Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 51 (1960)

Heft: 20

Artikel: Economie réalisée par l'emploi de concentrateurs

Autor: Muller, J.J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-917063

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: 09.08.2025

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

Bibliographie

[1] *Smith, B. D.:* Coding by Feedback Methods. Proc. IRE t. 41 (1953), nº 8, p. 1053...1058.

[2] *Black, H. S.* et *J. O. Edson:* Pulse Code Modulation. Trans. AIEE t. 66 (1947), p. 895...899.

[3] *Meacham, L. A.* et *E. Peterson:* An Experimental Multichannel Pulse Code Modulation System of Toll Quality. Bell Syst. techn. J. t. 27 (1948), nº 1, p. 1...43.

[4] *Smith, B.:* Instantaneous Companding of Quantized Signals. Bell Syst. techn. J. t. 36 (1957), nº 3, p. 653...709.

[5] *Panter, P. F.* et *W. Dite:* Quantization Distortion in Pulse-Count Modulation with Nonuniform Spacing of Levels Proc IRE t. 39 (1951), nº 1, p. 44....48

Adresse de l'Auteur:

C. P. Villars, Dr ès sc. techn., Montres Omega, Bienne (BE) (auparavant: Bell Telephone Laboratories, Murray Hill, N.J., USA).

Economie réalisée par l'emploi de concentrateurs

Par *J. J. Muller,* Boulogne-Billancourt

621.395:658.5

A. Introduction

Environ 60% des capitaux investis dans les réseaux téléphoniques sont consacrés à l'établissement des lignes individuelles d'abonnés. De plus, alors que les organes d'un central sont utilisés environ la moitié du temps, le cœfficient d'utilisation des lignes individuelles d'abonnés dans les quartiers résidentiels est de l'ordre de 5 %.

Ces chiffres ont conduit les spécialistes à chercher les moyens d'améliorer l'utilisation du cuivre employé à raccorder les postes d'abonnés à leur central de raccordement. Un de ces moyens est le concentrateur, dispositif qui permet de desservir un certain nombre d'abonnés, groupés, dans une aire géographique déterminée, au moyen de lignes ou «jonctions» communes en nombre approprié à leur trafic total, et tel que la qualité du service offert est pratiquement la même que si chaque poste d'abonné était relié au central par une ligne individuelle.

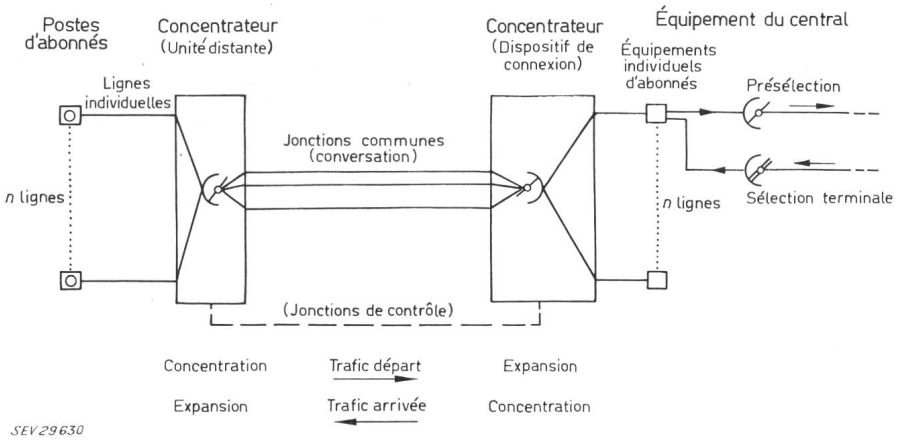

Fig. 1

Diagramme général d'un concentrateur classique sans éclatement de sélection de ligne

