou plus en cascade.



ULTIMHEAT®
VIRTUAL MUSEUM

REGULATION AU MOYEN D'APPAREILS DE MESURES ELECTRIQUES.

On a vu qu'on peut transformer n'importe quelle grandeur physique ou chimique en une grandeur électrique et la mesurer comme telle. De même, on peut régulariser n'importe quelle grandeur en utilisant des appareils électriques. Le principe est le suivant :

- 1° La grandeur à stabiliser est transformée en grandeur électrique ;
- 2° La grandeur électrique est appliquée à un appareil de mesure ;
- 3° L'organe de mesure accuse les variations de la grandeur, de part et d'autre de sa valeur idéale ;
- 4° L'organe régulateur proprement dit, asservi à l'appareil de mesure, commande le mécanisme permettant de faire varier la grandeur dans le sens cherché.

REGULATION DIRECTE.

Ce procédé consiste à faire commander directement les contacts de commande par l'équipage mobile de l'organe de mesure (fig. 269). Il est simple, mais il ne peut être utilisé que lorsqu'on dispose d'un couple moteur élevé, et pour régulariser des grandeurs importantes. Les contacts sont souvent hésitants, et s'oxydent assez vite par suite des mouvements lents de l'équipage de mesure.

La commande s'applique, avec ou sans intervention de relais, à des mécanismes appropriés, par exemple :

pour la *température* : mise « en » ou « hors » circuit de résistances chauffantes, admission de combustibles liquides dans un foyer au moyen d'une vanne commandée par servo-moteur électrique, admission de vapeur, mise en route d'une chaîne sans fin amenant le charbon dans le foyer, mise en route d'un groupe frigorigène ou d'un ventilateur, etc. ;

pour la *pression* et le *débit* : admission du fluide par vannes motorisées ;

pour l'*hygrométrie* et le *conditionnement de l'air* : commande d'un moto-pulvérisateur de vapeur d'eau, d'un ventilateur, d'un épurateur, etc. ;

pour le *niveau d'un liquide* : commande d'une moto-pompe ou d'un déversoir ;

etc., etc.

REGULATION PAR PALPAGE.

C'est le dispositif le plus employé à l'heure actuelle. La figure 270 en représente schématiquement les particularités essentielles, que l'on rapprochera de celles de l'enregistreur par points de la figure 131, page 178.

L'équipage de mesure M porte l'aiguille A qui se déplace devant le cadran C. Un étrier E, mobile en e et e' , est soulevé périodiquement (plus ou moins fréquemment selon la précision et l'inertie du régulateur ; toutes les 30 secondes dans de nombreux cas) par une came Q et un poussoir P. La came est solidaire du dernier mobile d'un train réducteur x y z p, entraîné par un petit moteur S alimenté par le courant du réseau.

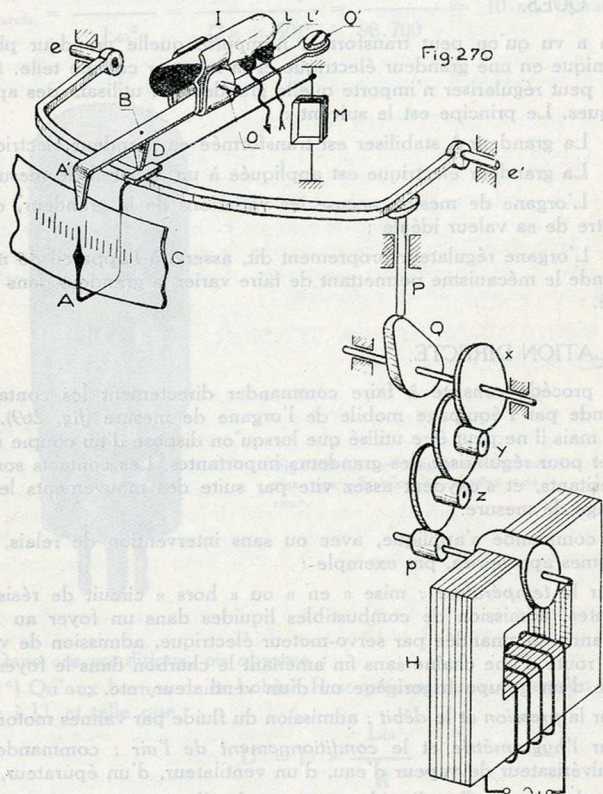


Fig. 270. — Schéma d'un appareil de régulation électrique par palpage.

