

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegraфи svizzeri
Herausgeber:	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
Band:	34 (1956)
Heft:	6
Artikel:	Technique de la télévision
Autor:	Karolus, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-874525

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

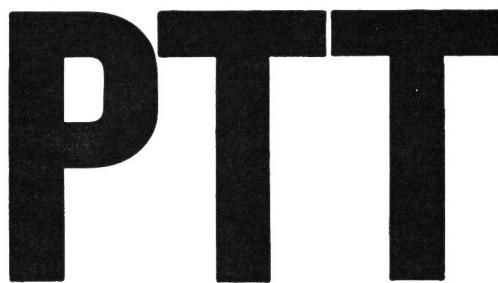
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE



BOLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Technique de la télévision¹

Par A. Karolus, Zollikon-Zurich

621.397.5:621.397.3

Résumé. Partant de la constitution de l'œil humain et des phénomènes physiologiques dont il est le siège, l'auteur présente un aperçu du développement de la télévision, depuis les procédés «mécaniques» servant à analyser une image jusqu'aux méthodes électroniques modernes. La demande d'images toujours plus précises et plus claires a conduit à une énorme augmentation de la largeur de bande des amplificateurs et de la transmission électrique et, par voie de conséquence, à la construction des câbles à large bande et à l'établissement des émetteurs d'ondes ultra-courtes.

L'emploi du principe de l'accumulation, ainsi que des essais systématiques du fonctionnement des tubes de prise de vues ont permis d'en augmenter la sensibilité au point qu'elle s'approche actuellement de celle de l'œil humain.

Le développement du tube récepteur est caractérisé par l'agrandissement constant de l'image, l'augmentation de la clarté de l'écran et l'amélioration de l'effet de contraste. La qualité actuelle de l'image a été atteinte grâce surtout à: l'amélioration des phosphores, l'application sur l'écran, par vaporisation, d'une mince couche d'aluminium, l'augmentation de la vitesse des électrons et l'amélioration constante de la reproduction électro-optique de la cathode sur l'écran. Les dispositifs auxiliaires servant à dévier le rayon cathodique, à renforcer le signal-image à haute fréquence et à discriminer les impulsions de synchronisation constituent une partie importante de l'agencement technique d'un récepteur de télévision complet.

Pour finir, l'auteur traite encore brièvement des procédés connus de télévision en couleurs, particulièrement des difficultés que rencontre la transmission de trois couleurs choisies et du mélange des trois images partielles.

Le texte original de cet article a paru en langue allemande dans le Bulletin technique PTT 1955, n° 5, p. 169 à 186.

A. Principes physiologiques et physiques de la télévision

De même que les organes de la parole et de l'ouïe ont été à l'origine du développement du téléphone, de même l'œil humain a servi de modèle aux débuts du

¹ Note de la rédaction. Nous avons prié M. le professeur A. Karolus, un des pionniers de la télévision, d'écrire une initiation à la télévision pour les lecteurs de notre Bulletin ne possédant que peu de connaissances techniques. M. le professeur Karolus a répondu aimablement à notre demande, ce dont nous le remercions vivement.

Zusammenfassung. Vom Aufbau des menschlichen Auges und den physiologischen Vorgängen in demselben ausgehend, wird ein Überblick über die Entwicklung des Fernsehens von den «mechanischen» Verfahren der Bildfeldzerlegung bis zu den heutigen elektronischen Methoden gegeben. Die Forderung nach immer schärferen und helleren Fernsehbildern führte zu einer enormen Vergrösserung der Bandbreite der Verstärker und der elektrischen Übertragung und dadurch zur Entwicklung der Breitbandkabel und der Ultrakurzwellensender.

Die Fernseh-Aufnahmeröhre ist durch die Verwendung des Speicherprinzips und durch systematische Untersuchungen ihrer Wirkungsweise in ihrer Empfindlichkeit so weit gesteigert worden, dass sie in ihrer letzten Entwicklungsphase an die Empfindlichkeit des menschlichen Auges heranreicht.

Die Entwicklung der Fernseh-Empfangsröhre ist gekennzeichnet durch die stetige Zunahme der Bildgröße, durch Steigerung der Schirmhelligkeit und durch Verbesserung des Bildkontrastes. Die heutige Bildqualität wurde im wesentlichen erreicht durch: Verbesserung der Phosphore, durch das Aufdampfen einer dünnen Aluminiumschicht auf den Leuchtschirm, durch Erhöhung der Elektronengeschwindigkeit und durch die stetige Verbesserung der elektronenoptischen Abbildung der Kathode auf dem Bildschirm. Einen wesentlichen Anteil am technischen Aufwand eines vollständigen Fernseh-Empfängers bilden die Hilfsmittel, die zur Ablenkung des Kathodenstrahles, zur Verstärkung des hochfrequenten Bildsignals und zur Abtrennung der Synchronisierimpulse notwendig sind.

Zum Schluss wird kurz auf die heutigen Farbfernseh-Verfahren eingegangen, vor allem auf die Schwierigkeiten bei der Übertragung von drei Farbauszügen und der simultanen, additiven Mischung der drei Teilbilder.

Die deutschsprachige Originalfassung des hier in der Übersetzung wiedergegebenen Beitrages erschien in den Technischen Mitteilungen PTT 1955, Nr. 5, S. 169...186.

téléviseur électrique. L'œil possède une lentille qui reproduit l'image du monde extérieur sur des millions d'organes sensibles à la lumière, les bâtons et les cônes. Sous l'influence de la lumière chacune de ces cellules produit une tension électrique. Chaque cellule sensible de la rétine est reliée par un filament du faisceau du nerf optique à une cellule déterminée du centre optique du cerveau. La «surface visuelle» sen-

sible de l'œil humain se divise en un nombre extraordinairement élevé, mais néanmoins fini, d'éléments indépendants. Les dimensions finies des bâtons et des cônes déterminent la limite de l'acuité visuelle. Nous ne pouvons reconnaître séparément deux points lumineux ou deux lignes que s'ils forment pour notre œil un angle supérieur à 1...2 minutes d'arc. Pour une acuité visuelle moyenne de 1,5 minute, l'œil peut distinguer sur chaque degré d'angle 40 bandes de luminosité différente. C'est pourquoi, pour le nombre de lignes actuel (625), l'angle de vision optimum d'une image de télévision est de 15 degrés environ. Si l'on s'approche davantage de l'image, elle perd sa netteté, car les lignes qui la composent deviennent visibles. En s'écartant de l'image, on distingue de moins en moins les détails. Vu la grosseur des grains de l'émulsion, une bonne image de cinéma correspond à une définition de 800 lignes environ.

Au début de ce siècle, on a très souvent décrit des téléviseurs, constitués comme l'œil, par des «réseaux à cellules», mais, à l'exception d'essais primitifs, aucun modèle sérieux n'a été réalisé. Ainsi, selon un projet de *Rignoux et Fournier* (1909), l'image à transmettre électriquement doit être projetée par l'intermédiaire d'un objectif sur une surface entièrement recouverte d'un grand nombre de petites cellules au sélénium; chacune d'elles commande par sa propre ligne la brillance d'une petite lampe à incandescence ou à luminescence qui occupe la même position sur un écran. Cet écran récepteur comporte des lampes en nombre égal à celui des cellules de l'émetteur et elles sont disposées de la même façon. La reproduction des valeurs de la brillance des divers éléments d'image s'opère par le changement de l'intensité de courant qui est proportionnelle à l'exposition momentanée de la cellule au sélénium coordonnée. L'inertie des organes de prise de vues, de même que la capacité de modulation des sources lumineuses sont soumises à de très faibles exigences. Compte tenu de l'inertie de l'œil humain qui n'est pas à même de suivre les changements de l'image en 1/10 de seconde environ, il suffit que les convertisseurs d'énergie soient capables de se régler dans ce laps de temps. Les difficultés de ces téléviseurs résident dans le nombre de lignes nécessaires. Un réseau de 10 000 éléments au moins étant nécessaire pour obtenir une netteté acceptable de l'image (100 lignes par 100 éléments), il faudrait établir un câble de 10 000 voies indépendantes isolées pour relier l'installation de prise de vues à celle de la retransmission télévisuelle, ce qui n'est pas rentable au point de vue économique. Les projets d'utiliser, en lieu et place des lignes indépendantes, des courants alternatifs de diverses fréquences pour alimenter des points de même position, ne sont pas réalisables à cause de la dépense qu'exigerait la production et la séparation des différentes fréquences.

La télévision fonctionnant suivant le principe de l'œil humain s'est révélée jusqu'ici irréalisable. La solution technique beaucoup plus simple réside dans

la mise au point de la phototélégraphie où les surfaces élémentaires d'une image sont transmises *les unes à la suite des autres sur une ligne*. L'image est décomposée par des moyens mécaniques ou électriques en une succession d'éléments.

En phototélégraphie, on analyse ordinairement l'original se présentant sous forme de photographie ou de dessin en le faisant tourner sur un tambour de manière qu'il passe devant un objectif fixe. Le tambour se déplaçant simultanément dans le sens de l'axe, tous les éléments de l'image se présentent les uns à la suite des autres sous le rayon lumineux qui n'éclaire chaque fois qu'un seul élément d'image ayant une fraction de millimètre carré de surface. La lumière réfléchie tombe sur une cellule photo-électrique qui convertit les valeurs de brillance des différentes surfaces élémentaires en signaux électriques. Côté récepteur, un film photographique, tournant sur un même tambour synchronisé avec le balayage, enregistre au fur et à mesure l'image point par point, le courant étant préalablement reconvertis à l'arrivée en signaux lumineux d'intensité variable.

Bien qu'utilisant d'autres méthodes, la technique actuelle de la télévision analyse, comme la phototélégraphie, l'image optique et transmet point à point les signaux de vision. Mais, tandis qu'en phototélégraphie la transmission d'une image exige ordinairement plusieurs minutes, en télévision l'analyse complète du champ de l'image, la conversion en signaux électriques et la reproduction de l'image sur le récepteur doivent se dérouler en une fraction de seconde. Les points lumineux qui se succèdent ne se fondent dans l'œil en une ligne ininterrompue et l'ensemble des lignes en une surface complète que si ce phénomène s'accomplit en un laps de temps inférieur à 1/10 de seconde.

Ce procédé serait irréalisable sans l'inertie, dont il a déjà été question, de l'œil humain. Toute excitation lumineuse, si brève soit-elle, persiste au moins 1/10 de seconde environ. Grâce à cette «persistance», l'œil établit, par exemple, une impression de continuité entre les images qui lui sont présentées successivement lors d'une projection cinématographique. Pour éviter les effets de scintillement, il faut au moins une cadence de 20 images par seconde et lorsque l'image est plus claire jusqu'à 60 images par seconde.

B. Analyse de l'image et largeur de la bande

Dans la résolution d'une image en une suite de signaux en fonction du temps, ceux-ci subissent des variations d'autant plus rapides que la définition est plus fine et que la répétition est plus fréquente. Le produit du nombre des éléments de chaque image par la cadence donne le nombre d'impulsions de courant de diverse intensité qui doivent être transmises chaque seconde. La définition déjà citée comme exemple d'une image décomposée en 10 000 éléments implique pour une cadence de 25 répétitions à la seconde la nécessité de transmettre 250 000 signaux par seconde. Tous les

organes convertisseurs doivent être à même de reproduire ce nombre de signaux sans distorsion. Les cellules au sélénium, qu'il était possible d'utiliser pour le téléviseur à réseau brièvement décrit au début de cet article, ne peuvent fonctionner que pour quelques milliers de signaux par seconde. L'effet photo-électrique des couches de potassium ou de césium, connu depuis longtemps, n'a pu être utilisé que lorsque le tube amplificateur a été mis au point. Dans sa forme actuelle, le tube électronique vit le jour dans les années 1914 à 1920; l'étude de la télévision commença immédiatement.

Les courants, engendrés dans une cellule photo-électrique à vide poussée par une quantité de lumière d'un Lumen (Lm), sont en chiffres ronds cent fois plus petits que dans une cellule au sélénium. Dans les meilleures cellules photo-électriques, le courant est de 30 à 100 $\mu\text{A/Lm}$. Mais l'émission d'électrons par une couche de potassium ou de césium a lieu sans retard mesurable. Dans les conditions d'éclairage d'une émission de télévision, les courants photo-électriques produits sont si faibles qu'il faut les amplifier 10⁴ à 10⁶ fois avant de les utiliser pour la modulation d'un émetteur à haute fréquence. La cellule photo-électrique et l'amplificateur résolvent ensemble les problèmes de la télévision du côté émission.

