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 telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 42 (1964)

Heft: 7

Artikel: Compresseurs d'amplitude et cybernétique : théorie valable pour des phénomènes quasi-stationnaires et pour des composantes de spectres d'amplitude linéairement additives

Autor: Dreyfus-Graf, J.A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875171

J. A. Dreyfus-Graf, Genève

621.395.665.1-501.22

Compresseurs d'amplitude et cybernétique

(Théorie valable pour des phénomènes quasi-stationnaires et pour des composantes de spectres d'amplitude linéairement additives)

Résumé: *On connaît des compresseurs d'amplitude, tels que ceux qui sont employés dans les companders pour améliorer le rapport signal/bruit, ou dans des dispositifs antifadings pour réduire les variations intempestives du signal. Ces compresseurs sont des amplificateurs à gain variable en fonction de l'amplitude du signal. La présente étude développe les lois auxquelles obéissent les «compresseurs sélectifs» ou «niveleurs», dont le gain varie en fonction d'une partie du spectre d'amplitude du signal. A titre d'exemple, on peut obtenir des gains plus forts pour des signaux correspondant à des phonèmes, tels que* m, n, *que pour d'autres, tels que* a, j, i. *Ces propriétés peuvent être utiles à des dispositifs d'analyse spectrale et de reconnaissance phonémique, tels que ceux qui servent de base à des machines transformant le langage parlé en langage écrit, et connues sous le nom de phonétographes. Les lois sont exposées à l'aide de schémas fonctionnels, logarithmiques d'un nouveau genre, qui permettent de rattacher la représentation des compresseurs à celle, universelle, des régulateurs cybernétiques. Les compresseurs sélectifs ou niveleurs permettent de combiner divers avantages, tels que*

- *Réduction des temps de réponse et des facteurs de compression, car les amplitudes associées à des fréquences basses sont contrôlées par des amplitudes associées à des fréquences plus élevées.*
- *Destruction de l'information parasite qui encombrerait les canaux et les mémoires, mais conservation fidèle de l'information utile.*
- *Suppression de la dynamique indésirable et remplacement par une nouvelle dynamique désirée. En effet, la répartition spectrale de chaque phénomène quasi-stationnaire est conservée, mais les rapports entre les spectres de signaux successifs peuvent être modifiés selon le but recherché.*

Zusammenfassung: *Man kennt Amplitudenkompressoren, wie sie in Compandern zur Verbesserung des Signal/Geräusch-Verhältnisses oder in Antifadings zur Verminderung von Schwunderscheinungen verwendet werden. Diese Kompressoren sind Verstärker mit veränderlichem Verstärkungsfaktor in Funktion der Signalamplitude. Die vorliegende Arbeit untersucht «selektive Kompressoren» oder «Pegler», deren Verstärkungsfaktor in Funktion eines Teiles des Amplitudenspektrums des Signals variiert. Beispielsweise kann man mit ihrer Hilfe phonetische Elemente, wie* m, n *mehr verstärken als* a, j, i *usw. Derartige Vorrichtungen können für Maschinen nützlich sein, die automatisch Lautsprache in phonetische Schriftsprache umwandeln und als Phonetographen oder phonetische Schreibmaschinen bezeichnet werden. Die Kompressorengesetze werden mit Hilfe neuartiger, logarithmischer Ersatzschemata erklärt, die sich an allgemeine kybernetische Vorstellungen anknüpfen. Die Vorteile der selektiven Kompressoren oder Pegler gestatten:*

- *Eine Verminderung der Ein- und Ausschwingzeiten und der Kompressionsfaktoren, da die Amplituden tiefer Frequenzen durch jene höherer Frequenzen geregelt werden.*
- *Eine Vernichtung der Kanäle und Speicher belastenden parasitären Information, unter getreuer Erhaltung der nützlichen Information.*
- *Ein Ausmerzen ungewollter Dynamik und Ersatz durch eine neue erwünschte Dynamik, so dass das Amplitudenspektrum des quasistationären Signals erhalten bleibt, die Amplitudenspektren von aufeinanderfolgenden Signalen je nach dem erstrebten Ziel zueinander jedoch relativ verändert werden können.*

