

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 40 (1949)

Heft: 17

Artikel: Le balayage "cavalier", procédé permettant d'améliorer la finesse des images en télévision, sans augmenter la largeur de la "bande passante"

Autor: Toulon, P.M.G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060707>

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: 04.02.2026

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

Le balayage «cavalier», procédé permettant d'améliorer la finesse des images en télévision, sans augmenter la largeur de la «bande passante»¹⁾

Par P. M. G. Toulon, Paris

621.397.331.2

Introduction

La méthode classique pour transmettre les images en télévision, qui consiste à envoyer successivement des tensions correspondant à chaque point de chaque ligne, nécessite une bande passante d'autant plus large que l'image est plus fine. Pour les postes de haute qualité, on envisage actuellement des largeurs de bande atteignant 30 Mc./s., comportant 1500 lignes par exemple.

La transmission par ondes hertziennes de modulations aussi élevées soulève de très sérieuses difficultés: elle n'est pratiquement possible que sur des ondes porteuses extrêmement courtes, (ondes décimétriques par exemple). Des fréquences aussi élevées ne se propagent pratiquement qu'en ligne droite et ne pénètrent presque pas dans les étages inférieurs des immeubles. Il apparaît donc fondamental de chercher à tirer tout le parti possible d'une bande de modulation aussi étroite que possible, de façon à pouvoir utiliser des ondes porteuses relativement de dimensions acceptables, de l'ordre de plusieurs mètres, par exemple.

La méthode suivante, que nous désignerons sous le terme de «balayage par points entrecroisés», ou «balayage cavalier», cherche à apporter, dans une certaine mesure, un remède à cette grave difficulté. Elle réduit le scintillement, permet de suivre des déplacements d'objets très rapides et fournit une grande finesse d'image.

Scintillement

S'il est nécessaire de balayer l'image entière de télévision en un temps très court (1/25 ou 1/50 de seconde), c'est surtout à cause du scintillement: une variation périodique de la lumière d'une surface blanche, à la cadence de 25 par seconde, provoque une grande fatigue pour l'observateur. Quand la cadence est doublée, la fatigue est considérablement réduite; néanmoins, même un éclairage à la cadence de 50 par seconde (ce qui est le cas du balayage par lignes entrelacées classique), provoque encore une impression gênante et pour la faire disparaître complètement il faut aller sensiblement plus haut (elle est encore sensible avec les tubes d'éclairage alimentés avec du 50 ~ et s'éclairant 100 fois par seconde). Mais l'expérience prouve que le scintillement est perçu d'une façon beaucoup plus redoutable par les parties extérieures de la rétine, mais que la partie centrale, celle qui est voisine de l'axe optique, et où la définition est la plus fine (que l'on désigne sous le nom de «Fovéa»), est relativement beaucoup moins sensible aux variations périodiques de la lumière. L'œil est donc relativement peu gêné par un scintillement intense et localisé autour de la Fovéa; ailleurs il est très sensible au scintillement, mais comme la définition est insuffisante, il n'est pas indispensable que la lumière provienne du même emplacement, car c'est la quantité globale de lumière par unité de surface qui intervient. Cette circonstance favorable a pour conséquence qu'on résout très bien le problème du scintillement si l'on trouve le moyen de *maintenir continuellement des points éclairés* sur toute l'étendue de la surface.

Déplacements rapides

Le cinématographe nous a familiarisé avec les conséquences qui résultent de l'usage d'un nombre restreint d'images par seconde: en projetant seulement 24 images par seconde, chacun sait que l'image est nette et agréable à regarder si les déplacements des objets représentés sont relativement très lents, de telle sorte que les images successives diffèrent extrêmement les unes des autres; mais, dès que les déplacements sont rapides, les images se présentent en des endroits très différents de l'écran, et l'observateur en ressent un violent désagrément: l'image lui semble trouble, et, après quelque temps, il éprouve une très grande fatigue. Quelquefois des phénomènes stroboscopiques apparaissent et tout le monde a eu l'occasion de

voir un jour, au cinéma, les rayons d'une roue de voiture qui semblait tourner à l'envers. Le défaut est extrêmement gênant pour les scènes où les déplacements, parallèles au tableau, ont lieu à une cadence très rapide: match de football, courses de chevaux, bicyclette, automobile, danses, et le résultat est franchement intolérable dans certains cas.