A l'arrivée au récepteur, les signaux doivent être reconvertis sans retard en une succession correspondante de signaux lumineux. L'emploi de l'effet électro-optique de Kerr a permis, pour la première fois en 1924, de résoudre ce problème.

Le progrès technique que la télévision a fait au cours de ces 30 dernières années est caractérisé de la manière la plus frappante par l'accroissement du nombre de lignes. Le tableau ci-dessous montre comment le nombre de lignes et le nombre d'éléments d'image ont augmenté durant cette période.

est égal au carré du nombre de lignes. La troisième colonne du tableau ci-dessous contient le nombre des éléments d'image, c'est-à-dire la définition de l'image obtenue aux différents stades du développement de la télévision.

Pour que l'œil humain soit à même de fondre en une image les points qui lui sont présentés successivement sur le récepteur de télévision, il faut, comme nous l'avons déjà dit, que la structure complète d'une image passe devant lui en une fraction de seconde. L'expérience a révélé que la transmission d'une image doit se répéter au moins 25 fois par seconde. Le nombre de ces répétitions s'appelle la cadence. Durant les premières années de la télévision, on s'est contenté d'une cadence de 10 à 12 images par seconde en acceptant un fort effet de scintillement.

La fréquence la plus élevée pouvant se présenter dans l'analyse d'une image se produit lorsqu'un élément d'image blanc précède immédiatement un élément d'image noir et que, par conséquent, l'image entière est divisée en quelque sorte en un échiquier dont les cases ont la surface d'un élément d'image. Un courant positif pouvant transmettre un élément d'image blanc et une valeur de courant négative un élément d'image noir, le courant alternatif engendré au moment de la conversion des signaux a une limite de fréquence supérieure égale à la moitié du nombre de spots par seconde. Mais la répartition de la brillance d'une image peut prendre toutes les valeurs intermédiaires entre l'*«échiquier»* et l'autre extrême où la surface entière est blanche ou noire. C'est pourquoi l'amplificateur et les convertisseurs électro-optiques doivent être à même de transmettre toutes les fréquences de zéro à la fréquence-limite supérieure.

La colonne 5 du tableau contient la fréquence maximum pouvant se présenter dans le cadre d'une certaine normalisation. Lorsqu'un câble doit relier le

Année	Nombre de lignes	Nombre d'éléments d'image	Nombre d'images à la seconde	Largeur de bande maximum	Fréquence porteuse nécessaire	λ
1924	48	2 500	10	12,5 kHz	0,6 MHz	500 m
1928	100	10 000	12,5	62 kHz	10 MHz	30 m
1932	120	14 500	24	170 kHz		
1935	180	33 000	25	400 kHz	3,3 MHz	6...1 m
1939	441	200 000	25	3,3 MHz		
1951	625	400 000	25	6,2 MHz	50...300 MHz	

Etant donné que, pour transmettre une image de télévision, on est obligé d'en analyser point par point et de reproduire les signaux correspondants sur le récepteur en respectant leur succession en fonction du temps, ce n'est pas le nombre de lignes qui détermine la définition d'une image, mais le nombre des éléments d'image. En choisissant les dimensions d'un élément d'image de telle sorte que la définition verticale de l'image soit égale à la définition horizontale, on s'aperçoit que le nombre des éléments d'une image

côté émission au côté réception d'un téléviseur, il est indispensable qu'il transmette toutes les fréquences jusqu'à cette fréquence-limite supérieure. En conséquence, la largeur de bande d'un câble et de tous les amplificateurs installés sur le parcours du câble est également déterminée par la fréquence indiquée dans la colonne 5.

La solution, choisie par la technique actuelle de la télévision, de transmettre en une succession rapide, contrairement aux principes de l'œil, les éléments

d'une image n'exige qu'une liaison, câble ou émetteur radio, entre le côté prise de vues et le côté reproduction. Mais cette simplification entraîne les complications suivantes:

1. Balayage de l'image côté émission et réception en $1/25$ de seconde;
2. Répétition constante de l'image;
3. Synchronisme entre le balayage côté émission et côté réception;
4. Câbles, amplificateurs, émetteurs et récepteurs à très grande largeur de bande;
5. Emetteur à haute fréquence à portée limitée travaillant dans le domaine des ondes métriques et décimétriques.

C. Les systèmes d'analyse mécanique de la télévision

Nous parlons de «systèmes d'analyse mécanique de la télévision» lorsque l'image est décomposée en éléments par des moyens mécaniques tels que le disque de Nipkow, les roues à miroirs, etc. Un disque de Nipkow (*P. Nipkow, 1884*) comporte sur son pourtour un certain nombre de trous qui, disposés en spirale, ne laissent parvenir à la cellule photo-électrique qu'un seul élément à la fois de l'image reproduite dans le plan du disque (fig. 1). La dimension de l'élément d'image est déterminée par le diamètre du diaphragme et le nombre de lignes par le nombre de trous. Lorsque le disque a fait un tour, l'image complète a été analysée une fois. Un moteur synchrone fait tourner le disque en un nombre de tours correspondant à la cadence.

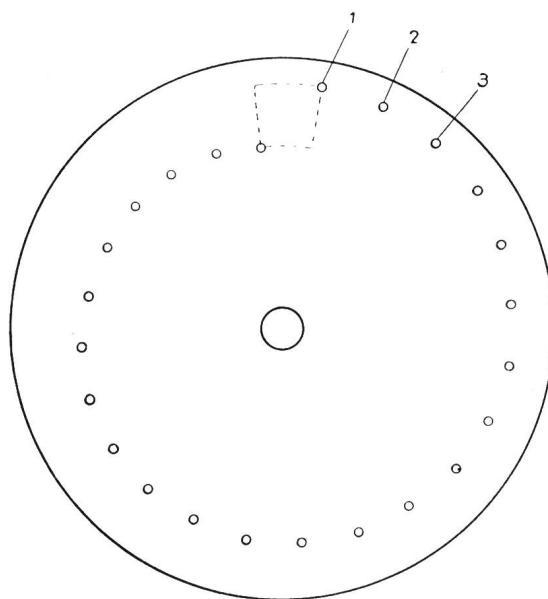


Fig. 1. Disque de Nipkow

La figure 2 montre un téléviseur utilisant à l'émission et à la réception un disque de Nipkow. Un objectif reproduit une image du sujet à transmettre sur le disque de balayage; lorsque ce dernier tourne, l'image est projetée point à point sur la cellule photo-électrique qui réagit immédiatement. Le courant photo-

électrique produit varie pour chaque élément d'image selon sa brillance. Un amplificateur amène les tensions de quelques millivolts apparaissant sur la résistance photo-électrique à une valeur permettant de commander une source lumineuse à la réception. Une lampe à luminescence destinée à retraduire les signaux électriques en signaux lumineux est indiquée sur la figure 2. Mais il faut noter que la lampe à luminescence ne permet même pas la réception d'une image décomposée en 10 000 éléments.

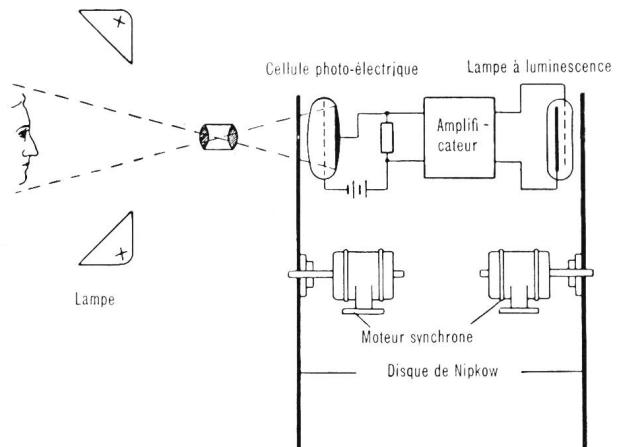


Fig. 2. Schéma d'une émission de télévision. Analyse de l'image dans l'émetteur et le récepteur par un disque de Nipkow

Les pertes de lumière à l'émission et à la réception d'un système de télévision tel que celui représenté par la figure 2 sont évidentes. Seule une très petite fraction de toute l'image projetée par l'objectif parvient à chaque instant sur la cellule photo-électrique, tout le reste de lumière est perdu. De même, seule une fraction de la surface de la lampe à luminescence donnée par la grandeur de l'élément d'image frappe l'œil du téléspectateur.

Les systèmes dans lesquels l'image est analysée par des roues à miroirs (fig. 3) possèdent un rendement plus élevé. Un tambour porte sur son pourtour autant de miroirs que l'image a de lignes. Chaque miroir ana-

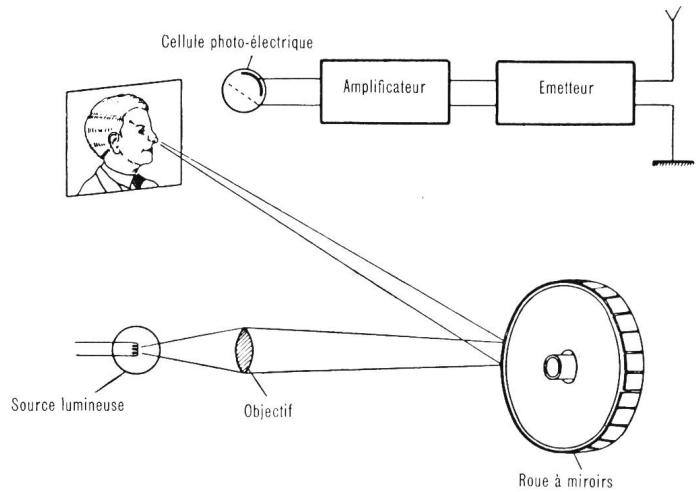


Fig. 3.
Emetteur de télévision, analyse de l'image par roue à miroirs

lyse une ligne par le fait que, en tournant, la roue déplace l'image d'une source lumineuse punctiforme sur l'objet à téléviser. Les miroirs sont orientés de telle sorte que les lignes balayées se trouvent les unes au-dessous des autres (Weiller, 1889). La lumière réfléchie par le sujet éclairé frappe une cellule photo-électrique. Les courants photo-électriques sont amplifiés et transmis au récepteur par l'intermédiaire d'un câble ou d'un émetteur radio. Ce récepteur (fig. 4) comprend une même roue à miroirs que l'émetteur, destinée à reformer l'image. Un relais photo-électrique convertit sans retard les courants électriques arrivants en signaux lumineux. L'emploi de l'effet de Kerr (Karolus, 1924) ou de la réfraction de la lumière sur les ondes ultra-sonores (Karolus, 1932) permet de modifier le flux lumineux d'une source lumineuse constante au rythme des courants photo-électriques reçus.

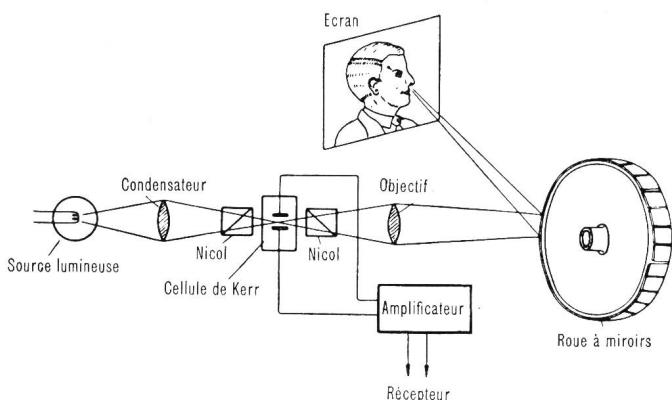


Fig. 4. Récepteur de télévision à roue à miroirs et cellule de Kerr

Les deux roues à miroirs doivent être synchronisées. Le synchronisme peut être obtenu par différentes méthodes que nous ne décrirons pas ici.

Les disques de Nipkow, les roues à miroirs, etc. ne sont plus utilisés actuellement en télévision. Le tube électronique remplit leurs fonctions. Un tube à rayons cathodiques avec écran fluorescent, analyse les films que nous voulons transmettre et, côté réception, il restitue en 1/25 de seconde une image avec les centaines de milliers de points qui constituent la trame à l'émission. Recouverts d'une couche photo-électrique sensible, les tubes électroniques en forme d'Iconoscope enregistrent les images comme une caméra et convertissent, à l'aide d'un balayage périodique, les signaux lumineux en une suite d'impulsions de courant.

D. Le tube à rayons cathodiques

Le tube de télévision (fig. 5) a été réalisé d'après l'oscillographe cathodique de *M. Braun* (1897). Il se compose des parties principales suivantes: une cathode incandescente punctiforme de 0,3 à 1 mm², un cylindre de *Wehnelt* enveloppant la cathode et de la tension de commande duquel dépend l'intensité de courant, une ou plusieurs électrodes pour accélérer

les électrons à environ 10 kV et un écran fluorescent sur lequel l'énergie cinétique des électrons est convertie en lumière au moment où les électrons touchent le phosphore. La cathode incandescente punctiforme est reproduite sur l'écran fluorescent par des champs électriques ou magnétiques à révolution symétrique (lentilles électroniques) de telle sorte que le rayon cathodique n'excite en un instant donné qu'une surface de la grandeur d'un élément d'image (fig. 6).