Riassunto: *Conosciamo compressori d'ampiezza, come quelli utilizzati nei circuiti compander per migliorare il rapporto segnale/rumore o nei dispositivi antievanescenza per ridurre le variazioni intempestive del segnale. Questi compressori sono amplificatori a guadagno variabile in funzione dell'ampiezza del segnale. Il presente studio sviluppa le leggi alle quali obbediscono i «compressori selettivi» o «livellatori», il cui guadagno varia in funzione d'una parte dello spettro d'ampiezza del segnale. A titolo d'esempio, possono essere ottenuti guadagni più elevati per dei segnali correspondenti a fonemi, tali* m o n, *che per altri, come* a, j, i. *Queste proprietà possono essere applicate utilmente nei dispositivi di analisi spettrale e di riconoscimento fonemico, come quelli su cui sono fondate le macchine per trasformare il linguaggio parlato in linguaggio scritto (fonetografi). Le leggi sono esposte per il tramite di schemi funzionali logaritmici di un nuovo genere permettenti di ricollegare la rappresentazione dei compressori a quella, universale, dei regolatori cibernetici. I compressori selettivi o livellatori consentono la combinazione di diversi vantaggi, quali:*

- *Riduzione dei tempi di risposta e dei fattori di compressione, poichè le ampiezze associate a frequenze basse sono controllate da ampiezze associate a frequenze più elevate.*
- *Distruzione dell'informazione parassita che incombrerebbe i canali e le memorie, ma conservazione fedele dell'informazione utile.*
- *Soppressione della dinamica indesiderabile e sostituzione con una nuova dinamica desiderata. Infatti, la ripartizione spettrale di ogni fenomeno quasistazionario è conservata, ma i rapporti tra gli spettri di segnali successivi possono essere modificati secondo il fine voluto.*

A. Compresseurs non sélectifs

On appelle dynamique $D = S_{max} : S_{min}$ le rapport entre l'amplitude maximum S_{max} et l'amplitude minimum S_{min} transmises par un canal téléphonique, radiophonique ou autre. Comme référence, nous choisirons toujours l'amplitude minimum égale à l'unité $S_{min} = 1$, de sorte que l'amplitude maximum S_{max} exprimera directement la dynamique $D = S_{max}$.

Les compresseurs d'amplitude ont pour but de réduire les variations $\log S_1$ du niveau d'entrée à des variations plus petites $\log S_2$ du niveau de sortie à l'aide d'un facteur de compression R (constant et plus petit que l'unité), selon la loi logarithmique

$$\boxed{\log S_2 = R \cdot \log S_1} \tag{1a}$$

$$\text{ou} \left\{ \begin{array}{l} \text{équivalente} \\ \text{exponentielle} \end{array} \right\} \boxed{S_2 = S_1^{R}} \tag{1b}$$

On les utilise, par exemple, dans les *companders* pour réduire le rapport signal/bruit, ou dans les dispositifs *antifadings* pour diminuer les variations intempestives de signaux.

Les compresseurs connus sont des amplificateurs dans lesquels l'amplitude d'entrée S_1 est multipliée par un coefficient d'amplification (ou gain) A pour donner l'amplitude de sortie S_2, le gain A étant lui-même fonction de S_1 ou S_2 (voir *fig. 1*).

$$S_2 = A \times S_1, \text{ où } A = f\,(S_1 \text{ ou } S_2) \qquad (2)$$

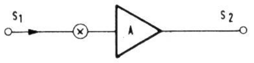

Fig. 1
Schéma direct de la multiplication

La multiplication $\times$ de deux grandeurs (en valeurs absolues) est remplaçable par l'addition $+$ de leurs logarithmes, dans un système à base quelconque, telle que 2, e, 10, etc.

$$\log S_2 = \log A + \log S_1 \qquad (3a)$$

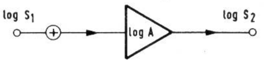

Fig. 2
Schéma logarithmique de la multiplication

La multiplication $\times$ du logarithme d'une grandeur par un nombre B est équivalente à l'élévation de cette grandeur à la puissance B (voir *fig. 3*).

$$\log S_3 = B \cdot \log S_2 \qquad (3b)$$

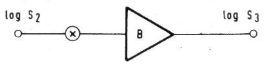

Fig. 3
Schéma logarithmique de l'élévation à la puissance

On peut développer ainsi un nouveau genre de schémas, logarithmiques, qui permet de rattacher les compresseurs d'amplitude à la représentation générale, voire universelle, des régulateurs cybernétiques.