Contre ces défauts, un seul remède: augmenter la cadence de la projection; en télévision, accroître la cadence de balayage, au lieu de 50, monter à 100, ou davantage.

Mais, en télévision, une circonstance heureuse vient d'apporter un remède, il n'est pas indispensable que tous les points de l'image soient explorés à chaque balayage, car la mémoire de l'observateur supplée, dans une très large limite, aux éléments non éclairés: lorsque le mouvement est rapide, il suffit que le contour du sujet soit «jalonné», et le résultat est excellent si ce jalonnement est réalisé d'une façon aussi exacte que possible: point n'est besoin de connaître tous les détails, pourvu que chaque détail apparaisse exactement à l'instant précis, à l'endroit exact qui correspond au sujet examiné.

Finesse

Lorsqu'on regarde une image avec un grossissement croissant, ou, ce qui revient au même, lorsqu'on se rapproche de l'écran, il arrive un moment où la discontinuité de la texture apparaît. Cette distance ne doit pas être dépassée sous peine d'entraîner une grande gêne pour l'observateur. Si la texture est continue, l'image apparaît trouble, ce qui est peu grave, mais, si la texture est discontinue, comme c'est le cas pour les clichés typographiques, ou les clichés à «gros grains», l'image prend un aspect «granuleux» intolérable.

A l'époque où le tube à faisceau cathodique a fait son apparition, la télévision a démarré avec 30 ou 60 lignes. Il fallait regarder l'image de très loin, sous un angle de l'ordre de 1 ou 2 degrés, pour qu'elle soit satisfaisante. Aujourd'hui, avec 500 lignes, on peut la regarder agréablement sous un angle d'une dizaine de degrés; c'est déjà un intéressant progrès, mais il ne fait aucun doute que l'écran, dans ces conditions, paraît «petit», en dépit de tous les systèmes qu'on peut envisager. Il serait hautement désirable de doubler ou de quadrupler ce chiffre pour que le champ soit comparable à celui de l'œil, ou du moins à la portion intéressante du champ où la vision est bien oculaire. C'est donc près d'un million de surfaces élémentaires (10^6 points) qu'il faut envisager.

Heureusement, ici encore, une circonstance favorable simplifie le problème: si l'œil a la notion de déplacements excessivement rapides lorsqu'ils portent sur des objets très gros, il est incapable de discerner des objets très petits se déplaçant très rapidement: lorsque l'observateur fixe un détail de l'objet, celui-ci lui apparaît, petit à petit, avec une finesse très grande, mais l'opération mentale de l'examen est longue et il s'écoule souvent plusieurs secondes avant que l'observateur ait pu acquérir la conscience de la forme détaillée, et c'est seulement après ce temps qu'il tire tout le parti possible de la «définition» de sa pupille et de la «finesse» de sa rétine. La chose est si connue qu'en présence de certain tableau, ou le spectacle de la nature, il faut souvent un temps énorme pour dépouiller tous les détails qu'on n'a pu concevoir au premier coup d'œil.

Balayage par lignes entrelacées «vertical»

Les phénomènes physiologiques que nous venons de rappeler sont utilisés déjà depuis de nombreuses années dans le système à lignes entrelacées. Dans ce système, bien connu aujourd'hui, on explore alternativement deux fois chaque image; la première exploration correspond aux lignes paires, la seconde aux lignes impaires. On bénéficie ainsi d'une image dans laquelle le scintillement correspond à 50 images par seconde, tandis que la finesse correspond à 25 images.

L'exploration des lignes est généralement réalisée dans le sens horizontal et l'entrelacement est réalisé dans le sens vertical, c'est-à-dire perpendiculairement à la trajectoire du faisceau de balayage. J'ai pensé qu'il était possible d'obtenir le même entrelacement dans le sens vertical, c'est-à-dire dans

¹⁾ En rédigeant ces lignes, je n'oublierai pas de citer Monsieur Edouard Belin, qui a bien voulu s'associer à l'origine de mes études, lorsque nous étions tous deux de trop «hardis» précurseurs en Télévision, et j'adresse aussi mes remerciements à la Cie Française Thomson-Houston, qui m'a également aidé à les poursuivre.