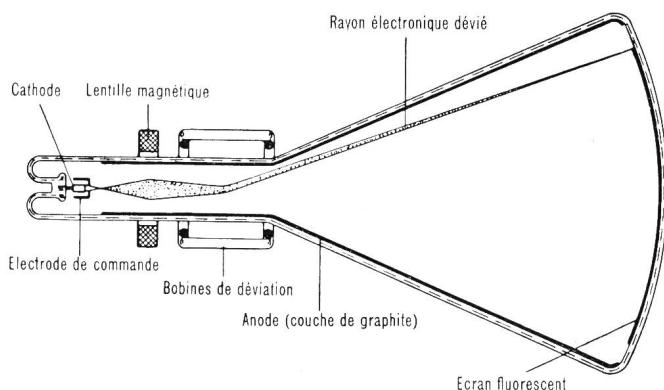


Fig. 5. Tube à rayons cathodiques

Le faisceau cathodique est dévié périodiquement et balaye en 1/25 de seconde la surface entière de l'écran fluorescent. Dans les tubes des récepteurs de télévision, la déviation du faisceau est produite horizontalement et verticalement par des champs magnétiques. La figure 7 montre un arrangement de quatre bobines pour la déviation dans le sens des lignes et de l'image. Les bobines de déviation contiennent d'ordinaire des noyaux de ferrite et le champ extérieur est fermé par des anneaux de la même matière, ce qui réduit sensiblement le courant de déviation. Pour que le faisceau se déplace à une vitesse constante le long des lignes, le courant doit croître linéairement

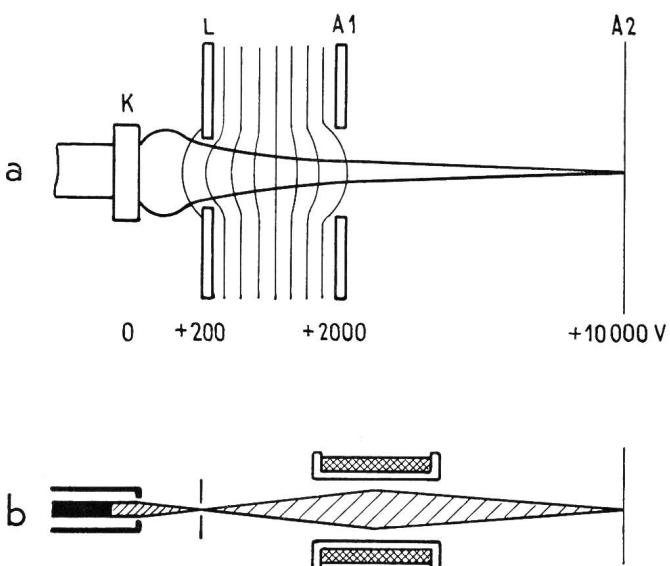


Fig. 6. Lentilles électroniques d'un tube de télévision; a = lentille électrique, b = lentille magnétique

avec le temps dans la bobine des lignes et retomber très rapidement à zéro à la fin de la ligne ou être commuté dans le sens opposé. Dans la seconde coordonnée, direction de l'image, le courant doit s'accroître dans la même forme en l'espace de 1/25 de seconde (en 1/50 de seconde dans le cas de trames entrelacées). Les connexions qui doivent être établies pour produire ces courbes de courant sont décrites dans le paragraphe traitant la réception de la télévision.

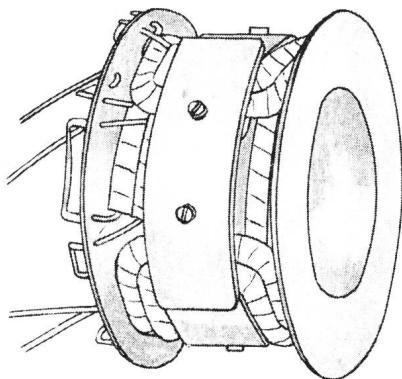


Fig. 7. Bobines pour la déviation magnétique

Les tubes de télévision utilisent comme lentille électronique presque exclusivement une courte bobine magnétique (fig. 6 b) que l'on désigne comme bobine de concentration. Le courant de la lentille magnétique doit être très exactement réglé et maintenu à une valeur constante pour un nombre de spires et une position donnés. On est parvenu récemment à concentrer le rayon cathodique par des aimants permanents de mêmes caractéristiques.

Les tubes de télévision ont un diamètre moyen de 40 cm. Les frais de fabrication du tube de télévision

augmentant fortement avec les dimensions, un diamètre de 50 cm environ constituera la limite supérieure. Pour des images de 40 × 50 cm et plus, la solution la plus économique réside dans l'agrandissement optique d'une petite image très fortement éclairée. Les récepteurs à projection de ce genre sont, au point de vue brillance et netteté de l'image, très peu inférieurs aux récepteurs à vision directe de l'image sur l'écran lorsqu'on emploie l'optique dite de Schmidt.

L'enveloppe d'un tube de télévision peut être en métal, à l'exception de l'écran. Un tube métallique pèse pour une même grandeur d'image moins de la moitié d'un tube en verre. Depuis peu, on adapte généralement l'enveloppe à la forme rectangulaire de l'image. La figure 8 montre un tube rectangulaire à enveloppe métallique.

Comme «phosphore» on utilise principalement le sulfure de zinc ou de cadmium ou un mélange de ces deux sulfures pour les tubes de réception de télévision. La luminosité varie entre 2 et 4 HK/W suivant la tension et l'intensité reçue par l'écran. Tous les phosphores présentent une certaine rémanence. Dans un tube de réception, il est bon d'avoir une rémanence allant jusqu'à 1/25 de seconde, ce qui diminue le scintillement. L'émission de lumière devrait avoir disparu en 10^{-7} secondes dans les tubes servant à l'analyse de diapositifs ou de films (explorateur à écran fluorescent), sinon plusieurs éléments d'image sont éclairés simultanément.

Une mince couche d'aluminium placée immédiatement derrière le phosphore a provoqué une amélioration sensible de la brillance de l'écran (*A. de Quervain, 1939*). Actuellement, selon la tension appliquée au tube, on vaporise une couche d'aluminium de 0,05 à 0,5 μ sur le phosphore, la masse fluorescente étant préalablement recouverte d'une couche intermédiaire de nitrocellulose que le séchage à chaud détruit à la suite de l'application du métal. Le revêtement d'aluminium restant forme un miroir métallique sur la couche de phosphore. Les électrons traversent le miroir d'aluminium sans perte de vitesse appréciable. Toute la lumière que le phosphore émettait jusqu'ici vers l'arrière est maintenant réfléchie vers l'avant. Il est presque plus important d'éliminer la lumière parasite, qui, jusqu'ici, était réfléchie de manière diffuse sur l'enveloppe de verre et formait une luminosité de fond désagréable dans les parties sombres de l'image.

En outre, la couche d'aluminium empêche le phosphore de se charger électriquement. Tous les produits fluorescents sont des isolants qui se chargent négativement sous le bombardement des électrons lorsque leur émission secondaire ne suffit pas pour émettre à nouveau les charges arrivantes par des électrons secondaires. Cette charge a pour effet que les électrons perdent une partie de leur énergie cinétique par freinage. La luminosité de la plupart des «phosphores» n'augmente plus lorsqu'on porte la tension anodique à plus de 6 kV. Sur les écrans métallisés, le flux lumi-



Fig. 8. Tube rectangulaire métallique

neux croît en pratique linéairement avec la tension. Dans un tube de réception de télévision moderne, l'accélération des électrons est amenée à 8...12 kV, dans les tubes pour la télévision en couleur à 20 kV.

De plus, la couche d'aluminium évite l'endommagement du phosphore par des ions négatifs et supprime ainsi la tache ionique. Les tubes à rayons cathodiques contiennent tous, malgré le vide poussé, des ions, c'est-à-dire des molécules gazeuses chargées, que la cathode à oxyde émet en même temps que les électrons. Les ions négatifs qui, accélérés à la même tension que les électrons, bombardent l'écran fluorescent,

un tube à rayons cathodiques avec un phosphore de très courte rémanence sert de source lumineuse pour l'éclairage punctiforme d'un diapositif ou d'un film. L'analyse par le point lumineux mobile est optiquement identique à l'analyse d'une image par une roue à miroirs dont il a été question ci-dessus. Un objectif reproduit sur le sujet à transmettre la trame des lignes de brillance constante produite par la déviation du rayon cathodique. Le flux lumineux qui tombe sur une cellule photo-électrique placée derrière l'image varie pour chaque élément d'image du diapositif ou du film transparent suivant le noircissement de

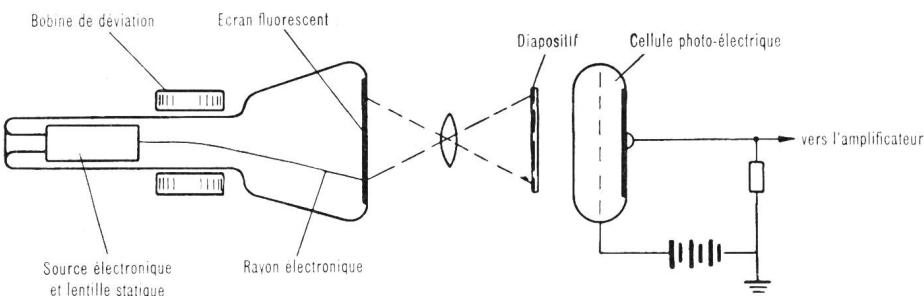


Fig. 9. Explorateur à écran fluorescent

détruisent le phosphore en quelques heures. Avant que la métallisation fût mise au point, le tube de télévision devait contenir un «piège à ions», dispositif permettant de séparer le faisceau des ions de celui des électrons, pour que seul le faisceau des électrons parvienne au phosphore.

Grâce à la brillance d'un tube moderne (jusqu'à 1000 Lx), l'image peut être reçue dans des conditions d'éclairage normal du local. En appliquant un filtre optique neutre à l'extérieur devant l'écran fluorescent ou en teintant le verre du tube, on peut sensiblement amoindrir l'influence de l'éclairage ambiant et, par conséquent, nettement améliorer le contraste de l'image. L'éclairage ambiant est affaibli deux fois dans le filtre optique, l'image en revanche une fois seulement. Le contraste atteint approximativement le rapport 1:70.

E. Analyse électronique de l'image sans accumulation

a) Explorateur à écran fluorescent

En utilisant un tube à rayons cathodiques, on peut transmettre une image de la manière suivante (fig. 9):

celui-ci. La cathode de cette cellule photo-électrique se compose d'une couche continue de CsO sur Ag ou un alliage de SbCs suivant la couleur spectrale de l'écran fluorescent. Les courants photo-électriques sont amplifiés dans un amplificateur à large bande à plusieurs étages ou dans un multiplicateur d'émission secondaire et conduits pour la reproduction de l'image au cylindre de Wehnelt d'un tube de télévision; là, le courant photo-électrique amplifié commande l'intensité momentanée du faisceau et, par conséquent, la brillance de l'endroit touché de l'écran fluorescent. Lorsque le rayon cathodique du tube de réception se déplace en synchronisme et en phase avec le rayon du tube d'exploration, il en résulte une image dont la répartition de la brillance équivaut à celle du sujet.

La cellule photo-électrique et l'écran fluorescent devraient avoir une rémanence inférieure à la durée d'un élément d'image. On n'a trouvé, jusqu'ici, aucun phosphore dont l'émission disparaît aussi rapidement. L'oxyde de zinc, généralement utilisé pour l'explorateur à écran fluorescent, perd sa luminosité en 1.10^{-5}

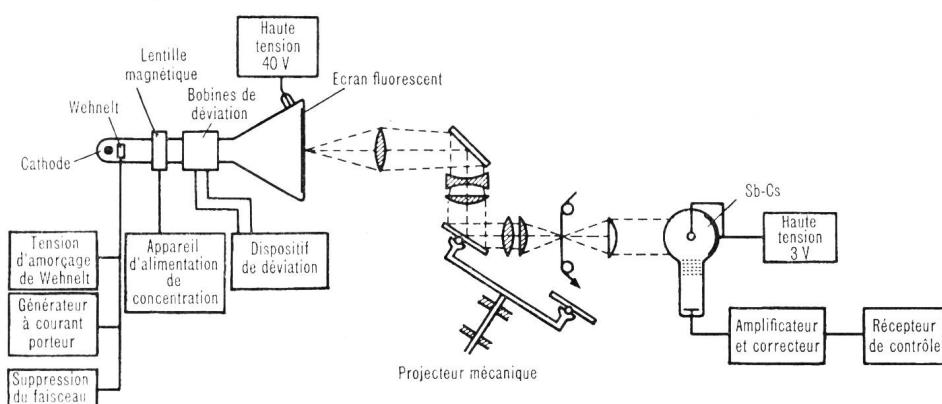


Fig. 10.