A chaque montée de l'étrier E, l'aiguille A est soulevée par le jeu de son élasticité. Si elle rencontre sur sa trajectoire le doigt fixe D, elle soulève celui-ci, mobile en O, et fait basculer l'interrupteur à mercure I, qui ferme le circuit de commande entre i et i' .

Le doigt D est également solidaire d'un bras B monté à frottement dur autour de l'axe O', et terminé à l'avant par un index A', le tout déplaçable à volonté devant le cadran C, et servant à prédéterminer la valeur de la grandeur à régler.

Prenons par exemple la régulation d'une température dans un four. L'équipage mobile est un cadre bobiné alimenté par une canne pyrométrique, et indique donc la température du four. On place l'index A' devant la température fixée. Lorsque l'aiguille ne se trouve pas devant l'index, ce dernier reste dans sa position de repos, et le circuit est coupé en i'. Lorsque la température du four atteint la valeur prévue, l'index est soulevé et le circuit se ferme en i'. On peut alors commander par cet interrupteur un relais qui coupe le circuit de chauffage, en totalité ou partiellement. Ce relais, par exemple, aura une temporisation légèrement supérieure au temps qui s'écoule entre deux palpées de l'étrier. Ainsi, quand la température aura baissé, l'aiguille se déplaçant ne se trouvera plus sous le doigt D et le relais rétablira le circuit de chauffe après son délai de temporisation.

Toute autre disposition peut être imaginée ; par exemple : deux doigts indépendants au lieu d'un, et ayant pour buts : l'un de fermer le circuit de chauffe, l'autre de l'ouvrir ; ou un cliquet maintenant le doigt D et l'interrupteur I soulevés tant que l'aiguille sera devant l'index A' ; ou un doigt D en forme d'escalier pour plusieurs stades de régulation, etc.

La régulation par palpage est beaucoup plus sensible que la précédente et doit être conseillée chaque fois que l'on ne dispose que de faibles couples sur l'organe de mesure. Par contre, l'appareil régulateur est plus compliqué et plus cher.

REGULATION POTENTIOMETRIQUE.

Cette régulation, réservée aux applications de haute précision, est basée sur la méthode de mesure par opposition, appelée aussi méthode de zéro. Le principe en est le suivant :

- 1° La grandeur à régulariser est transformée en une différence de potentiel électrique ;
- 2° Cette d.d.p. est opposée à une tension auxiliaire fixe, de façon à ce que la tension résultante soit nulle quand la valeur idéale est atteinte ;
- 3° Le régulateur met en circuit les organes de commande pour toutes les valeurs non nulles de la tension résultante.

La figure 271 représente une forme de réalisation (1). Le galvanomètre G est monté en série avec la tension à régulariser S, dans la diagonale d'un pont de Wheatstone à 4 résistances fixes R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , et une résistance potentiométrique P. L'autre diagonale porte une source auxiliaire S' (Pile étalon Weston) et un rhéostat de tarage R_h . On règle le bouton du potentiomètre sur un cadran gradué en unités de la grandeur à régulariser. L'appareil est étalonné pour que les sources S et S' se fassent exactement opposition lorsque S a la valeur indiquée sur le cadran du potentiomètre. Pour toute autre valeur de S, le galvanomètre G dévie donc à droite ou à gauche, et on lui fait manœuvrer, par palpage de l'aiguille A, les organes de commande. Le dispositif régulateur proprement dit ne diffère pas du précédent ; aussi n'est-il pas représenté.

Cet appareil est souvent à la fois enregistreur et régulateur.

(1) «Siemens», «Leeds et Northrup».



Imprimerie Charat
Pont-de-Beauvoisin (Savoie)

R. MIMEUR, Technique du Petit Appareillage Électromécanique