le sens même où se déplace le faisceau. Ceci nécessite plusieurs conditions: au lieu que le balayage du faisceau cathodique soit «continu» et que les points d'une ligne se juxtaposent les uns aux autres, il faut que les points successifs explorés soient séparés les uns des autres par un intervalle obscur, intervalle qui sera rempli au cours du balayage suivant. On parvient facilement à ce résultat en appliquant à la grille de contrôle du tube à faisceau cathodique, outre la tension de modulation, une tension périodique à haute fréquence qui suspend périodiquement l'émission électronique et découpe ainsi la ligne de l'image télévisée. La cadence de découpage doit être extrêmement stable. En outre, elle doit être synchronisée sur la cadence de balayage des lignes. Il faut enfin, qu'à la fin du balayage de l'image, un dispositif inverse la phase de la haute fréquence appliquée, de telle sorte que l'image explorée soit alternativement de rang «pair» puis de rang «impair». On connaît aujourd'hui des montages qui parviennent à ce triple résultat d'une façon très satisfaisante, en ne nécessitant qu'un matériel auxiliaire relativement très restreint, et pouvant s'adapter aux postes récepteurs usuels.

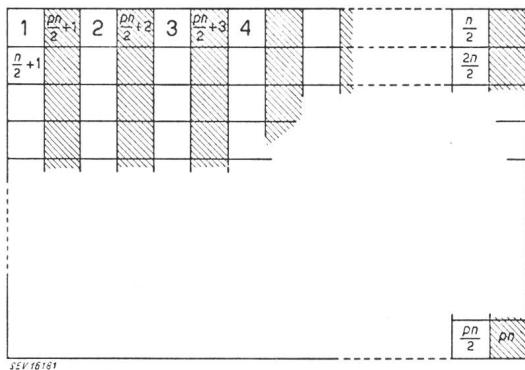


Fig. 1

Balayage entrelacé dans le sens «vertical»

Au lieu d'explorer d'une façon classique tous les n points successifs de la première ligne horizontale, on saute un point sur deux. On n'exploré ainsi que $n/2$ points seulement au cours de ce premier balayage

La seconde ligne commence au point $\frac{n}{2} + 1$ et finit au point $\frac{2n}{2}$, et ainsi de suite jusqu'à la p ième ligne qui finit au point $\frac{pn}{2}$

Après avoir ainsi balayé une première fois toute l'image (cases blanches) on recommence en utilisant sur chaque ligne horizontale les points de rang pair (cases hachurées). Le deuxième point de la première ligne est ainsi le $\left(\frac{pn}{2} + 1\right)$ ième point exploré, le dernier de la première ligne $\frac{pn}{2} + \frac{n}{2}$; et ainsi de suite jusqu'au dernier point de la dernière ligne qui est le pni ème exploré.

La fig. 1 explique le processus de balayage de l'image, lorsque l'on réalise l'entrelacement vertical: soit n le nombre de points de chaque ligne horizontale, p le nombre de lignes de l'image télévisée. Le nombre de points total de chaque image est, dans ces conditions, $p \cdot n$.

Comme le représente la figure, on explore les points 1, 2, 3, 4, etc... de la première ligne, en laissant entre chaque point un certain intervalle. On effectue le balayage de la ligne à une vitesse double de celle normalement utilisée, et l'on explore ainsi les $\frac{n}{2}$ points de la première ligne.

Le premier point de la seconde ligne est ainsi le $\left(\frac{n}{2} + 1\right)$ ième point exploré. A la fin de la seconde ligne on a ainsi exploré $\frac{2n}{2}$ points; et l'on continue les explorations des points jusqu'à l'avant dernier point de la $p^{\text{ième}}$ ligne qui correspond et est ainsi le $\left(p \cdot \frac{n}{2}\right)^{\text{ième}}$ point exploré.

A ce moment, on réalise une inversion de la phase de la liaison entre la grille de contrôle et l'oscillateur. Un second

balayage de l'image commence et l'on explore le deuxième point de la première ligne (et qui a pour rang $\frac{pn}{2} + 1$), et qui est situé entre les points déjà marqués 1 et 2. On explore ensuite le point situé entre ceux marqués 2 et 3, qui a pour rang $\frac{pn}{2} + 2$, etc., et l'exploration se poursuit jusqu'au point pn , moment où, à nouveau, la phase de l'oscillateur est inversée.

Balayage par points entrelacés

On peut combiner le balayage entrelacé dans le sens horizontal et dans le sens vertical, comme le représente la fig. 2.