Explorateur de télécinéma à écran fluorescent, transport du film par projecteur à compensation optique

seconde environ. Malgré cette rémanence, l'explorateur à écran fluorescent peut analyser, après quelques corrections, des diapositifs et des images cinématographiques de haute qualité. La figure 10 montre un analyseur de films qui travaille d'après le même principe et dans lequel, grâce à un projecteur à compensation optique, la position de l'image ne se modifie pas par rapport au cadre d'analyse malgré le mouvement continu du film. Les explorateurs de film de ce genre sont utilisés dans presque tous les studios de télévision pour la transmission des films.

b) Analyseur d'image de Farnsworth

Un objectif à grande ouverture reproduit le sujet à téléviser sur une cathode photo-électrique ordinaire transparente (fig. 11). La répartition de brillance de l'image optique détermine la répartition d'émission des électrons qu'on peut transformer en une image

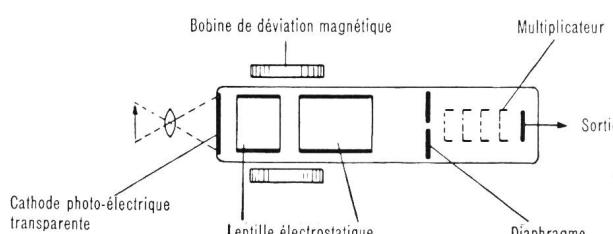


Fig. 11. Analyseur d'image de Farnsworth

visible, en reproduisant la cathode photo-électrique sur un écran fluorescent. On appelle ce dispositif un « transformateur d'image ». Dans un analyseur d'image de Farnsworth, des champs magnétiques ou électriques déplacent l'image électronique dans les deux directions à travers un diaphragme de la grandeur d'un élément d'image. Les électrons sont amplifiés immédiatement derrière le diaphragme dans un multiplicateur d'électrons secondaires à plusieurs étages.

L'analyseur d'image de Farnsworth exige pour des images à 200 lignes un éclairage de 100 000 Lx environ (à peu près l'éclairage du soleil à son zénith en plein été); pour des images à 625 lignes, l'éclairage devrait être encore plus puissant, ce qui n'est pas supportable à cause du dégagement de chaleur de toutes les sources lumineuses dans le studio. La grande quantité de lumière nécessaire provient du fait que la majeure partie du courant lumineux se perd de la même façon que lorsque le disque de Nipkow analyse l'image. La cellule photo-électrique ne reçoit chaque fois que la lumière d'un élément d'image. De toute la quantité de lumière tombant sur la cathode photo-électrique, seule est utilisée la fraction que donne le rapport de la grandeur d'un élément d'image à la grandeur de l'image entière, c'est-à-dire moins de 1/400 000.

F. Tube analyseur de télévision à accumulation de charge

a) Iconoscope

La caractéristique de tous les tubes analyseurs de télévision utilisés actuellement dans les studios de

télévision est le principe de l'accumulation. L'effet lumineux est accumulé pour chaque élément d'image sous formes de charges électriques dépendant de la durée d'une image. Zworykin (Radio Corporation of America, 1933) a été le premier à donner à ce principe une forme utilisable qu'il a nommée l'Iconoscope. Une plaque de mica (fig. 12) porte sur l'une de ses faces une cible conductrice, la plaque de signal, sur l'autre des millions de gouttelettes d'argent rendues sensibles à la lumière par l'évaporation de Cs et son oxydation. Sur cette cellule photo-électrique de 9 × 12 cm environ divisée comme une mosaïque, un objectif projette l'image à transmettre. Chaque gouttelette d'argent émet un certain nombre d'électrons correspondant à son éclairement et se charge ainsi plus ou moins positivement, la variation de tension étant déterminée par sa capacité par rapport à la plaque de signal et par la charge émise. Tous les électrons photo-électriques libérés doivent se diriger de l'écran mosaïque vers l'anode disposée sur la paroi du tube.

La décharge des capacités élémentaires se fait par un rayon électronique qui analyse la mosaïque en l'espace de 1/25 de seconde, sa section sur la surface d'accumulation étant de la grandeur d'un élément d'image. Le rayon d'exploration amène tous les éléments d'image de l'écran au même potentiel, en libérant suivant l'exposition précédente, de chaque élément d'image une certaine charge qui est transmise capacitivement à l'entrée de l'amplificateur par l'intermédiaire d'une électrode commune à toutes les cellules photo-électriques élémentaires, la plaque de signal.

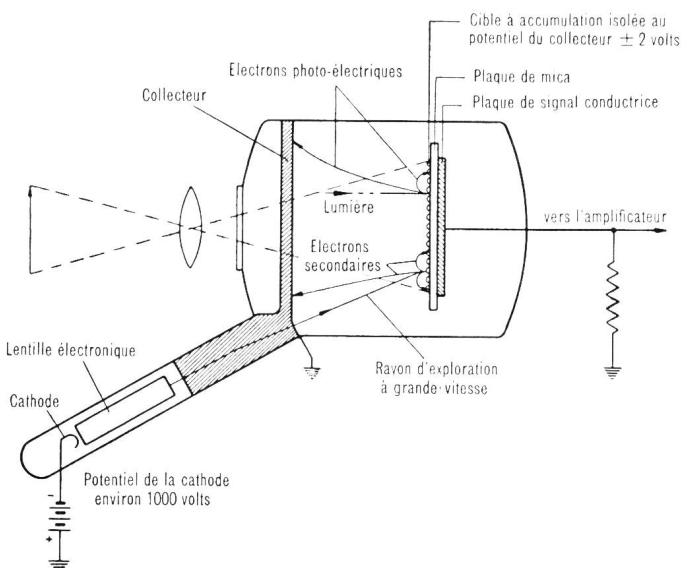


Fig. 12.
Tube analyseur de télévision à accumulation de charge (iconoscope)

Contrairement à ce qui se passe avec l'analyseur sans accumulation de Farnsworth, la lumière est utilisée pour charger l'écran pendant toute la durée d'une image. Ce genre de tube analyseur de télévision à accumulation de charge devrait avoir une sensibilité 100 000 fois supérieure à celle d'un tube sans accu-

mulation. Finalement, la sensibilité obtenue avec l'Iconoscope est 1000 fois plus élevée.

L'exploration de la surface d'accumulation non éclairée ne devrait produire aucun signal d'image. Mais une tache très perturbatrice fait son apparition et le signal de tache est du même ordre que le signal utile produit au moment de l'éclairage de l'Iconoscope. Ce signal de tache est causé par l'emploi d'électrons à grande vitesse destinés à décharger les éléments d'accumulation. Ces électrons rapides, d'une vitesse de 1000 volts environ, libèrent au moment où ils arrivent sur la plaque d'accumulation plus d'électrons secondaires; les particules d'argent se chargent ainsi positivement pour atteindre à peu près le potentiel anodique. A l'équilibre autant d'électrons quittent un élément d'accumulation qu'il en arrive pendant un cycle d'analyse. La vitesse des électrons secondaires varie de zéro à 10 volts. Une partie de ceux-ci peut encore quitter la cible d'accumulation, même si la charge positive de celle-ci dépasse de 3 volts celle de l'anode. La majeure partie des électrons secondaires retombe sur la mosaïque. La réception des électrons lents fait tomber le potentiel de chaque élément d'accumulation entre deux analyses de 3 volts *au-dessus* du potentiel de collecteur à 2 volts *en dessous*. Aux endroits éclairés, cette chute est partiellement compensée par l'émission d'électrons photo-électriques et le potentiel d'un élément d'image clair est, à la fin d'une période d'image, environ d'un volt supérieur à celui d'un élément d'image sombre. Le rayon cathodique donne, au moment de l'analyse de la mosaïque, le même potentiel à tous les éléments. L'impulsion qui correspond au changement de charge et qui dépend donc de l'éclairage, attaque l'amplificateur par la capacité de la plaque de signalisation.

Du fait des rapports de potentiels décrits ci-dessus, l'Iconoscope n'a pas un champ d'accélération pour les électrons photo-électriques et le coefficient d'efficacité de la couche photo-électrique qui est normalement de 20 à 50 $\mu\text{A/Lm}$ tombe à quelques μA . La plus grande partie des électrons photo-électriques revient comme les électrons secondaires sur la cathode photo-électrique.

Les électrons secondaires ne sont pas répartis uniformément sur toute la surface d'accumulation, ce qui provoque des différences locales dans le potentiel d'équilibre. Ces différences constituent le signal de tache qu'il est possible d'éliminer; mais cela nécessite un appareillage électrique compliqué et un réglage constant de l'image.

b) Le super-iconoscope

Dans le super-iconoscope (Lubszynski, Schröter, 1934) (fig. 13), l'image à reproduire tombe sur une couche photo-électrique transparente et homogène. Une lentille magnétique donne la répartition des électrons sur la plaque d'accumulation. Les électrons photo-électriques sont accélérés à environ 1000 volts

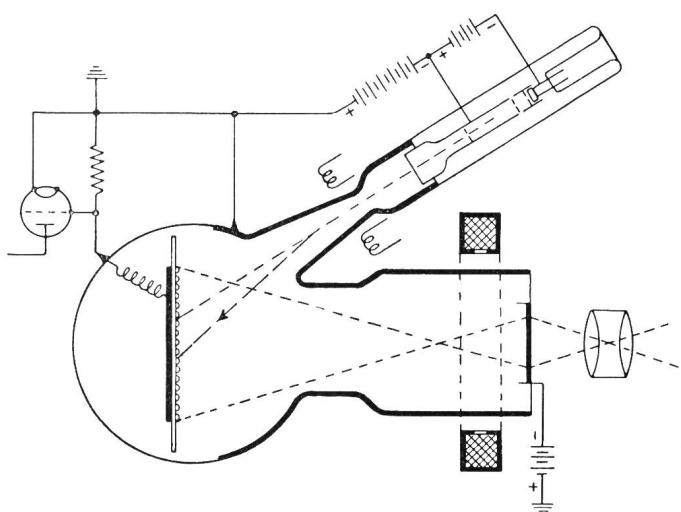


Fig. 13. Schéma d'un super-iconoscope

et, lorsqu'ils bombardent la mosaïque d'accumulation, ils libèrent un multiple d'électrons secondaires. Ce gain obtenu par émission secondaire et la cathode photo-électrique homogène permettent au super-iconoscope d'atteindre une sensibilité 10 fois plus grande que celle de l'Iconoscope simple. Le signal de tache est devenu plus petit par rapport au signal utile, mais n'a pas été éliminé.

La figure 14 montre un super-iconoscope tel que l'Angleterre, la France et l'Allemagne l'utilisent sous



Fig. 14. Vue d'un tube super-iconoscope

une forme analogue dans les cameras des studios de télévision. Pour produire des images absolument parfaites, l'éclairage de la scène doit être de l'ordre de 1000 à 3000 Lux.

c) Orthiconoscope à image électronique (Image-Orthicon)

L'orthiconoscope à image électronique marque la fin de l'évolution actuelle des tubes analyseurs de télévision à accumulation (Rose, Weimer et Law, 1946) (fig. 15). La répartition des électrons de la cathode photo-électrique transparente est reproduite sur une plaque de verre de quelques μ d'épaisseur et de 40 mm de diamètre. Cette plaque de verre sert d'accumulateur de charges. On a intentionnellement choisi la conductibilité du verre suffisamment grande pour que les charges qui se trouvent les unes en face des autres sur la plaque de verre s'équilibrent en 1/25 de seconde environ. L'épaisseur de la plaque de verre, comparée aux dimensions d'un élément d'image, étant petite, les charges accumulées des éléments d'image voisins ne s'influencent pas en l'espace de 1/25 de seconde. C'est pourquoi la charge des divers éléments d'image reste, malgré la conductibilité finale du verre, constante, pendant la durée d'une image.