Le niveau log A du gain direct A est une fonction du niveau log S_2 de l'amplitude de sortie S_2 et d'un certain gain de réaction (ou feed back) B. La valeur maximum A_0 du gain direct A se manifeste en boucle ouverte, quand $B = 0$. Notre amplitude de référence reste $S_{min} = 1$: le niveau de référence «zéro» évite les niveaux négatifs et permet de voir directement la dynamique.

$$D = S_{max} : S_{min} = S_{max} : 1 = S_{max} \qquad (4)$$

Si nous appelons E l'erreur, le niveau d'erreur log E devient la différence entre le niveau d'entrée log S_1 et le niveau de réaction $-B \cdot \log S_2$, selon la formulation cybernétique suivante (voir la *fig. 4*):

$$\left.\begin{aligned} \log S_2 &= \log E + \log A_0 \qquad (5) \\ \log E &= \log S_1 - B \cdot \log S_2 \qquad (6) \end{aligned}\right\} +$$

niveau (5) + (6) de sortie $\boxed{\log S_2 = \dfrac{1}{1+B}\,(\log S_1 + \log A_0)}$ (7)

$$\text{où } \frac{1}{1+B} = R = \text{facteur de compression} \qquad (8)$$

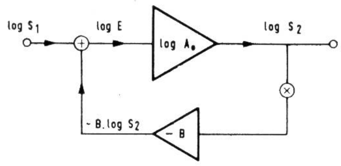

Fig. 4
Schéma logarithmique du compresseur non sélectif (un signe + est sous-entendu devant le triangle contenant log A_0, conformément à la fig. 2)

En combinant les équations (3a) et (7), on obtient le niveau d'amplification (ou de gain) direct:

$$\boxed{\begin{aligned} \log A &= \frac{1}{1+B} \cdot \log A_0 - \frac{B}{1+B} \cdot \log S_1 = \\ &= (R-1) \cdot \log S_1 + R \cdot \log A_0 \end{aligned}} \qquad (9)$$

La fonction exponentielle est moins commode pour la représentation graphique, mais plus directe pour la formulation mathématique:

$$S_2 = (S_1 \cdot A_0)^{\frac{1}{1+B}} = (S_1 \cdot A_0)^R \qquad (10)$$

$$\text{si } B \gg 1 \rightarrow \frac{1}{1+B} = R \simeq \frac{1}{B}, \text{ on peut simplifier}$$

$$\boxed{S_2 \simeq (S_1 \cdot A_0)^{\frac{1}{B}}} \quad (11a) \qquad \boxed{A \simeq \frac{A_0^{\frac{1}{B}}}{S_1}} \quad (11b)$$

S_1 = amplitude d'entrée
S_2 = amplitude de sortie
A = gain direct (variable)
A_0 = valeur max. de A ($B = 0$, $S_1 = 1$)
B = gain de réaction (constant)
$R = \dfrac{1}{1+B} \simeq \dfrac{1}{B}$
= facteur de compression

Exemple: Si log S_1 = 80 dB; B = 9; R = 1/10
$\log S_2 = \frac{1}{10} \cdot \log S_1 = 8$ dB

B. Compresseurs sélectifs, ou niveleurs, à une composante

Le compresseur sélectif, ou niveleur, est un nouveau genre de compresseurs, où le gain direct A n'est pas seulement fonction de l'amplitude d'entrée S_1, ou de sortie S_2, mais aussi de la fréquence F (Hz) associée à cette amplitude. A l'entrée de la ligne directe, on suppose un facteur d'atténuation $a = f_1$ (F) et à l'entrée de la ligne de réaction un facteur d'atténuation $b = f_2$ (F), où a et b sont compris entre 0 et 1.