Les symboles d'organes tournants ne préjugent pas du système employé

Il existe diverses méthodes permettant d'insérer un concentrateur dans un réseau téléphonique automatique. Celle qui est traitée ici est celle du concentrateur expandeur représenté à la figure 1 qui s'insère dans un réseau téléphonique sans modification des centraux téléphoniques eux-mêmes. Le concentrateur signale au central l'identité d'un abonné appelant; il reçoit du central l'identité de l'abonné appelé et effectue la connexion correspondante. Au central est disposé un organe symétrique du concentrateur désigné «dispositif de connexion» qui est capable de recevoir du concentrateur l'identité de l'abonné appelant et de l'interpréter pour connecter la jonction choisie à l'équipement individuel de cet abonné au central. Pour les appels vers les abonnés reliés au concentrateur c'est le dispositif de connexion qui signalera au concentrateur l'identité de l'abonné appelé. L'ensemble «concentre» le trafic d'un groupe d'abonnés sur les jonctions communes, chaque extrémité fonctionnant en concentrateur ou en expanseur suivant le sens du trafic. Les informations nécessaires à l'identification des abonnés peuvent être envoyées sous forme de trains d'impulsions codées sur les jonctions auxiliaires en nombre faible. A titre d'exemple, la figure 2 montre un concentrateur à 52 abonnés, 8 jonctions, et 2 paires de contrôle.

Il est claire que l'on peut être tenté d'éviter la duplication de l'expansion et de la concentration du trafic liée à l'existance simultanée dans le central de la sélection finale et de l'unité de connexion mentionnée ci-dessus. On est alors amené à envisager l'éclatement de la sélection de ligne consistant à reporter auprès du groupe d'abonnés les opérations de sélection finale. Cette méthode est séduisante; toutefois, elle pose de nombreux problèmes concernant la conception même des systèmes téléphoniques, la numérotation des abonnés, etc.

L'object du présent mémorandum est de calculer la capacité des concentrateurs à prévoir dans un réseau téléphonique à créer, dans lequel on a le choix entre la construction de lignes et l'emploi de concentrateurs, en vue de réaliser la plus grande économie possible.

Il a été admis que l'on utilisait un seul et même type de concentrateur dans tout le réseau considéré. Le cas général mentionné ci-dessus de l'éclatement de la sélection de ligne, qui peut conduire à l'emploi simultané de concentrateurs de capacités différentes dans une même zone, n'a pas été envisagé. On s'est donné une loi de variation du prix des concentrateurs déduite expérimentalement des réalisations faites jusqu'ici. Ces hypothèses simplificatrices limitent naturellement la portée des résultats au cadre que l'on s'est fixé. Mais dans ce cadre, il apparaît que l'emploi de concentrateurs est économiquement justifié si leur zone d'utilisation est suffisamment étendue, et qu'une capacité

optima peut être définie approximativement en fonction des facteurs pris en considération, à savoir:

- le coût des concentrateurs et des lignes exprimé en charges annuelles
- le nombre total d'abonnés du réseau N
- la densité des abonnés
- le trafic par abonné T Erlangs (arrivée + départ)
- la capacité des concentrateurs en nombre de lignes n et en trafic nT.

Il est connu que l'emploi de concentrateurs devient économique au-delà d'une certaine distance entre concentrateur et central de rattachement. Cette distance économique dépend du coût d'établissement et d'entretien des concentrateurs et des lignes, et du facteur de concentration, c'est-à-dire du rapport entre le nombre d'abonnés reliés au concentrateur et le nombre de jonctions nécessaires pour les relier au central.

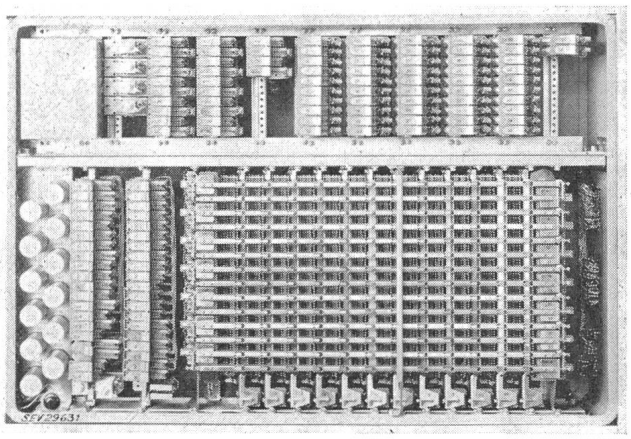

Fig. 2
Concentrateur à 52 lignes, 8 jonctions
Partie distante

Ce facteur de concentration dépend lui-même du nombre d'abonnés, du trafic par abonné, de la probabilité admise pour qu'un appel aboutisse et du nombre de jonctions nécessaires pour commander le concentrateur.

Si l'on considère un central téléphonique desservant une zone donnée, on pourra utiliser systématiquement des concentrateurs au-delà de cette distance critique, dite économique.