L'image électronique de la cathode photo-électrique produit une charge positive des éléments d'accumulation correspondants aux points clairs de l'image. Grâce à la conductibilité du verre, cette charge du côté accumulation est transmise aux endroits correspondants du côté analyseur. De ce côté également, le potentiel d'un élément d'image clair se déplace en l'espace de 1/25 de seconde de quelques volts dans le sens positif. Lors de l'analyse par des électrons lents, chaque élément d'image prend au rayon d'exploration autant d'électrons qui sont nécessaires pour compenser la charge positive. Cette compensation de charge se fait pour chaque élément d'image en l'espace de 10^{-7} seconde. Les électrons non émis au moment de la compensation sont réfléchis; ils parcourent le même chemin pour le retour et arrivent dans un multiplicateur d'électrons secondaires à plusieurs étages qui enveloppe la cathode. Le rayon de retour est modulé en intensité par la répartition de la charge de l'accumulateur et, par le fait même, le courant de sortie du multiplicateur subit les mêmes modulations.

L'orthiconoscope est 100 fois plus sensible que l'iconoscope de Zworykin. En comparant la sensibilité de l'orthiconoscope avec celle d'un analyseur de télévision sans accumulation, on constate qu'elle est en-

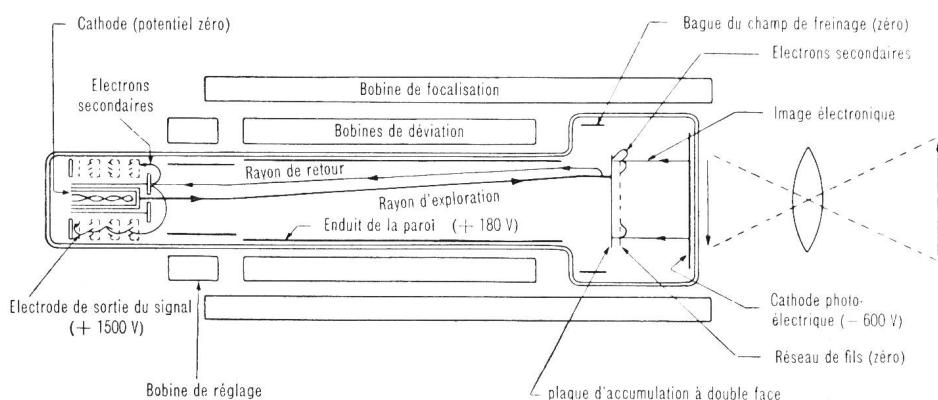


Fig. 15.
Orthiconoscope à image électronique
(Image-Orthicon)

A une distance de 50μ , un réseau de fils extrêmement fin se trouve devant la plaque de verre du côté de l'accumulation; il sert à définir la capacité des éléments d'image et à accélérer les électrons secondaires. Ce réseau se compose de 20...40 mailles par millimètre et il est, par conséquent, si fin qu'il n'est pas visible dans l'image.

Un lent rayon électronique analyse les charges accumulées au verso de la plaque de verre. Etant donné que, pour les électrons dont la vitesse est inférieure à 100 V, le facteur d'émission secondaire pour le verre est plus petit que 1, c'est-à-dire qu'il y a moins d'électrons secondaires qui quittent le verre que d'électrons primaires qui s'y posent, l'écran d'accumulation se charge négativement dans l'obscurité jusqu'au potentiel de la cathode. Lorsque l'écran est chargé, les électrons suivants ne peuvent plus se diriger vers le champ opposé ainsi engendré, ils retournent à la cathode.

viron 10^5 fois supérieure. La sensibilité surpassé celle du meilleur film d'un ordre de grandeur, elle atteint presque la sensibilité de l'œil humain. La sensibilité et le pouvoir de résolution suffisent entièrement, au stade actuel de la télévision, pour transmettre directement de la scène d'un théâtre ou d'un opéra dans les conditions d'éclairage usuel.

L'orthiconoscope n'a pas de signal de tache. Son signal de sortie croît de façon absolument linéaire avec la brillance.

d) Vidicon

Au cours de ces dernières années, les laboratoires de la «Radio Corporation of America» ont mis au point un nouveau tube analyseur de télévision dont le rendement est très proche de celui de l'orthiconoscope alors que son montage est nettement plus simple. Ce tube a reçu la désignation de Vidicon (fig. 16). Le vidicon utilise comme couche sensible à la lumière un semi-conducteur, ordinairement du sélénium, d'une

épaisseur de quelques μ qui est appliquée sur un support métallique conducteur et transparent. La couche de métal transparente reçoit une tension auxiliaire de + 10 à + 30 volts. Le côté analyseur du semi-conducteur se règle sans éclairage sur le potentiel de la cathode au moment de l'analyse par des électrons de petite vitesse. La résistance d'obscurité doit être si grande que, malgré l'intensité de champ élevée, aucune compensation de potentiel ne se produit en l'espace de 1/25 de seconde.

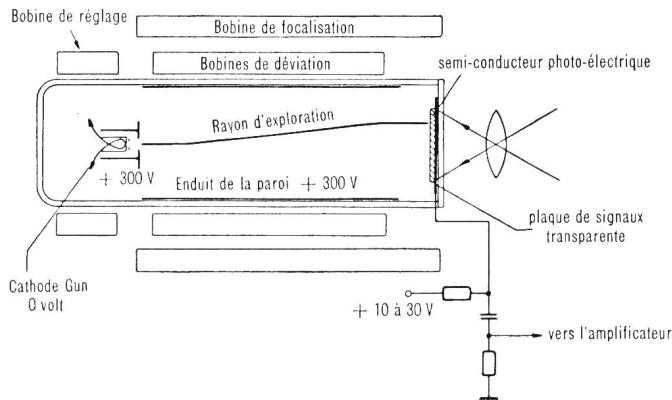


Fig. 16. Vidicon

Lorsqu'une image est projetée sur la couche semi-conductrice, la conductibilité croît aux endroits clairs de l'image par suite de l'effet photo-électrique intérieur, ce qui rend les éléments d'image clairs positifs de 2 volts environ par rapport à la cathode entre deux analyses. Le rayon d'exploration transmet à ces éléments d'image chargés positivement assez d'électrons pour neutraliser leur charge accumulée. Cette compensation de charge engendre sur la plaque de signaux et, par conséquent, à la résistance d'entrée de l'amplificateur une impulsion de courant comme dans l'iconoscope. La sensibilité photo-électrique d'un semi-conducteur étant supérieure de quelques ordres de grandeur à celle des meilleures couches photo-électriques, un tube analyseur à semi-conducteur atteint 100 fois la sensibilité de l'iconoscope.

e) Généralités sur les tubes analyseurs à accumulation

Pour comparer les différents tubes analyseurs, il faut tenir compte des points suivants: définition de l'image, sensibilité spectrale, signal pour un éclairage de studio déterminé et une optique de distance focale et d'ouverture déterminées, signal de bruit dans les mêmes conditions optiques, caractéristique du tube sous éclairage du studio, stabilité par rapport aux forts changements de lumière subits, grandeur du signal de tache, etc. Il n'existe pas de «chiffre caractéristiques» qui réunisse toutes ces qualités.

Le super-iconoscope et l'orthiconoscope ont à peu de chose près les mêmes qualités requises pour les tâches de la télévision. Tandis que, en Amérique, on préfère l'orthiconoscope (image-orthicon), la majeure partie des émetteurs de télévision européens utilisent le super-iconoscope pour les transmissions en studio,

et l'orthiconoscope pour les prises de vues extérieures. Les signaux faux sont absolument absents du modèle le plus récent du super-iconoscope qui a pris le nom de «Rieseliskonoskop». Pour que les différences du potentiel d'équilibre soient éliminées, des électrons libérés photo-électriquement alimentent constamment l'écran d'accumulation.

G. Amplification, transmission et synchronisation

La tension de sortie des tubes analyseurs de télévision considérés jusqu'ici dépasse rarement quelques millivolts, la puissance de sortie est de l'ordre de grandeur de 10^{-9} watts. Un émetteur de télévision d'une puissance de 1 kW a besoin d'une puissance de quelques centaines de watts pour sa modulation. La puissance doit donc être amplifiée de 10^{11} fois entre la sortie d'un iconoscope et l'émetteur: vingt étages d'amplification au moins sont nécessaires, l'amplification de puissance étant en moyenne de 5 par étage du fait de la largeur de bande du signal de télévision. Si de longs câbles de liaison relient le studio de télévision à l'émetteur haute fréquence, le nombre des étages amplificateurs est nettement plus élevé.

Pour une bande de 6 MHz, l'amplification doit autant que possible être égale au montant et le retard en fonction du temps d'un signal de télévision doit, indépendamment de son parcours, être constant pour toutes les impulsions. Il s'est révélé opportun d'utiliser une oscillation porteuse pour effectuer la transmission par câble. La fréquence porteuse doit à peu près être le double de la fréquence d'image maximum. Le signal d'image module l'amplitude de cette porteuse. Des bandes latérales produites à la modulation, une seule, généralement la plus basse, y compris l'oscillation porteuse, est ordinairement transmise. L'oscillation porteuse modulée est redressée avant la modulation de l'émetteur.

Le signal d'image fourni par l'émission ne suffit pas seul à reconstruire une image sur le récepteur. Aux signaux de vision, il faut ajouter des signaux qui assurent le synchronisme entre l'analyse de l'image à l'émission et à la réception. Ces signaux sont des impulsions de forme déterminée se succédant régulièrement et qui se situent chronologiquement avant la fin de chaque ligne et avant le début de la ligne suivante. Ces impulsions de synchronisation sont ajoutées au signal d'image dans la chaîne des amplificateurs. La définition fixée dans la norme de télévision européenne prévoit 625 lignes par image, qui sont répétées 25 fois par seconde dans l'analyse entrelacée (standard international à 625 lignes du CCIR). Pour l'analyse entrelacée, le champ de l'image complète est exploré deux fois de sorte que les lignes 1, 3, 5... sont décrites dans la première moitié de la durée de l'image, soit en 1/50 de seconde, et les lignes 2, 4, 6... dans le 1/50 de seconde suivant. La «fréquence de balayage» est donc de 50 par seconde. En Amérique, compte tenu de la fréquence du secteur, la fréquence de balayage est 60 par seconde.

Pour l'analyse entrelacée dans la forme acceptée en Europe, il ne peut y avoir de rapport simple entre la fréquence de balayage et la fréquence de lignes. C'est pourquoi toutes les impulsions de synchronisation doivent partir de la double fréquence de lignes, c'est-à-dire de 31 250 Hz. La fréquence de balayage 50 est dérivée par des diviseurs de fréquences en quatre étages dans le rapport de 5:1 ($50 \cdot 625 = 31\,250$; $625 = 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5$). La fréquence de lignes de 16 625 Hz est acquise par division de la fréquence de sortie dans le rapport de 2:1. La fréquence de balayage est très souvent en synchronisme avec les alternances du secteur, ce qui fait que certains défauts engendrés par le filtrage imparfait

noir de telle sorte que le taux de modulation croît jusqu'à 100 % en même temps que la brillance augmente. Par conséquent, le «blanc» correspond à l'énergie d'émission complète. La suppression de l'émetteur (intensité de courant zéro) produit les signaux de synchronisation. Cette suppression (blanes sur l'oscillogramme) a une longueur différente pour la déviation des lignes et de l'image. Pour la ligne, la longueur du blanc est à peu près 10 % de la durée de la ligne, pour l'image environ 5 % de la durée de l'image.

Après amplification et démodulation, le signal d'image a l'allure représentée par la figure 17b sur le récepteur de télévision. Amenées au cylindre de Wehnelt du tube de réception, les valeurs instantanées de la tension de l'écran sont supérieures au niveau du noir commandent le courant de faisceau vers des valeurs croissantes, c'est-à-dire amènent l'écran au blanc. Dans les blanes de synchronisation, le courant de faisceau est nul et, par conséquent, le retour du rayon cathodique qui a lieu dans cet intervalle est rendu invisible. La figure 17c montre l'allure du contrôle de lumière et la figure 17d les signaux de synchronisation séparés par un filtre d'amplitudes.