Notre schéma cybernétique selon la *figure 5* permet d'en trouver les lois mathématiques:

$$\left.\begin{aligned} \log S_2 &= \log E + \log A_0 \qquad (12) \\ \log E &= \log (a \cdot S_1) - B \cdot \log (b \cdot S_2) \qquad (13) \end{aligned}\right\} +$$

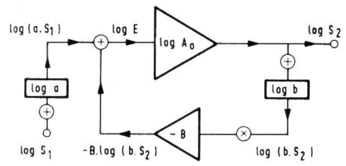

Fig. 5

Schéma logarithmique du compresseur sélectif, ou niveleur, à une composante (un signe + est sous-entendu devant le triangle contenant log A_0)

En additionnant les équations (12) et (13), on élimine le niveau d'erreur log E et on obtient le niveau de sortie, log S_2 en fonction du niveau d'entrée log S_1:

$$\boxed{\log S_2 = \frac{1}{1+B}(\log a\ S_1 + \log A_0) - \frac{B}{1+B}\log b} \quad (14)$$

où $\frac{1}{1+B} = R =$ facteur de compression

Sachant, selon équation (3a), que $\log S_2 = \log A + \log S_1$, on trouve le niveau de gain:

$$\log A = \frac{1}{1+B} \cdot \log aA_0 - \frac{B}{1+B} \cdot \log S_1 - \frac{B}{1+B} \cdot$$

$$\cdot \log b = \frac{1}{1+B} \cdot \log aA_0 - \frac{B}{1+B} \cdot \log b\ S_1 \quad (15)$$

$$= R \cdot \log aA_0 + (R-1)\log S_1 + (R-1)\log b =$$

$$= R \cdot \log aA_0 + (R-1) \cdot \log b\ S_1 \quad (16)$$

Si $B \gg 1 \rightarrow \frac{1}{1+B} = R \simeq \frac{1}{B}$, on peut former les fonctions exponentielles équivalentes:

$$\log S_2 \simeq \frac{1}{B} \cdot (\log a\ S_1 + \log A_0) - \log B \quad (17)$$

$$\log A \simeq \frac{1}{B}\log a\ A_0 - \log S_1 - \log B \quad (18)$$

$$\boxed{S_2 \simeq \frac{1}{b} \cdot (a \cdot S_1 \cdot A_0)^{\frac{1}{B}}} \quad (19) \qquad \boxed{A \simeq \frac{(a \cdot A_0)^{\frac{1}{B}}}{b \cdot S_1}} \quad (20)$$

S_1 = amplitude d'entrée
S_2 = amplitude de sortie
A = gain direct (A_0 = max)
B = gain de réaction (constant)
R = facteur compression
= $1:(1+B) \simeq 1/B$
a = atténuateur direct
b = atténuateur de réaction

Si B est beaucoup plus grand que 1, on constate que l'amplitude de sortie S_2 varie en raison inverse de b et en raison directe de la Bème racine de a. Il en va de même pour le gain direct A (qui, d'une manière générale, est inversement proportionnel à l'amplitude d'entrée S_1). Il en résulte des propriétés remarquables, qui permettent de niveler les composantes de l'amplitude S_1, ainsi qu'on le verra aux chapitres suivants.

C. Compresseurs sélectifs à n composantes

Ainsi que mentionné en sous-titre, le présent exposé ne considère que les «phénomènes quasi-stationnaires» et les «composantes de spectres d'amplitude linéairement additives». Ou plus explicitement:

Si l'amplitude d'entrée S_1 (qui est relative à une amplitude de référence sous-entendue S_{min}) résulte d'un certain nombre de composantes, au sens de l'analyse de Fourier, nous n'utiliserons que son spectre d'amplitude relative, à l'exclusion de tout spectre de phase.

Cette simplification est admissible, voire nécessaire, en raison des trois considérations suivantes:

a) Un compresseur d'amplitude corrige, par définition, une certaine enveloppe énergétique dans la ligne directe par une enveloppe analogue dans la ligne de réaction. Un spectre d'amplitude est équivalent à un spectre énergétique.

b) Le traitement du problème complet, selon l'analyse de *Fourier*, mènerait à des complications qui détruiraient l'élégance et la concision de notre méthode. Voir la complexité de la simple formule (11) dans l'ouvrage «Akustik» de *F. Trendelenburg*, Springer-Verlag, Berlin 1961.

c) On sait que l'oreille humaine est incapable de discerner les phases des composantes d'un son, tant qu'il s'agit de phénomènes quasi-stationnaires. Elle ne s'intéresse qu'à la répartition spectrale des amplitudes ou des énergies.