Le problème que l'on se pose est: Etant donné un réseau où l'emploi systématique de concentrateurs est prévu, quelle sera la capacité optima en nombre de lignes des concentrateurs à utiliser? Quand la capacité des concentrateurs augmente, leur prix unitaire croît, mais en même temps leur nombre total décroît. Par ailleurs, quand la capacité d'un concentrateur augmente, le nombre de jonctions nécessaires par abonné décroît pour une probabilité de perte donnée.

Mais à mesure que la capacité des concentrateurs augmente, la longueur des lignes entre abonné et concentrateur augmente si l'on admet, comme il est naturel, que les concentrateurs desservent les abonnés les plus proches de leur point d'implantation. Ces divers facteurs varient donc dans des sens opposés, et dans certaines conditions on peut arriver à une capacité optima.

B. Hypothèses

Les hypothèses faites dans le calcul ci-dessus sont les suivantes:

1. Un central téléphonique dessert une zone circulaire dans laquelle les abonnés sont répartis uniformément. En chaque point du réseau la répartition du trafic entre abonnés est la même (même pourcentage d'abonnés à trafic élevé).

2. Seuls sont reliés à des concentrateurs, les abonnés se trouvant à une distance du central supérieure à la distance économique qui est calculée en fonction du trafic, de la capacité des concentrateurs et des charges annuelles relatives des concentrateurs et des lignes. Cela exclut les abonnés proches du central et les abonnés à fort trafic. Les concentrateurs sont donc répartis uniformément dans une couronne circulaire et desservent des abonnés de même trafic.

3. Chaque concentrateur dessert les abonnés qui en sont les plus rapprochés et répartis uniformément à l'intérieur d'un cercle dont il est le centre.

4. Les charges annuelles dues à un concentrateur varient comme sa capacité définie comme étant le trafic total en Erlangs qu'il est capable d'écouler avec une probabilité de perte donnée. Cette hypothèse est évidemment approximative, en particulier pour les très faibles capacités où il serait plus rigoureux de faire intervenir aussi un terme constant. Si l'on considère toutefois les volumes d'équipements réalisés et projetés jusqu'ici, elle se vérifie assez bien. Elle revient à dire que le prix d'un concentrateur est proportionnel au nombre d'abonnés desservis et au trafic moyen par abonné.

C. Calcul de la distance économique

Considérons la surface desservie comme une couronne C (figure 3) de rayon intérieur a_0 et extérieur a, 0 étant le

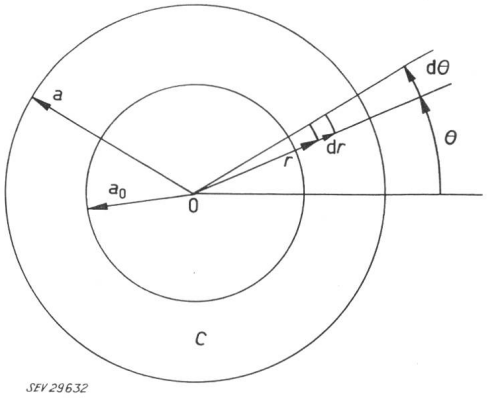

Fig. 3
Zone C desservie par un central situé en 0
Signification des symboles voir texte

central. Les charges dues aux concentrateurs sont évaluées en longueur équivalente de lignes:

a) On calcule d'une part la longueur des lignes d'abonnés qui existeraient si l'on reliait directement les abonnés de la zone C au central:

$$\int_0^{2\pi}\int_0^{a} \varrho\, r^2\, \mathrm{d}r\, \mathrm{d}\Theta = 2\pi\varrho\,\frac{a^3}{3}$$

b) Puis on calcule par une méthode analogue la somme de la longueur des lignes entre abonnés et concentrateurs dans la zone C, la longueur des jonctions entre concentrateurs uniformément répartis dans C et le central, et enfin la longueur de ligne équivalente aux charges dues aux concentrateurs.