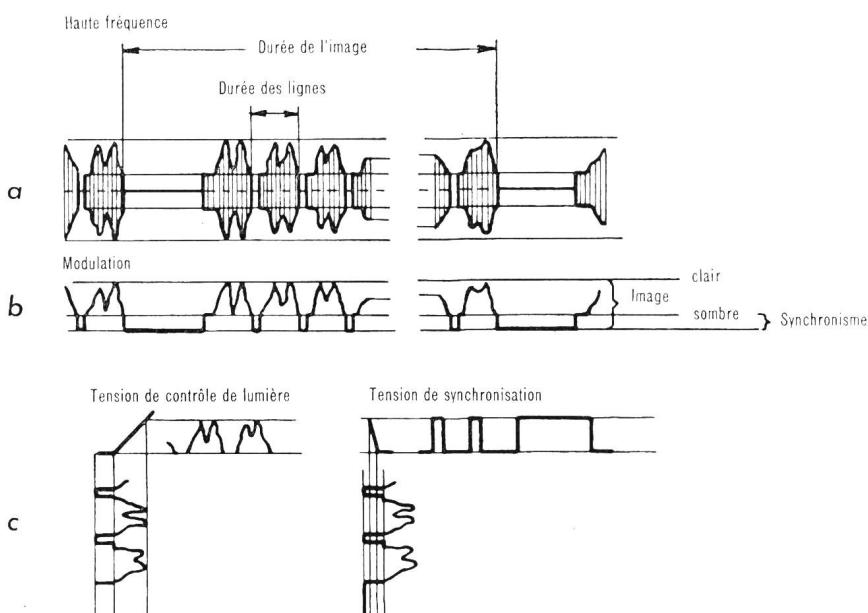


Fig. 17.
Oscillation porteuse avec modulation d'image et signaux de synchronisation

des appareils d'alimentation influencent moins les récepteurs de télévision qui sont raccordés au même réseau que le studio. Compte tenu de la possibilité d'un échange international de programmes, on a décidé de renoncer à relier de cette manière la fréquence de balayage avec la fréquence du secteur du studio de télévision. On a intérêt à rendre la fréquence des signaux pour synchronisation (31 250 Hz) aussi constante que possible en utilisant des oscillateurs à quartz. Les impulsions fournies par l'émetteur de cadence synchronisent la déviation des lignes et de l'image de tous les tubes analyseurs de télévision en service dans un studio; elles fournissent en même temps les signaux de synchronisation qui doivent être ajoutés au signal de vision.

Un procédé proposé par O. Schriener (1933) s'est imposé pour la transmission des signaux de synchronisation par l'intermédiaire de l'émetteur haute fréquence. La figure 17a montre l'oscillogramme d'un émetteur modulé par des signaux d'image et de synchronisation. Un niveau défini du courant d'émission, se montant à 25 % de la valeur maximum, correspond au signal «noir» de l'image. Les signaux d'image (signaux-video) commandent l'émetteur à partir du niveau du

Lorsque l'amplitude du courant de l'émetteur (le taux de modulation) augmente avec la brillance de l'image, nous disons que la modulation est positive. Les émetteurs de télévision de la norme européenne travaillent avec une modulation négative. Dans ce cas, le niveau du noir de l'image correspond au taux de modulation de l'émetteur de 70 % environ, un blanc de 0 % et une synchronisation de 100 %. Lorsque la modulation de l'émetteur est négative, les perturbations atmosphériques et électriques affectent moins l'image de réception, les signaux de synchronisation se séparent mieux du niveau des perturbations. La réception de la télévision dans les grandes villes est troublée, en particulier par les étincelles d'allumage des automobiles et par les

avions, à un point tel qu'on a mis au point des procédures de synchronisation particuliers pour la modulation négative de l'émetteur.

L'émetteur de télévision est, en principe, construit comme tout émetteur de radiodiffusion. La puissance de la plupart des émetteurs est de quelques kW, à l'exception des émetteurs anglais dont l'énergie est de 20 kW en chiffres ronds. Les fréquences porteuses des émetteurs de télévision européens varient entre 50 et 300 MHz (longueurs d'ondes de 6 à 1 m). Une image de 625 lignes ayant besoin d'une bande de fréquences de 6 MHz pour une reproduction correcte, la largeur de bande relative est de 10 % pour un émetteur ayant une fréquence porteuse de 60 MHz. L'amplification de cette bande de fréquences, la modulation de l'émetteur et la réception de toutes les fréquences occasionnent de grandes difficultés techniques.

H. Le récepteur de télévision

Un récepteur de télévision se différencie d'un appareil de radiodiffusion ordinaire avant tout par la largeur de bande de l'amplificateur. Il comprend à peu près deux fois plus de lampes et d'éléments qu'un appareil de radiodiffusion, l'image et le son devant être reproduits simultanément dans le récepteur de télévision.

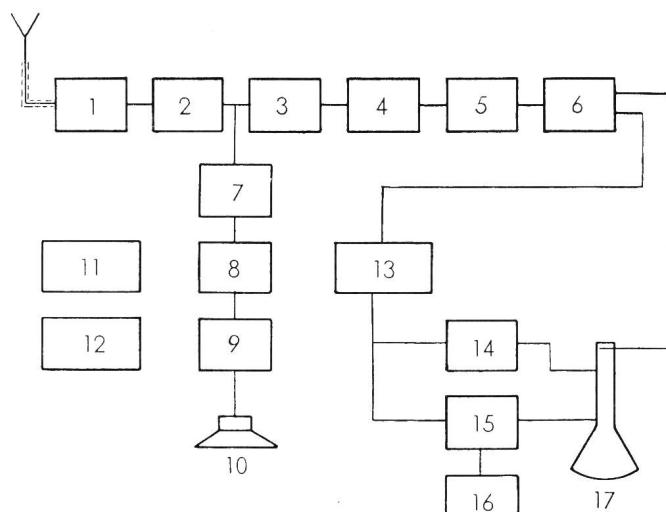


Fig. 18. Schéma de montage d'un récepteur de télévision

- | | |
|--|---|
| 1 = Préamplificateur à ondes ultra-courtes | 10 = Haut-parleur |
| 2 = Oscillateur mélangeur | 11 = Alimentation son |
| 3 = 1 ^{er} étage moyenne fréquence image | 12 = Alimentation image |
| 4 = 2 ^e étage moyenne fréquence image | 13 = Filtre d'amplitudes de séparation des impulsions |
| 5 = DéTECTEUR image | 14 = Oscillateur de balayage en fréquence 50 Hz |
| 6 = Etage final basse fréquence image | 15 = Générateur de balayage en fréquence de lignes |
| 7 = 1 ^{er} étage moyenne fréquence son | 16 = Redresseur à haute tension |
| 8 = 2 ^e étage moyenne fréquence son et détecteur de son | 17 = Tube image |
| 9 = Etage final basse | |

Un appareil de télévision se compose des pièces mentionnées à la figure 18. La production des deux moyennes fréquences se fait dans un oscillateur mélangeur placé à la suite d'un préamplificateur à haute fréquence commun pour le signal image et son. Les deux moyennes fréquences sont séparées par des

filtres correspondants. Pour le standard de lignes actuel, la moyenne fréquence image se situe à environ 21 MHz et a une largeur de bande de 6...8 MHz. Dans le détecteur d'image, la modulation d'image est produite à partir de la moyenne fréquence modulée en amplitude et amplifiée dans un étage final basse fréquence pour obtenir les 10...50 volts nécessaires à la commande du rayon cathodique. A la sortie de l'étage final basse fréquence, on trouve le cylindre de Wehnelt du tube à rayons cathodiques et en même temps un filtre d'amplitudes pour séparer les impulsions de synchronisation des signaux d'image.

Pour que le tube à rayons cathodiques soit correctement modulé, le taux d'amplification du récepteur doit être réglable. En outre, la brillance de fond de l'image doit pouvoir se régler, indépendamment de la profondeur de modulation. A chaque modification de l'amplification, le point de fonctionnement du tube sera réglé en conséquence. L'amplification détermine le taux de modulation de la lumière et, par voie de conséquence, le contraste de l'image.

Pour économiser les tubes électroniques, on utilise autant que possible des diodes au germanium ou des redresseurs au sélénium dans le récepteur de télévision.

Le son accompagnant l'émission est actuellement transmis sur un émetteur séparé. L'amplitude ou la fréquence de cet émetteur peut, en principe, être modulée selon des procédés connus. Dans le récepteur de télévision, la moyenne fréquence pour la partie son se situe à environ 15 MHz. Les redresseurs et l'étage final basse fréquence son sont les mêmes que ceux d'un appareil de radiodiffusion.

Selon une nouvelle méthode le son est transmis par l'intermédiaire d'un émetteur modulé en fréquence dont la distance de l'émetteur de l'image est de 4,5 MHz (en Amérique). L'étage moyenne fréquence de l'image amplifie simultanément la porteuse son modulée en fréquence. Au moment de la démodulation de la moyenne fréquence, il se produit une moyenne fréquence de 4,5 MHz servant d'oscillation porteuse à l'amplification ultérieure du son. Pour que cette fréquence différentielle ne soit pas visible sur l'image, elle doit être supérieure à la fréquence d'image la plus élevée. La fréquence différentielle modulée en fréquence est amplifiée et démodulée par l'intermédiaire d'un discriminateur et d'un détecteur. Cette méthode suppose un émetteur d'images qui ne possède pas de modulation de fréquence. Cependant, on peut difficilement éviter, même en utilisant un émetteur d'images commandé par quartz, une faible modulation de fréquence lorsque la modulation d'amplitude est totale. Un autre inconvénient de cette méthode «Intercarrier» réside dans le fait que l'amplitude de l'émetteur d'images ne peut jamais être nulle. C'est pourquoi cette méthode ne peut être appliquée que pour la modulation d'image négative.

Des jeux de bobines réglées une fois pour toutes, interchangeables ou commutables, servent ordinaire-

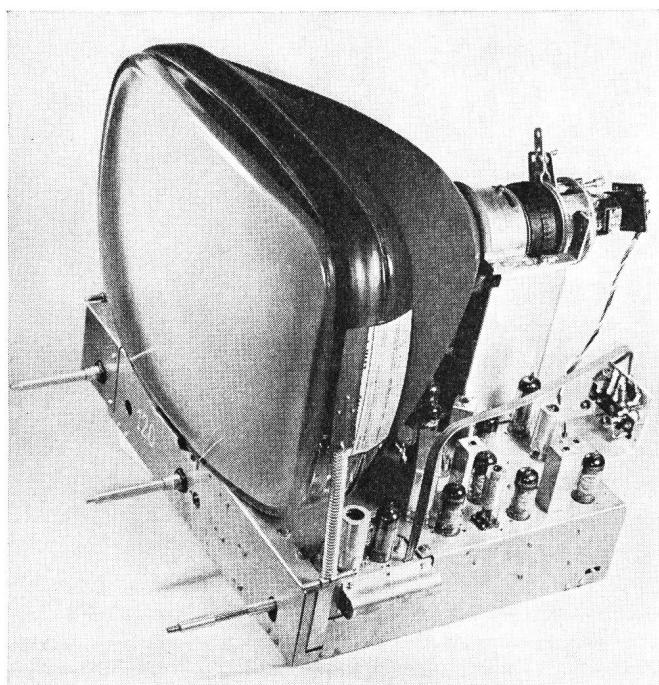


Fig. 19. Vue du châssis d'un récepteur de télévision

ment à accorder le récepteur de télévision sur un émetteur déterminé. Un accord établi par condensateurs variables agrandit trop fortement la capacité des circuits, ce qui affaiblit les résistances de résonance. Pour obtenir la largeur de bande et la raideur nécessaires, on se sert des circuits d'accord comme filtres.

Comme antenne de réception, on emploie un dipôle relié en couplage inductif avec le circuit d'entrée du préamplificateur par l'intermédiaire d'un câble haute fréquence.

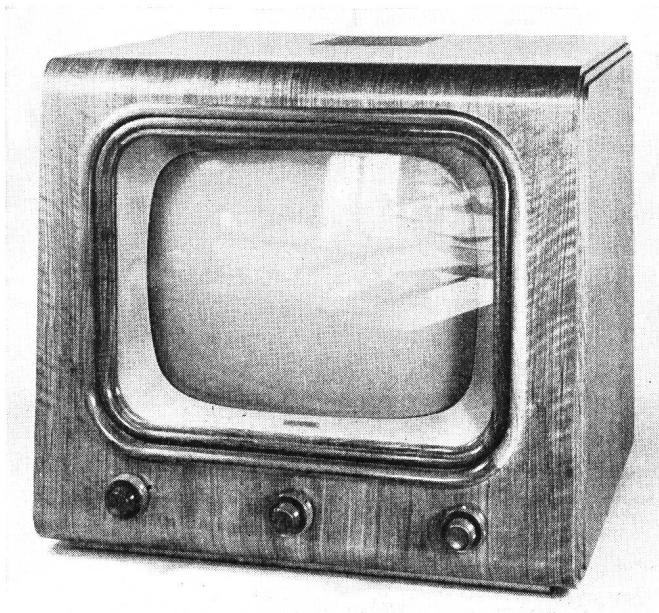


Fig. 20. Vue d'un récepteur de télévision

La déviation du rayon cathodique dans la direction de lignes et d'image se fait pour les tubes de télévision exclusivement par des champs magnétiques. Un appareil destiné à produire le courant en dents de scie est nécessaire pour chaque coordonnée. La surtension engendrée sur la bobine de lignes au retour du rayon fournit fréquemment la haute tension anodique du tube à rayons cathodiques. La quantité nécessaire pour le filtrage de la haute tension est particulièrement faible dans ce cas, la fréquence d'exploration par lignes étant de 16 kHz environ. Cette méthode de production de haute tension a, en outre, l'avantage que la tension ne se produit que lorsque l'analyse de lignes fonctionne: le spot lumineux immobile ne peut ainsi pas endommager l'écran fluorescent. D'autres procédés consistent à produire la haute tension à partir du courant alternatif du secteur à 50 Hz ou d'un générateur à lampes moyenne fréquence.