Quatre explorations successives de l'image sont alors nécessaires pour atteindre tous les points de l'image. On explore les points marqués 1, 2... $\frac{n}{2}$ (de rang impair) sur le dessin. A la fin de la première ligne une inversion de phase et la liaison à

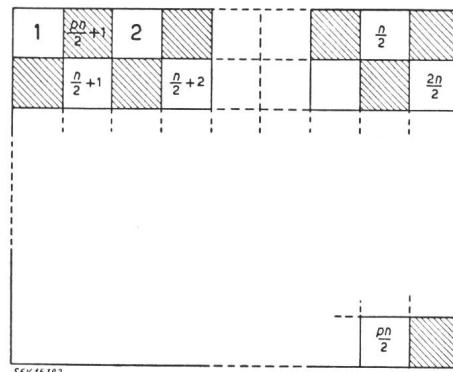


Fig. 2

Balayage en «damier»

entrelacé à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal, mais avec «décalage» des points balayés sur chaque ligne horizontale

Sur la première ligne on explore le 1^{er} point, puis on saute de 2 en 2 jusqu'à la fin de la ligne, c'est à dire qu'on explore seulement $\frac{n}{2}$ points

Immédiatement après, on explore la seconde ligne mais en commençant par le second point qui porte le rang $\frac{n}{2} + 1$ et on continue à sauter de 2 en 2 jusqu'à la fin de la 2^e ligne (point $2\frac{n}{2}$). On continue ainsi (cases blanches) tout le balayage de l'image jusqu'au point $\frac{pn}{2}$. On prend ensuite les cases hachurées et on procède de la même façon au second balayage complet de toute l'image

l'oscillateur est déclenchée de telle façon que les points explorés (de rang pair) sont marqués $\frac{n}{2} + 1, \frac{n}{2} + 2, \dots, \frac{2n}{2}$. A la fin de l'image on produit une inversion de phase, ce qui permet d'explorer les points $\frac{pn}{2} + 1$, et ainsi de suite.

On se rend facilement compte que ces quatre explorations successives reviennent à dire que, dans chaque groupe comprenant 4 points (ou carré), c'est d'abord celui en haut à gauche qui est exploré, puis celui en bas à droite, ensuite celui en haut à droite, et enfin, celui en bas à gauche.

L'entrelacement des lignes «verticales» apporte le même progrès que l'entrelacement horizontal, et ce progrès est aujourd'hui bien connu des praticiens de la télévision. Mais l'entrelacement combiné, à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal, améliore encore considérablement le résultat, et il ne fait aucun doute que cette technique doit s'imposer dans l'avenir, pour répondre au désir légitime de «standardisation» et de simplification. Souhaitons donc que le retard technique auquel nous a contraint la plus dure des guerres nous apporte, comme contrepartie, la possibilité d'utiliser les premiers, et dans notre pays, les techniques susceptibles des plus grands perfectionnements.

Enchevêtrement de rang supérieur

Quittons momentanément cette solution des points isolés et revenons à l'exploration des lignes entières pour examiner un nouveau stade dans le domaine des améliorations. En présence du progrès réalisé par le système par lignes entrelacées, il paraît tentant de chercher à améliorer le résultat par un enchevêtrement de rang supérieur, par exemple, en divisant le nombre de lignes en un certain nombre de groupes, comportant un nombre de lignes déterminé, de préférence un nombre premier, tel que 7. Au lieu de 2 balayages seulement, on en effectue 7 successivement; et on choisira habilement les rangs des différentes lignes pour obtenir un effet de continuité aussi parfait que possible, par exemple, on explore les lignes de rang 1, 8, 15, etc. Ce premier balayage complet de l'image étant terminé, on explorera les lignes 5, 12, etc., puis on prendra les lignes 3, 10, etc., et ainsi de suite.

Quand on approfondit le problème, on s'aperçoit que certains choix sont plus judicieux que d'autres, car des déplacements apparents, résultant de l'effet stroboscopique, sont plus ou moins accentué. Ainsi, dans le cas cité, l'exploration de la ligne 5 après la ligne 1, peut être considérée comme une avance de 4 unités, ou encore comme un recul de 3 unités, car, non seulement $5 = 1 + 4$, mais $5 = 8 - 3$, et l'œil qui voit s'éclairer la ligne 5 après une exploration ayant affecté les lignes 1, 8, 15, etc. est gêné à la fois par l'impression du déplacement apparent dans un sens (4 unités), et par le déplacement apparent de l'autre sens (3 unités). L'exploration de la ligne 3 après la ligne 5 correspond, au contraire, à une avance de 6 unités et à un recul de 2 unités; ce choix est bien plus rationnel que si l'on avait utilisé, après la ligne 5, la ligne 2 par exemple, ce qui aurait correspondu à un recul de 3 unités et à une avance de 4. En effet, ce recul de 3 et cette avance de 4, succédant à une valeur analogue réalisée immédiatement auparavant (passage de 1 à 5), auraient donné l'illusion de continuer le mouvement apparent déjà ébauché par l'opération précédente, ce qui aurait produit le plus déplorable effet pour l'observateur. Pour obtenir le meilleur résultat, il convient donc d'assurer une diversité aussi grande que possible dans l'ordre des explorations successives, ainsi que dans les amplitudes des écarts choisis.