On calcule le coût relatif R_c comme le rapport entre *b*) et *a*) ci-dessus et l'on trouve:

$$R_c = \frac{j}{n} + \left(\sqrt{\frac{n}{N}} + \frac{3}{2}\frac{\lambda T}{a}\right) \cdot \frac{1-\left(\frac{a_0}{a}\right)^2}{1-\left(\frac{a_0}{a}\right)^3} \qquad (1)$$

dans lequel:

R_c coût relatif (rapport entre prix pour relier les abonnés avec et sans concentrateurs)
n nombre de lignes par concentrateur
N nombre total d'abonnés situés à l'intérieur du cercle de rayon a et ayant un trafic moyen T
N_0 nombre d'abonnés dans le cercle de rayon a_0
ϱ densité d'abonnés, nombre d'abonnés par unité de surface
j nombre de jonctions par concentrateur
λ constante dépendant des conditions économiques
T trafic par abonné, départ plus arrivée, en Erlangs
$\lambda n T$ longueur de ligne donnant les mêmes charges annuelles qu'un concentrateur d'une capacité de n lignes de trafic T
a rayon du cercle limitant la zone couverte par le central
a_0 distance économique

Pour qu'il y ait économie, il faut que $R_c \leqq 1$. Si l'on fait tendre a vers a_0, on aura une valeur limite de $R_c = R_0$:

$$R_0 = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{n}{N_0}} + \frac{j}{n} + \frac{\lambda T}{a_0}$$

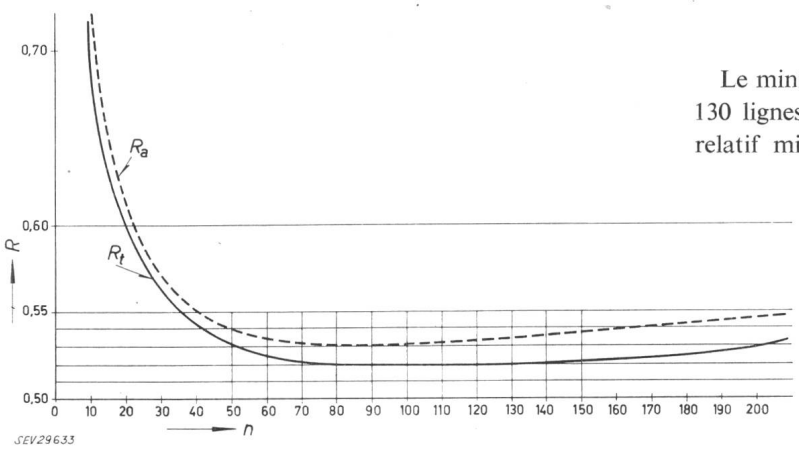

Fig. 4
Coût relatif R en fonction de la capacité des concentrateurs en nombre de lignes n
R Coût relatif (Rapport entre prix du réseau avec et sans concentrateurs); R_t Valeur exacte suivant formule [3]; R_a Valeur approchée suivant formule [4]; Trafic par abonné $T = 0{,}06$ Erlangs; Probabilité de perte $P = 0{,}005$

et il faut que $R_0 \leqq 1$, ce qui définit la distance économique a_0, telle que $R_0 = 1$

$$\frac{a_0}{a} = \frac{\frac{\lambda T}{a} + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{n}{N}}}{1 - \frac{j}{n}} \qquad (2)$$

Cette expression montre que si le trafic T augmente à n constant, j augmente et les autres facteurs restant constants, il y aura un trafic limite au-delà duquel la distance économique sera supérieure au rayon de la zone à desservir. Cette notion est à rapprocher de la notion du coût par Erlang transporté [1]).

D'une façon générale, l'emploi de concentrateurs ne sera pas économique dans le cadre des hypothèses adoptées si l'on a:

$$\frac{2}{3}\sqrt{\frac{n}{N}} + \frac{j}{n} + \frac{\lambda T}{a} > 1$$

D. Calcul du coût relatif total

Le calcul précédent ne faisait pas intervenir les abonnés situés dans la zone intérieure au cercle de rayon a_0. Si l'on en tient compte, on trouve un coût relatif total égal à

$$R_t = \left(\frac{a_0}{a}\right)^3 + \qquad \text{Lignes non concentrées}$$

$$+ \left[1 - \left(\frac{a_0}{a}\right)^2\right]\sqrt{\frac{n}{N}} + \qquad \text{Lignes entre abonnés et concentrateurs}$$

$$+ \frac{j}{n}\left[1 - \left(\frac{a_0}{a}\right)^3\right] + \qquad \text{Jonctions}$$

$$+ \frac{3}{2}\frac{\lambda T}{a}\left[1 - \left(\frac{a_0}{a}\right)^2\right] \qquad (3) \qquad \text{Concentrateurs}$$

R_t étant le rapport du coût du réseau avec concentrateurs au coût du réseau sans concentrateurs. Cette expression permet de déterminer l'économie $(1 - R_t)$ réalisée par l'emploi de concentrateurs, en fonction de la capacité n et des paramètres N, T, λ, a, la distance a_0 étant définie par (2).