Or notre exposé concerne au premier chef les transmissions quasi-stationnaires de signaux acoustiques ou phonétiques. Il y a donc accord parfait entre le fonctionnement de notre compresseur et celui de l'oreille, sur ce point.

Ainsi, les formules précédentes restent valables si l'amplitude d'entrée S_1 (et par conséquent l'amplitude de sortie S_2) résulte de n amplitudes partielles relatives, plus grandes que zéro, S_{11}, S_{12}...S_{1n} (ou S_{21}, S_{22}...S_{2n}) associées à des fréquences très différentes $F_1 < F_2 < \ldots < F_n$, selon les définitions suivantes:

$$\boxed{S_1 = S_{11} + S_{12} + \ldots + S_{1n}} \quad (21)$$

$$\boxed{S_2 = S_{21} + S_{22} + \ldots + S_{2n}} \quad (22)$$

En l'absence de facteurs d'atténuation a ou b, les compresseurs d'amplitude (connus) ne modifient pas la composition spectrale relative de S_1 et de S_2

$$\frac{S_{11}}{S_{21}} = \frac{S_{12}}{S_{22}} = \frac{S_{13}}{S_{23}} = \ldots = \frac{S_{1n}}{S_{2n}} = \text{constant} \quad (23)$$

Par contre, la présence de a et b dans la ligne directe et dans la ligne de réaction permet d'obtenir les effets sélectifs suivants:

1. Effet sélectif direct, par facteur d'atténuation a:

Supposant les composantes d'atténuation a_1 de S_{11}, a_2 de S_{12}...a_n de S_{1n}, on obtient la résultante a comme suit

$$\boxed{a = (a_1\, S_{11} + a_2\, S_{12} + \ldots a_n\, S_{1n}) : S_1} \qquad (24)$$

2. Effet sélectif de réaction, par facteur d'atténuation b:

Supposant les composantes d'atténuation b_1 de S_{21}, b_2 de S_{22}...b_n de S_{2n}, on obtient la résultante b comme suit:

$$b = (b_1\, S_{21} + b_2\, S_{22} + \ldots + b_n \cdot S_{2n}) : S_2 \qquad (25)$$

Mais en raison de l'équation (22), on peut remplacer le spectre de sortie par le spectre d'entrée et exprimer S_2 par S_1:

$$\boxed{\begin{aligned} b = (a_1\, b_1 \cdot S_{11} &+ \\ + a_2\, b_2\, S_{12} &+ \ldots + a_n\, b_n\, S_{1n}) : S_1 \end{aligned}} \qquad (26)$$

3. Réduction à la composante S_{11}, de fréquence la plus basse F_1, par un facteur de modulation m:

Si $S_{11} = 1 \cdot S_{11}$; $S_{12} = m_2 \cdot S_{11}$; $S_{13} = m_3 \cdot S_{11}$...; $S_{1n} = m_n \cdot S_{11}$, on obtient:

$$S_1 = S_{11}\,(1 + m_2 + m_3 + \ldots + m_n) \qquad (27)$$

$$S_2 = S_{21}\,(1 + m_2 + m_3 + \ldots + m_n) \qquad (28)$$

$$\boxed{a = S_{11}\,(a_1 + a_2\, m_2 + a_3 \cdot m_3 + \ldots + a_n\, m_n) : S_1} \qquad (29)$$

$$\boxed{\begin{aligned} b = S_{11}\,(a_1\, b_1 &+ \\ + a_2\, b_2\, m_2 &+ \ldots + a_n\, b_n\, m_n) : S_1 \end{aligned}} \qquad (30)$$

4. Spectres continus:

Si le spectre n'est pas discret, mais continu, tel qu'en phonétique par exemple, les composantes S_{11}, S_{12}...S_{1n} peuvent être exprimées par les moyennes de tranches spectrales égales, c'est-à-dire prises sur des largeurs égales de bandes de fréquences.