L'expérience prouve que si, au lieu d'un entrelacement simple, on adopte ces enchevêtements perfectionnés, on apporte une très sensible amélioration. Toutefois, on ne peut cependant pas aller aussi loin qu'on pourrait le penser au premier abord. Dans cette voie, car, au fur et à mesure que l'on adopte un entrelacement plus compliqué avec l'espoir de réduire le nombre de points explorés par seconde, la vitesse apparente des déplacements stroboscopiques devient de plus en plus lente, et, par suite, ceux-ci deviennent relativement de plus en plus gênant. Pratiquement, on peut estimer qu'un entrelacement des lignes aussi savamment combiné que possible apporte à peu près la même amélioration que celle que l'on éprouve en passant du système simple au système entrelacé.

Balayage «cavalier»

Les déplacements stroboscopiques apparents se trouvent, au contraire, beaucoup plus réduits si on applique au balayage enchevêtré de rang supérieur, le principe du balayage par plusieurs unités de points entrelacés décrit plus haut: chaque groupe, ou carré de points, est alors divisé en 3 ou 4 points par exemple, et, au lieu de se déplacer seulement d'une unité dans le sens vertical, ou dans le sens horizontal, on peut se déplacer de plusieurs unités à chaque opération.

La fig. 3 explique l'une des formes les plus rationnelles et qui donne d'excellents résultats. La surface totale de l'écran est divisée en un damier comprenant un grand nombre de carrés. Chaque carré contient 16 surfaces élémentaires, ou points, et l'on effectue 16 fois le balayage de la surface avant d'atteindre, à nouveau, le premier point. L'ordre des balayages (qui correspond à la marche du cavalier aux échecs), est indiqué sur la figure; après l'exploration de tous les points 1 de chaque carré, on explore les points marqués 2, qui correspondent à une «descente» de 2 unités et «avance» d'une unité, puis le point 3, qui correspond à une «descente» d'une unité et à une «avance» de 2 unités, et ainsi de suite, en alternant les «descentes» et les «avances». Le résultat ainsi obtenu est très remarquable si la finesse du faisceau cathodique est assez grande et si l'étendue du spot est judicieusement choisie pour que le rapport des surfaces élémentaires soit exactement réalisé.

Avec une transmission de télévision prévue pour 450 lignes, on obtient, en adoptant ce système, une définition comparable à celle que l'on aurait avec un système à 1000 lignes.

Il convient, évidemment, pour tirer tout le parti possible de ce système de choisir habilement les séquences de balayage. Ce qui semble donner les meilleurs résultats, c'est d'assurer

| 3 | 12 | 7 | 16 | 3 | 12 |
|----|----|----|----|----|----|
| 6 | 1 | 14 | 9 | 6 | 1 |
| 15 | 8 | 11 | 4 | 15 | 8 |
| 10 | 5 | 2 | 13 | 10 | 5 |
| 3 | 12 | 7 | 16 | 3 | 12 |
| 6 | 1 | 14 | 9 | 6 | 1 |

SEV 16103

Fig. 3

Balayage en damier à 4×4 soit 16 cases

L'écran comprend un très grand nombre de damiers ayant chacun 16 cases. On effectue 16 balayages successifs de l'image en prenant d'abord toutes les cases 1, puis toutes les cases 2, etc... jusqu'à 16 conformément au tableau ci-dessus

chaque balayage individuel à la cadence de 100 par seconde, et d'explorer donc tous les points de l'image en un temps égal à $\frac{16}{100}$ seconde, soit environ 6 fois par seconde. Il sortira du

cadre de cet article d'exposer les moyens mis en œuvre pour obtenir ce résultat. Disons seulement qu'ils sont beaucoup plus simples qu'on ne pourrait le croire et que l'adaptation aux récepteurs existants est très facile. Ce système améliorera considérablement la qualité et la finesse des récepteurs à 450 lignes. Cependant, les résultats les meilleurs peuvent être obtenus lorsque le tube à faisceau cathodique est de grande dimension, et, de préférence, lorsque la caméra électronique et les systèmes d'amplification sont de haute qualité, tant en ce qui concerne la finesse du spot que les effets de traînage.