Exemple numérique

La figure 4 donne une courbe du coût en fonction de la capacité, avec les hypothèses numériques suivantes dont le choix sera justifié plus loin:

$N = 10\,000$ abonnés
$T = 0\,06$ Erlangs (Probabilité de perte $P = 0{,}005$)

$$\frac{\lambda T}{a} = \frac{1}{5}$$

Le minimum du coût atteint entre des capacités de 70 et 130 lignes et ce minimum est extrêmement plat. Le coût relatif minimum est 52% et par conséquent l'économie maximum est 48%. Les calculs qui conduisent à ce résultat sont longs et fastidieux, et malgré la précision du 1/1000e utilisée, il est difficile de discerner le minimum de R tant il est flou. Dans ces conditions, on peut rechercher une approximation qui conduise à une évaluation exacte de l'économie et approchée de la capacité optima.

---

[1]) *Hayward, W.:* Traffic Engineering and Administration of Line Concentrators. Commun. ITC, La Haye: 1958.

E. Approximation

On peut faire une approximation dans le cas où $1-(a_0/a)^2$ peut être confondu avec l'unité, c'est-à-dire quand la surface totale est grande par rapport à la surface dans laquelle l'emploi de concentrateurs n'est pas économique. Supposons:

$$\left(\frac{a_0}{a}\right)^2 \leqq 0{,}1$$

Dans ce cas, on pourra déterminer le coût relatif avec une erreur inférieure à 10% par la simplification suivante de (3):

$$Ra = \sqrt{\frac{n}{N}} + \frac{j}{n} + \frac{3}{2}\frac{\lambda T}{a} \qquad (4)$$

Les trois termes de cette expression correspondent de gauche à droite aux longueurs des lignes d'abonnés reliées aux concentrateurs, aux Jonctions et aux Concentrateurs

1. Recherche de la capacité correspondant au coût R minimum

En utilisant les courbes d'Erlang (appels perdus) avec les notations usuelles

$x = j$ nombre de jonctions
$y = nT$ trafic total par concentrateur, on a:

$$R_a = \sqrt{\frac{y}{NT}} + \frac{Tx}{y} + \frac{3}{2}\frac{\lambda T}{a}$$

Pour un trafic T constant donné, on écrit:

$$\frac{\partial R_a}{\partial y} = 0$$

qui s'exprime par:

$$\frac{x}{y} - \frac{dx}{dy} = \frac{\sqrt{y}}{k} \qquad (5)$$

avec le paramètre $k = 2\,T\sqrt{NT}$

La résolution de l'équation (5) s'effectue au moyen de tables des fonctions d'Erlang dont on déduit la figure 5 ci-jointe dans l'hypothèse d'une probabilité de perte de 0,005. Le trafic optimum y_0 est obtenu par intersection de la courbe:

$$z = \frac{x}{y} - \frac{dx}{dy}$$

et des paraboles:

$$z = \frac{\sqrt{y}}{k}$$

On obtient ainsi les valeurs optima y_{opt} qui sont reportées en figure 6 en fonction du paramètre k. Il se trouve que la courbe en figure 6 est sensiblement une droite pour $1 < k < 10$ et est représenté par l'expression:

$$y_{opt} = 3\,T\sqrt{NT} + 1$$

avec une erreur estimée inférieure à ± 1, ou

$$\underline{n_{opt} = 3\sqrt{NT} + \frac{1}{T}} \qquad (6)$$

avec une erreur maximum de $\pm 1/T$.

n_{opt} nombre optimum de lignes reliées au concentrateur
N nombre total d'abonnés à desservir par le central téléphonique
T trafic départ et arrivée par abonné en Erlangs.

La probabilité de perte admise est 0,005. Il n'est pas tenu compte des paires de contrôle (on peut établir une formule approchée du même genre si l'on veut en tenir compte).