D. Cascade de compresseurs-niveleurs

On obtient des effets multiplicatifs très efficaces quand on connecte deux (ou plusieurs) compresseurs-niveleurs en série. On peut les calculer à l'aide du schéma cybernétique, selon la *figure 6:*

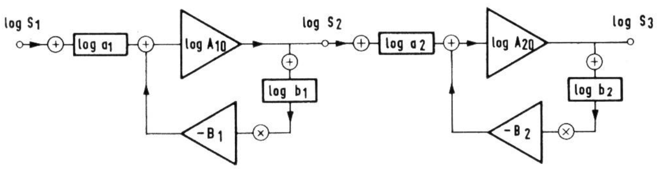

Fig. 6

Schéma logarithmique de deux compresseurs sélectifs, ou niveleurs, en cascade (un signe + est sous-entendu devant chaque triangle contenant log A_0)

On pourrait développer la loi exacte à partir des équations (14) et (15). Mais comme les cas pratiquement intéressants sont ceux où R est très petit, donc B très grand, nous considérons d'emblée les approximations permises quand les gains de réaction B_1 et B_2 sont beaucoup plus grands que l'unité ($B_1 \gg 1$; $B_2 \gg 1$) et nous nous basons sur les équations (17), (18):

$$\log S_2 \simeq \frac{1}{B_1} \cdot \log a_1\, S_1 + \frac{1}{B_1} \cdot \log A_{10} - \log b_1 \qquad (31)$$

$$\log S_3 \simeq \frac{1}{B_2} \cdot \log a_2\, S_2 + \frac{1}{B_2} \cdot \log A_{20} - \log b_2 \qquad (32)$$

$$\boxed{\begin{aligned} \log S_3 \simeq \frac{1}{B_1 B_2} (\log a_1\, S_1 + \log A_{10}) + \frac{1}{B_2} \cdot \\ \cdot (\log a_2 + \log A_{20} - \log b_1) - \log b_2 \end{aligned}} \qquad (33)$$

En supposant $A_{10} = A_{20} = A_0$; $B_1 = B_2 = B$; $a_1 = a_2 = a$; $b_1 = b_2 = b$, on obtient:

$$\boxed{\log S_3 \simeq \frac{1}{B^2} \cdot \log a\, S_1 + \frac{1}{B} \cdot \log a - \log b + \frac{1}{B} \cdot \log A_0} \qquad (34)$$

ou, sous forme exponentielle

$$\boxed{S_3 \simeq \frac{1}{b}\,(a \cdot S_1)^{1/B^2} \cdot (a \cdot A_0)^{1/B}} \qquad (35)$$

Sachant que $\log S_3 = \log A + \log S_1$, on obtient avec l'équation (34) le niveau de gain:

$$\log A \simeq \frac{1}{B^2} \log S_1 + \frac{1}{B^2} \cdot \log a + \frac{1}{B} \cdot \log a + $$
$$+ \frac{1}{B} \cdot \log A_0 - \log S_1 - \log b \qquad (36)$$

On peut négliger les termes en $\frac{1}{B^2}$ par rapport à ceux en $\frac{1}{B}$ ou en 1:

$$\boxed{\log A \simeq \frac{1}{B} \cdot \log a + \frac{1}{B} \cdot \log A_0 - \log S_1 - \log b} \qquad (37)$$

ou sous forme exponentielle:

$$\boxed{A \simeq \frac{(a \cdot A_0)^{1/B}}{b \cdot S_1}} \qquad (38)$$

On constate, selon l'équation (35), que l'amplitude d'entrée S_1 et l'atténuation directe a sont comprimées par un facteur quadratique $R^2 \simeq 1/B^2$. Par contre, le gains total A est resté inchangé, puisque l'équation (38) est identique à (20).

E. Graphiques de compresseurs cybernétiques

Les graphiques de la *figure 7* illustrent la loi selon laquelle le niveau de sortie $\log S_2$ varie en fonction du niveau d'entrée $\log S_1$. Nous supposons un niveau de gain initial $\log A_0$ de 60 dB.

Il ne faut pas oublier que toutes les formules présentées (1) à (47) ne sont valables que dans l'hypothèse où le facteur de compression $R = 1 : (1 + B)$ est constant, de même que le gain de réaction B.