La figure 19 montre le châssis d'un récepteur de télévision à tube rectangulaire, la figure 20 le récepteur enfermé dans son boîtier.

I. La production des courants de déviation

Dans la technique des oscillosgraphes, le rayon cathodique est dévié par des tensions qui croissent linéairement en l'espace d'une période de déviation et tombent très rapidement à zéro à la fin de cette période. Dans les lignes qui suivent, nous parlerons des schémas de principe pour la production de ces tensions en dents de scie, respectivement des courants correspondants. Tous ces schémas reposent sur le fait que la charge ou la décharge d'un condensateur à travers une résistance ohmique demandent un certain temps, de même que la montée du courant dans une inductance à résistance. Si l'on relie (fig. 21) une batterie à la résistance R et au condensateur C, la tension au condensateur suit une courbe exponentielle ascendante (voir fig. 22). Au début, la tension croît presque linéairement, puis elle se rapproche lentement de celle de la batterie. La vitesse de charge-

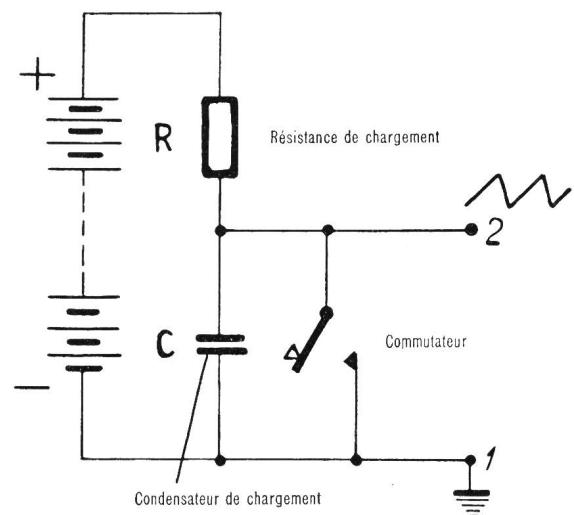


Fig. 21. Schéma de la production de tensions en dents de scie

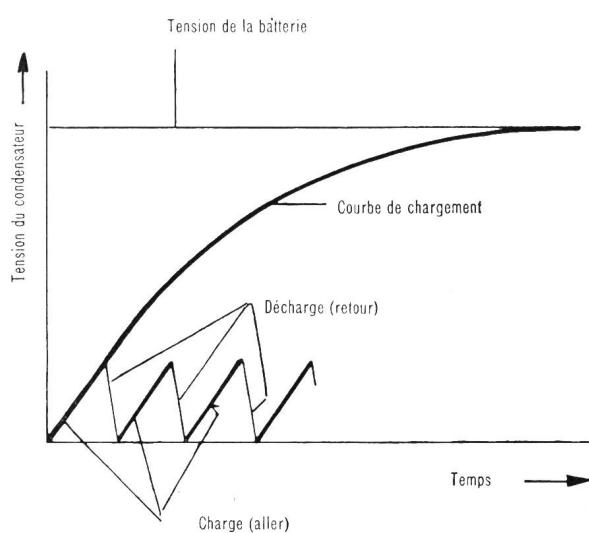


Fig. 22. Courbe exponentielle ascendante de la tension lors du chargement d'un condensateur par l'intermédiaire d'une résistance en série

ment dépend de la valeur de ce qu'on nomme les constantes de temps (produit de C par R). On a la possibilité de modifier la vitesse de chargement ou de déchargement dans des limites presque indéterminées.

On obtient des tensions en dents de scie périodiques en interrompant régulièrement le chargement du condensateur, par exemple en court-circuitant périodiquement le condensateur au moyen du commutateur S (fig. 21).

La tension subit une interruption au moment du court-circuit, puis l'opération de chargement recommence après chaque ouverture du commutateur. Si le chargement se fait par l'intermédiaire d'une résistance ohmique, seule une petite fraction de la tension de la batterie peut être utilisée à cause de la modification de la vitesse de chargement. La vitesse de chargement reste constante jusqu'à la fin lorsqu'on remplace la résistance par un tube électronique dont le courant est saturé.

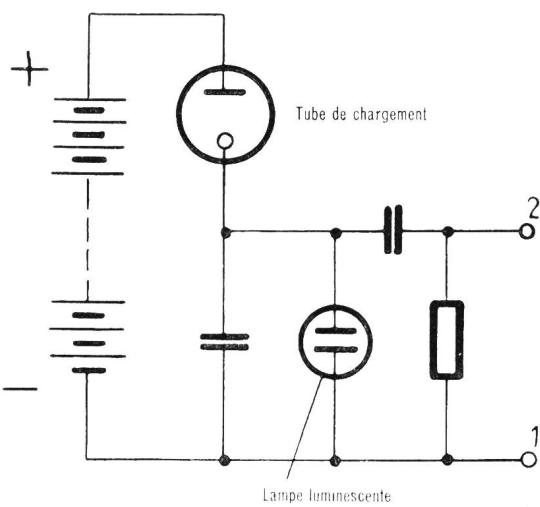


Fig. 23. Schéma d'un générateur d'oscillations de relaxation à lampe luminescente

La décharge périodique du condensateur peut, dans le cas le plus simple, être assurée par une lampe luminescente remplaçant le commutateur (fig. 23). La tension de la batterie étant appliquée, le condensateur se charge par l'intermédiaire du tube de charge saturé à une vitesse constante jusqu'à ce que la tension d'allumage de la lampe luminescente soit atteinte. Ensuite, le condensateur se décharge par la lampe à gaz jusqu'à la tension d'extinction qui, suivant la pression du gaz, est inférieure de 10 à 50 volts à la tension d'allumage. Dès que la décharge luminescente s'éteint, le condensateur est recharge jusqu'au prochain allumage et ainsi de suite. La durée de la décharge dépend de la résistance intérieure de la lampe luminescente; elle peut être nettement plus brève que la durée du chargement. On appelle les oscillations de cette nature oscillations de relaxation et les dispositifs destinés à les produire «générateurs d'oscillations de relaxation».

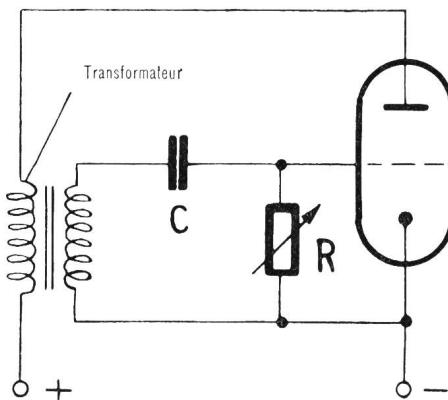


Fig. 24. Oscillateur de blocage

En remplaçant la lampe luminescente simple de la figure 23 par un tube amplificateur rempli de gaz et possédant une grille de commande (thyatron), on peut régler à la grille de commande le moment de la décharge par une impulsion de tension; le procédé de relaxation peut être synchronisé par des impulsions dirigées. Grâce à la cathode incandescente, le thyatron a une tension d'extinction de quelques volts. Les générateurs d'oscillations de relaxation à thyatron sont d'un montage et d'un emploi très simples, mais ils défaillent aux fréquences élevées à cause de l'inertie liée à l'ionisation du gaz.

Si l'on emploie comme commutateur du dispositif représenté à la figure 21 un tube normal à vide poussé, on doit l'inclure et l'exclure dans le circuit à sa grille de commande en introduisant des impulsions étrangères. Ces impulsions peuvent être produites par des dispositifs que l'on connaît sous le nom de «multivibrateurs» ou d'oscillateurs de blocage. La figure 24 montre le schéma d'un oscillateur de blocage qui ne se différencie d'un oscillateur à réaction que par un couplage très solide entre le circuit de grille et le circuit d'anode et par l'absence de condensateur sur le circuit oscillant. Etant donnée la très

forte réaction, le courant monte très rapidement dans le tube à la suite de l'enclenchement de la tension anodique par la tension positive produite à la grille par réaction. Le courant de grille se produisant à ce moment-là charge le condensateur C négativement de sorte que le courant électronique est interrompu peu après. Le tube reste bloqué aussi longtemps que le condensateur se décharge par l'intermédiaire de la résistance R de manière que le courant anodique se mette à nouveau à passer. Puis, le procédé se répète sans cesse. Vu que le courant ne passe dans un oscillateur de blocage de ce genre que pendant une petite partie de la période de relaxation et qu'il est bloqué pendant le reste de la période, un dispositif de cette nature constitue un commutateur idéal pour la production d'oscillations de relaxation. Ainsi que la figure 25 le montre, on place l'oscillateur de blocage en parallèle au condensateur de chargement. Tandis que le tube électronique est bloqué, le condensateur se charge par l'intermédiaire de la résistance R ou d'une pentode et se décharge dans le tube durant le court temps d'ouverture.

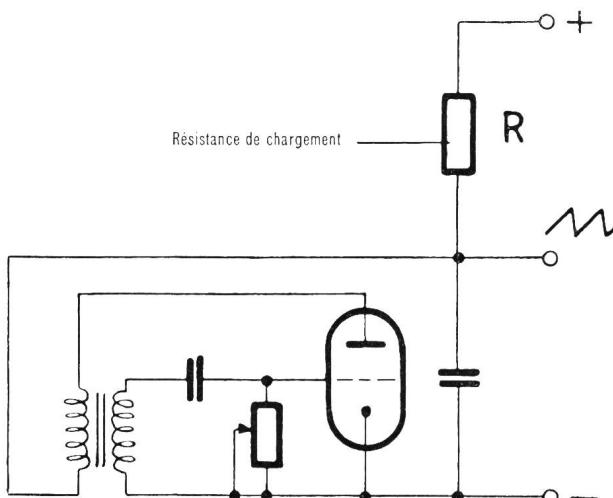


Fig. 25. Oscillateur de blocage utilisé pour la décharge périodique d'un condensateur

Le schéma de la figure 25 représente le dispositif idéal pour produire des tensions en dents de scie d'une fréquence déterminée, par exemple de la fréquence d'image. On obtient les courants en dents de scie en amplifiant ces tensions (fig. 26). Aussi longtemps que la modulation du tube se déplace dans la partie linéaire de la courbe, le courant anodique a la même courbe en dents de scie que la tension de grille. Si la bobine de déviation se trouve directement dans le circuit anodique du tube amplificateur, le courant de repos du tube dévie le rayon cathodique unilatéralement. Pour éliminer cette déviation préliminaire, on couple la bobine de déviation par un transformateur au circuit anodique ou on place, comme l'indique la figure 26, une bobine d'inductance dans le circuit anodique et on compense le courant dans la bobine de déviation par l'intermédiaire d'un potentiomètre.

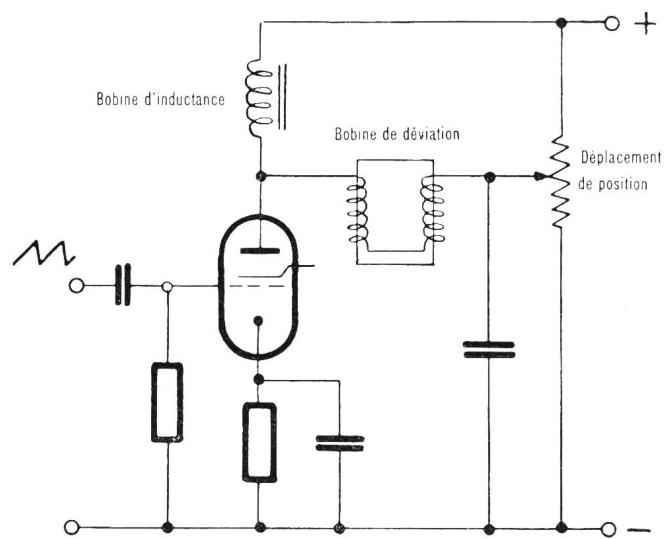


Fig. 26.
Amplificateur servant à produire le courant en dents de scie

On peut régler la position du rayon cathodique en modifiant la prise.