A ce point de vue, la technique mise au point pour les 1000 ou 1500 lignes est précieuse pour tirer de ce nouveau procédé de balayage, le maximum d'avantages.

Conclusion

On peut résumer comme suit les avantages du balayage «cavalier»:

A. Scintillement

Le scintillement disparaît entièrement du fait que chaque portion de l'image reçoit des impulsions lumineuses 100 fois par seconde et la continuité lumineuse semble parfaite, alors qu'elle est encore imparfaite à 50 images par seconde, et très mauvaise à 25 images par seconde.

B. Déplacements très rapides

Lorsque l'objet télévisé se déplace très rapidement, les saccades du mouvement sont éliminées, et l'observateur a, contrairement au cinématographe, l'impression d'un mouvement continu.

C. Echos et parasites

Les parasites cessent de créer des lignes et les échos cessent de créer des pseudo-images, car il n'affectent que des points relativement éloignés les uns des autres et sans continuité visuelle.

D. Finesse

Bien que la bande passante soit réduite, l'image donne une impression de finesse au moins double de celle que donne le système habituel ayant le même nombre de lignes, si bien que, pour l'observateur qui fixe son attention sur un point déterminé de l'image, des détails lui apparaissent progressivement comme extrêmement fins.

Avec une bande passante déterminée, on obtient donc une qualité d'image qui ne serait possible qu'avec une bande passante trois ou quatre fois plus importante par les procédés habituels.

E. Couleur

Etant donné l'avantage de finesse, il devient possible de faire de la trichromie en télévision sans élargir la bande passante, tout en conservant la même finesse que l'on obtient en monochrome par le balayage classique.

I) Grands Ecrans

Les images de télévision projetées sur un grand écran ont une tendance très marquée à manquer de finesse, car on les regarde de près sous un grand angle visuel.

Doubler ou tripler la finesse devient une chose fondamentale pour les grands écrans, dont on ne peut, pour des raisons de transmission, augmenter indéfiniment ni le nombre de lignes ni la bande passante.

II) Petits Ecrans (tubes à vision directe)

Alors que la finesse reste aussi un avantage, la disparition du scintillement, des échos et parasites, rend la réception d'un programme particulièrement satisfaisante.

Adresse de l'auteur:

P. Toulon, Ingénieur Conseil, 44, rue de la Boétie, Paris 8^e.

Neue selbsterregte Generatoren für die Ablenkströme

Von R. Urtel, Pforzheim, Deutschland

621.319.55

1. Vorgeschichte

a. *Fremderregung sägezahnförmiger Ströme mit $\frac{L}{R} \gg T, \sqrt{LC} \ll T$*

Für die Erzeugung von sägezahnförmigen Strömen (kurz: SZ-Ströme) in einer Spule bestehen zwei Möglichkeiten:

1. Die Zeitkonstante der Spule L/R ist klein gegen die SZ-Periode, ihre Eigenschwingung ist stark gedämpft. Man legt mittels eines Generators kleinen Innenwiderstandes einen Spannungsverlauf an, der aus einer SZ-Komponente entsprechend dem $i \cdot R$ und einer Rechteckkomponente entsprechend dem $L \frac{di}{dt}$ besteht. In diesem Falle kommt es hinsichtlich der Verzerrungen nur auf den Verlauf der Steuerspannung an, während bei der an sich möglichen Speisung mit einem SZ-Strom aus einem grossen Innenwiderstand die Röhrenkennlinie entscheidend in die Verzerrungen eingeht.