Cette expression repose sur l'hypothèse que le prix du concentrateur est proportionnel au nombre de lignes et au trafic. On peut vérifier que l'on trouve le même résultat en supposant le prix seulement proportionnel au nombre

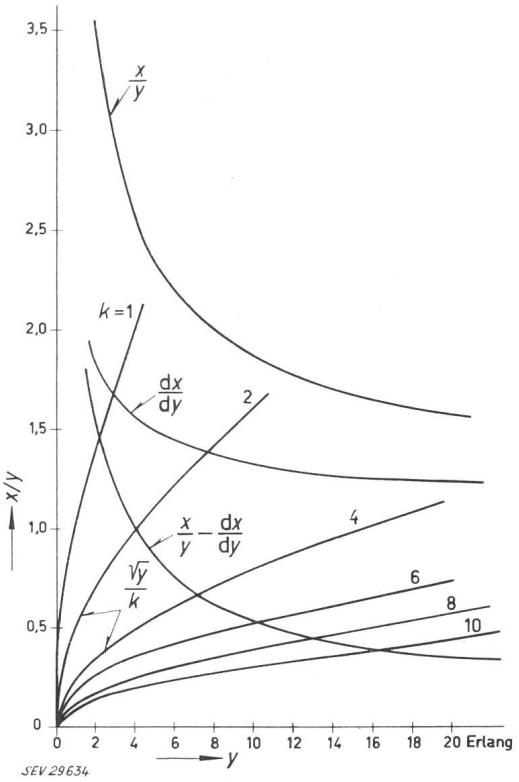

Fig. 5

Résolution de $\frac{x}{y} - \frac{dx}{dy} = \frac{\sqrt{y}}{k}$

$\frac{x}{y}$ Nombre de jonctions par Erlang (Probabilité de perte 0,005); y trafic écoulé par un concentrateur

de lignes. Le prix total des concentrateurs est indépendant de n, le prix unitaire étant proportionnel à n et le nombre total inversément proportionnel à n. On voit d'après ceci que la capacité optima augmente avec le trafic par abonné et avec le nombre total d'abonnés à desservir.

2. Résultats numériques et validité

L'expression (6) ci-dessus donne:
$T = 0{,}06$ Erlang
$N = 10\,000$ abonnés
Capacité $n_{opt} = 90$ lignes, à ± 15 lignes près.

Pour que les hypothèses ayant servi de base au calcul soient vérifiées, il faut:

$$\left(\frac{a_0}{a}\right)^2 \leqq 0{,}1 \text{ ou } \left(\frac{a_0}{a}\right) \leqq \frac{1}{3{,}1}$$

ou d'après (2)

$$\frac{\lambda T}{a} + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{n}{N}} \leqq \frac{1}{3{,}1}\left(1 - \frac{j}{n}\right)$$

Dans le cas particulier de l'exemple ci-dessus:

$$n = 90$$
$$j = 12$$
$$N = 10\,000$$

Il faut:

$$\frac{\lambda T}{a} \leqq 0{,}21$$

Par exemple, si $\lambda T = 100/50 = 2$ km (en admettant que les charges dues à un concentrateur à 50 lignes équivalent à celles de 100 km de ligne) le rayon a de la zone raccordée devra être 9,5 km et la distance économique sera 3 km.

Ce sont les hypothèses qui ont conduit à l'établissement de la figure 4. On voit sur cette figure que la capacité approchée de 90 lignes correspond au coût minimum. On voit aussi sur cette courbe que la tolérance sur le nombre de lignes optimum est grande et que la précision de la formule (6) est bien suffisante. Si l'on porte $n_{opt} = 90$ dans l'expression (4), on trouve $R_{min} = 0{,}53$ au lieu de 0,52 par l'expression exacte (3), soit une erreur de 2% sur le prix. La courbe $R = R_a$ de la figure 4 a été établie en faisant varier n dans l'expression (4). Le minimum de R calculé avec cette formule approchée correspond à une plage comprise entre 70 et 110 lignes.

De ces chiffres, on peut conclure que la formule (6) permet de calculer une capacité correspondant sensiblement au coût minimum, mais que la capacité des concentrateurs peut dépasser dans de larges limites la valeur moyenne calculée, sans que l'économie soit sensiblement modifiée. La formule (6) ne peut donc servir qu'à dégrossir le problème.

Pour le choix final de la capacité des concentrateurs, d'autres considérations devront intervenir, telles que l'emploi optimum des machines disponibles, et la simplicité maximum du dispositif de contrôle.