Le dispositif que représente le schéma de la figure 26 est avant tout utilisé pour dévier verticalement le rayon cathodique. L'inductance et la capacité de la bobine de déviation sont des perturbateurs pour la déviation par lignes. La figure 27 montre un montage dans lequel la bobine de déviation coopère avec son inductance à l'opération de relaxation. L'organe RC dans le circuit de grille a, contrairement à l'oscillateur de blocage de la figure 24, une constante de temps si grande qu'il agit comme une tension de grille invariable. Le dispositif ne se différencie d'un circuit réactif normal que par les dimensions des organes de connexion. L'augmentation de courant dans l'inductance est déterminée par le rapport L/R . La bobine de déviation de lignes peut être en parallèle à

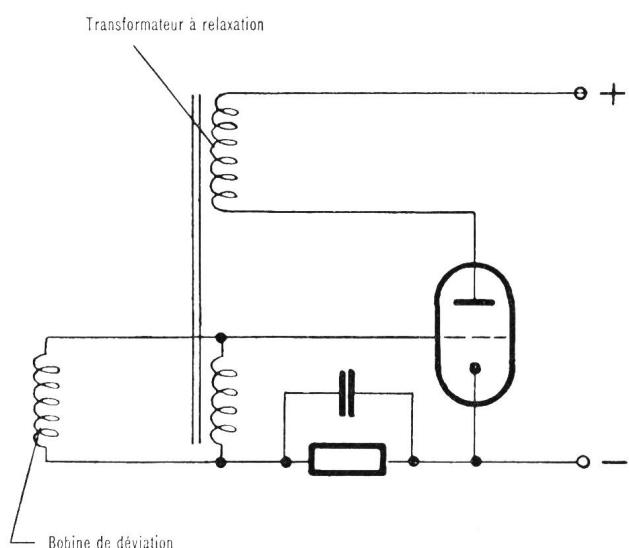


Fig. 27. Schéma d'un générateur d'oscillations de relaxation par transformateur

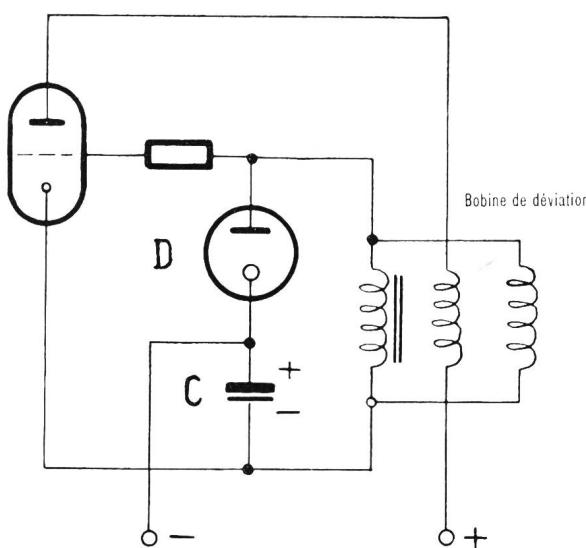


Fig. 28. Récupération de l'énergie accumulée dans la bobine de lignes

la bobine de grille du transformateur à relaxation ou ce dernier sert lui-même à établir les déviations avec son noyau de fer et ses spires.

Les générateurs d'oscillations de relaxation de ce genre peuvent être constitués de telle sorte que l'énergie magnétique accumulée dans la bobine de déviation est presque complètement récupérée, soit comme courant pour diminuer le courant pris du secteur, soit comme tension qui est connectée en série avec la tension anodique du tube de relaxation.

La figure 28 représente le schéma d'un appareil de relaxation dans lequel l'énergie de champ de la bobine de déviation charge une capacité C à travers une diode D; la tension ainsi produite est en série avec la tension du secteur. Dans les dispositifs modernes de déviation, la récupération de l'énergie est supérieure à 80 % de sorte que la déviation magnétique des lignes consomme moins d'énergie qu'une déviation créée par des tensions en dents de scie.

K. Télévision en couleurs

Tous les procédés de télévision en couleurs mis au point jusqu'ici travaillent par addition de trois couleurs fondamentales choisies judicieusement, en règle générale le rouge, le vert et le bleu. Ces trois couleurs

complémentaires peuvent être transmises soit simultanément sur trois canaux, soit successivement sur un canal de largeur de bande triple. Selon la méthode appliquée, on parle de système simultané ou de système successif de télévision en couleurs (simultaneous or sequential method).

En transmettant les trois couleurs (fig. 29) à partir de trois tubes de prise de vues différents sur trois tubes de réception dont chacun reproduit une couleur déterminée, on obtient en superposant les trois trames une reproduction en couleurs exacte au point de vue physique et satisfaisante physiologiquement. L'addition des trois images en couleurs produites dans des tubes séparés a lieu à peu près comme suit: les images géométriquement égales sont projetées par trois lentilles sur un écran commun où elles se recouvrent. Si l'on doit transmettre des scènes en couleurs prises au studio, il faut utiliser simultanément trois caméras pour les différentes couleurs. Pour éviter la parallaxe spatiale, on produit l'image de la scène par une optique commune et on divise les couleurs et sépare les rayons derrière l'objectif. Les trois tubes de prise de vues, trois orthiconoscopes (image-orthicons), ne se diffèrent que dans la nature de leur couche photosensible qui est adaptée à la couleur à reproduire par chaque caméra. Il est en particulier très simple de transmettre un film en couleurs en utilisant l'explorateur à écran fluorescent (fig. 10) décrit ci-dessus pour analyser les images. La lumière du tube analyseur, qui doit contenir dans ce cas les trois couleurs fondamentales, est projetée après le passage du film par trois miroirs sélectifs, c'est-à-dire ne réfléchissant que des couleurs déterminées, sur trois cellules photoélectriques à sensibilité spectrale correspondante. Les courants de sortie de chaque cellule photoélectrique modulent, après avoir été suffisamment amplifiés, un émetteur haute fréquence.

Les inconvénients de ces systèmes additifs résident dans le fait que, à l'émission et à la réception, le travail est triplé par rapport à l'image en noir et blanc. A cela s'ajoute encore l'exigence que les trois trames doivent être absolument égales au point de vue géométrique et, lors de la superposition, elles doivent se recouvrir à une fraction d'élément d'image près, sinon il en résulte des bords colorés.

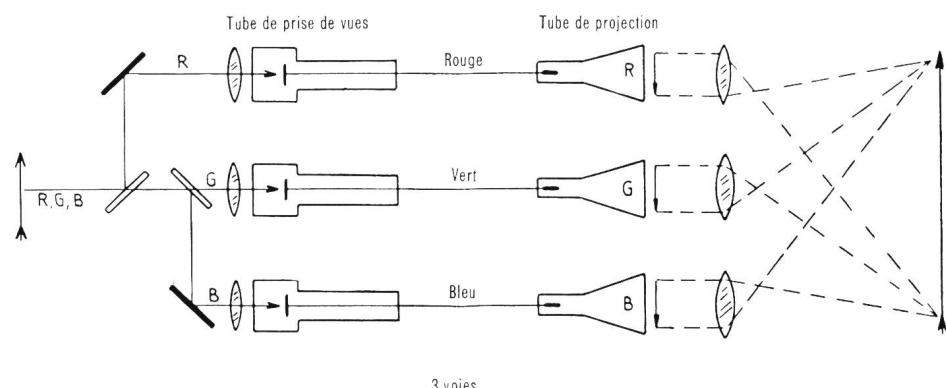


Fig. 29.

Télévision en couleurs. Système additif avec trois tubes de prise de vues et trois tubes de projection

3 voies

Contrairement au système simultané, le système de télévision en couleurs de la *Columbia Broadcasting Corporation* (CBC) à New-York travaille avec une alternance périodique des trois couleurs fondamentales. L'œil humain réunit en un tout trois excitations de couleurs choisies convenablement et voit du blanc s'il les reçoit les unes à la suite des autres assez rapidement. Pour que le scintillement des couleurs soit éliminé, la cadence doit être nettement plus élevée que dans la télévision actuelle en noir et blanc. On doit effectuer le changement des couleurs au moins 100 fois par seconde, et c'est là un des inconvénients majeurs du système d'alternance des couleurs, si l'on modifie la couleur à la fin de chaque analyse d'image comme cela se fait dans le système de la Columbia Broadcasting Corporation. Le nombre de lignes, qui est normalement de 525, a dû être ramené à 405 afin que la largeur de bande totale ne dépasse pas le montant maximum de 6 MHz autorisé aux USA.

Dans la plupart des systèmes à alternance, le changement des couleurs se fait à l'émission et à la réception par un procédé purement mécanique utilisant des filtres chromatiques rotatifs dont les moteurs d'entraînement fonctionnent en synchronisme avec la fréquence d'image ou de trame. Indépendamment de la perte de lumière de 80% environ que les filtres

chromatiques provoquent, cette solution se caractérise par un montage électrique simple et une reproduction correcte des couleurs.

En Angleterre et en Allemagne, on s'est également mis à construire, d'après le même principe, des installations de télévision en couleurs qui n'ont été exploitées jusqu'ici que pour des travaux particuliers, par exemple pour la transmission d'opérations chirurgicales.

Tous les systèmes de télévision en couleurs connus actuellement présentent encore des défauts importants: scintillations des couleurs, bords de couleurs variées des sujets déplacés rapidement, manque de détails, brillance insuffisante, etc. En outre, l'appareillage électrique est au moins le double de celui de la télévision en noir et blanc. Indépendamment du tube de reproduction des couleurs, tous les récepteurs de télévision en couleurs exigent à peu près 40 tubes amplificateurs. Même si, actuellement, le passage à la télévision en couleurs est techniquement possible, il serait cependant prématuré de commencer un service régulier de télévision en couleurs, tous les systèmes connus étant encore en pleine évolution.

Adresse de l'auteur: Prof. Dr. August Karolus, Wybuelstr. 3, Zollikon-Zürich.

Phenolkorrosion

Vorläufige Mitteilung

Von Friedrich Sandmeier, Bern

620.19.01 : 547.562

Zusammenfassung. Es wird gezeigt, dass die sogenannte Phenolkorrosion auf mechanische Defekte des Bleimantels zurückzuführen ist und durch gewisse technologische Massnahmen verhindert werden kann.

I.

Die eigentümliche Form der korrosiven Anfressung von Kabelbleimänteln, die im schweizerischen Telefonkabelnetz die meisten Verheerungen anrichtet, nennen wir *Phenolkorrosion*, in der Meinung, die Schäden werden verursacht oder ihr Entstehen werde begünstigt durch die Anwesenheit von Phenol im Imprägniermittel – Teer oder Bitumen – der den Bleimantel umgebenden, aus einer Bewicklung von Jutegarnen bestehenden *Schutzhülle*. Obschon wiederholt darauf hingewiesen wurde, dass Phenol Metalle angreift [1, 2, 3, 4, 5]*, wurden in der jüngsten Zeit Zweifel geäussert an der Richtigkeit der Annahme von Phenol als Korrosionsursache. Da diese Zweifel aber auf Ansichten und Voraussetzungen beruhen, die dem Problem nicht auf den Grund gehen, soll hier die Sachlage kurz erklärt werden. In einer später erscheinenden Veröffentlichung soll dann mehr auf Einzelheiten der Erscheinungsformen, auf die «Morphologie der Phenolkorrosion», eingegangen werden.

* Vgl. Bibliographie am Schluss des Artikels.

Corrosion par l'effet du phénol

Communication provisoire

Par Friedrich Sandmeier, Berne

Résumé. L'auteur montre que la corrosion prétendument provoquée par l'effet du phénol doit être attribuée à des défauts mécaniques de la gaine de plomb et qu'elle peut être évitée par certaines mesures technologiques.

I.

Nous appelons *corrosion par l'effet du phénol* la forme caractéristique de la corrosion de la gaine de plomb des câbles qui provoque la plupart des ravages dans le réseau suisse des câbles téléphoniques, en admettant que les dommages sont causés ou que leur développement est favorisé par la présence de phénol dans le produit d'imprégnation – goudron ou bitumes – de l'*enveloppe protectrice*, composée d'un enroulement de fils de jute, enrobant la gaine de plomb. Bien que, à maintes reprises, on ait déjà attiré l'attention sur le fait que le phénol attaquait les métaux [1, 2, 3, 4, 5]¹, on a émis des doutes ces derniers temps sur l'exactitude de cette allégation que le phénol est une source de corrosion. Mais ce doute reposant sur des impressions et des hypothèses qui n'étudient pas le problème à fond, nous devons brièvement expliquer ici les faits. Dans une publication ultérieure, nous nous attacherons davantage aux détails des aspects du phénomène, à la «morphologie de la corrosion par l'effet du phénol».

¹ Voir la bibliographie à la fin de l'article.