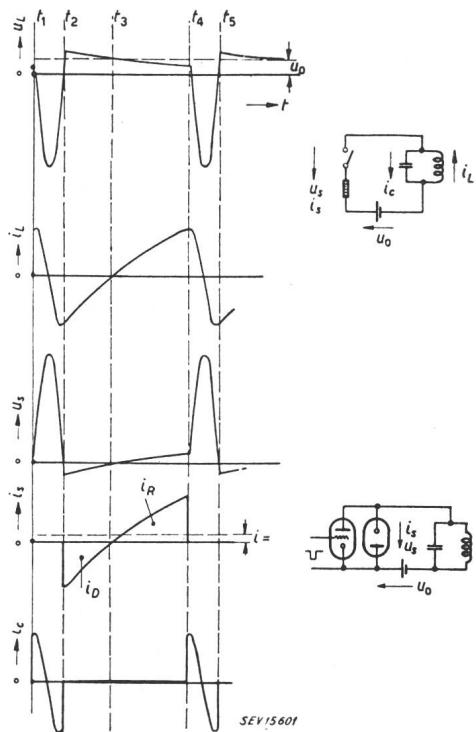


Fig. 1

SZ-Strom-Erzeugung bei $L/R \gg T$ mittels Schalterbetätigung und Darstellung eines bipolaren Schalters durch Röhrenanordnungen

2. Die Zeitkonstante der Spule sei gross gegen die SZ-Periode, ihre Eigenschwingung sei schwach gedämpft (Fig. 1). Über einen Schalter kleinen Innenwiderstandes legt man eine konstante Spannung u_0 an den Stromkreis (Zeitpunkt t_3). Der Strom in der Spule steigt annähernd linear an, bis der Schalter

geöffnet wird (t_4). Eine freie Halbschwingung des Kreises, die den SZ-Rücklauf bildet, lässt die Richtung von i_L sich umkehren. Gelingt es, den Schalter wieder zu schliessen, wenn $u_L \approx u_0$ geworden ist (t_5, t_2), so geht der Spulenstrom wieder linear gegen Null (t_3), um dann weiter linear über Null anzusteigen. Bei widerstandsfreier Anordnung würde ein reiner SZ-Wechselstrom entstehen, die in dem Zeitraum $t_3 \dots t_4$ aus der Batterie entnommene und in der Spule gespeicherte Energie wird in der Zeit $t_2 \dots t_3$ an die Batterie (Umkehrung der Stromrichtung) zurückgeliefert. Bei Berücksichtigung der Dämpfung z. B. durch den Schalterinnenwiderstand geht Energie verloren, der Abschnitt $t_2 \dots t_3$ wird kleiner als $t_3 \dots t_4$ und es fließt im Schalterzweig ein mittlerer Strom $i = > 0$.

Diese rationelle Betriebsart setzt einen in beiden Stromrichtungen durchlässigen (bipolaren) Schalter voraus. Eine grundsätzliche Möglichkeit, einen solchen Schalter durch Röhrenanordnungen darzustellen, liegt in der Parallelschaltung mit einander entgegengesetzten Durchlassrichtungen einer gesteuerten Röhre und einer Diode. Durch einen Impuls wird die Röhre im Zeitpunkt t_4 abgeschaltet. Das Schliessen des Schalters im Zeitpunkt t_5 bzw. t_2 erfolgt automatisch durch die

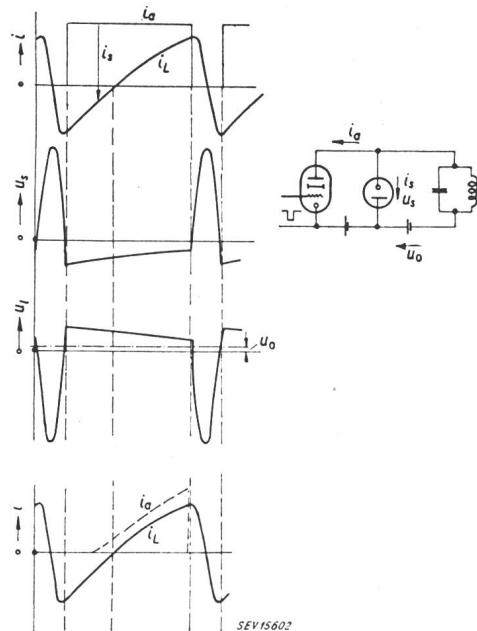


Fig. 2

Diode mit Vorstrom als bipolarer Schalter

mittels u_0 vorgespannte Diode. Die gesteuerte Röhre muss nur am Gitter wieder rechtzeitig vor t_3 entriegelt werden, damit sie in der Lage ist, bei durch Null gehender Anodenspannung den Strom im Abschnitt $t_3 \dots t_4$ zu übernehmen.

In dieser Form wurde das Verfahren zuerst von Blumlein [1] angegeben, ohne dass es zu einer praktischen Ausnutzung