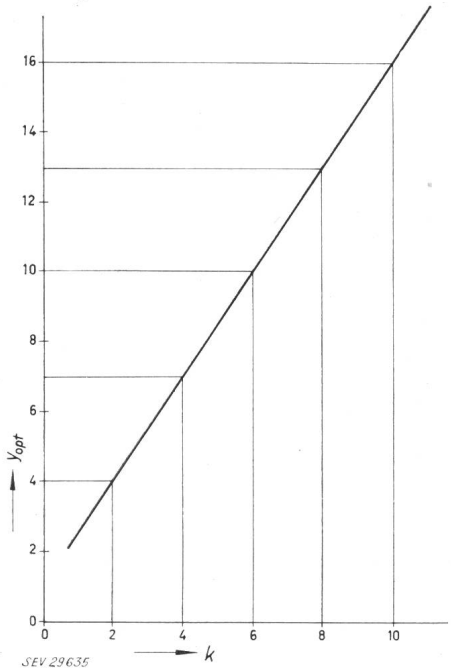

Fig. 6

Capacité optima y_{opt} en fonction du paramètre $k = 2\,T\sqrt{NT}$

y_{opt} Capacité optima du concentrateur

Adresse de l'auteur:

J. J. Muller, Dr ès sc. techn., Directeur Technique de la Société Le Matériel Téléphonique, 46/47 Quai de Boulogne, Boulogne-Billancourt (Seine), (France).

Zur Normung eines europäischen Farbfernsehens

Von *W. Gerber*, Bern

621.397.132(4) : 389.6

1. Die heutigen monochromen Sendenormen

Das klassische Fernsehsystem Europas ist bekanntlich das englische, mit seinen 405 Bildzeilen. Es datiert bereits aus dem Jahre 1936. Ausschliesslich auf Meterwellen betrieben, verfügt es gegenwärtig auf dem britischen Inselbereich über zehn Millionen Empfangsstellen. Im Jahre 1948 folgte Frankreich mit der «haute définition», dem 819-Zeilenbild. Ebenfalls auf Meterwellen ausgestrahlt, erreicht diese Definition heute über anderthalb Millionen Empfangsanlagen. Die grosse Zahl der übrigen europäischen Länder war noch nicht festgelegt. Es bestand weitherum das Bedürfnis, die Verwirklichung des Fernsehgedankens zunächst einmal auf der internationalen Ebene gemeinsam zu diskutieren, eigentlich um so mehr, als ja der erwünschte Kontakt während des Zweiten Weltkrieges und den unmittelbar folgenden Jahren kaum mehr vorhanden war.

Angesichts dieser Sachlage schaltete sich im Jahre 1949 das gerade neuorganisierte Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR) ein. Sein damaliger Leiter, *B. van der Pol*, führte das weltweite Gespräch auf die technisch-ökonomische Ebene zurück. In der Folge war im Juli 1950 eine internationale Expertengruppe in Genf versammelt, mit dem Auftrag, eine CCIR-Norm vorzubereiten. Im Sinne bester internationaler Tradition arbeiteten dort die Experten der interessierten Länder, unterstützt durch England, Frankreich und die USA, engstens zusammen. Übers Jahr wurde die projektierte Norm durch die Vollversammlung des CCIR zum Beschluss erhoben.

Die internationale 625-Zeilennorm, um die es sich hier handelt, bedeutet im wesentlichen einen Kompromiss zwischen der Bildauflösung einerseits und den technisch-ökonomischen Gegebenheiten anderseits [1; 2][1]). Natürlich muss der Regisseur den Bildausschnitt so präsentieren, dass er als Ganzes betrachtet wird. Einzelheiten sind in der Grossaufnahme zu zeigen. Das Spiel zwischen Totale und Grossaufnahme ist hierbei ein anderes als etwa im Kino. Zur Wiedergabe der Aktualität in Grossprojektion jedoch genügt das 625-Zeilenbild vollauf. Diese mittlere Linie der Wahl hat sich als zweckmässig erwiesen und wie erwartet, dürften noch etliche Jahre vergehen, bis die dem System inhärente Qualität voll und ganz ausgeschöpft wird. Auch sind die damaligen Erwägungen hinsichtlich des Störabstandes, der Einschwingvorgänge sowie der verschiedenen Rastereffekte nach wie vor gültig. Wie aus Fig. 1 hervorgeht, lassen sich im heutigen Betrieb je Bild über 10^6 bit übertragen [3]. Fig. 2 zeigt ferner den Frequenzgang der Modulationstiefe der meistgebräuchlichen optisch-elektrischen Wandler [4].

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.