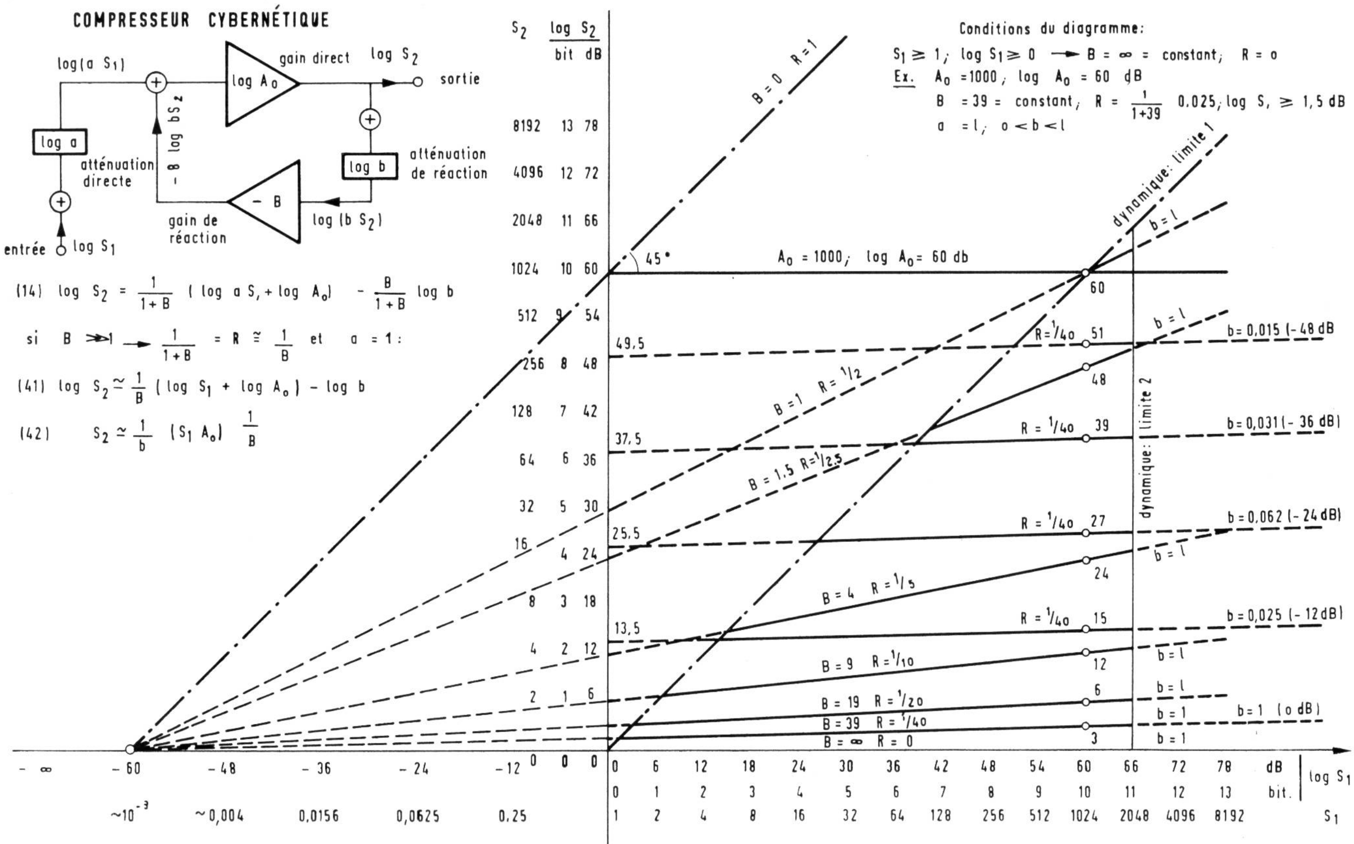

Fig. 7

Graphiques et schéma logarithmique de compresseurs, avec divers facteurs d'atténuation sélectifs (un signe + est sous-entendu devant le traingle contenant log A_0)

Or, pratiquement, les compresseurs ont un B et un R variables pour les faibles valeurs du niveau d'entrée log S_1. Le démarrage se fait selon une droite à 45° (limite 1), dénotant qu'il n'y a aucune compression ($R=1$) puisque log S_2=log S_1. Nous choisissons notre niveau de référence (log $S_1=0$) de telle manière que $S_1=1$ signifie un signal suffisant pour que la compression R ait atteint sa valeur maximum et constante, environ. La droite à 45° (limite 1) prend donc son origine au point log $S_1=0$ et log $S_2=0$, qui correspond à $R=0$, $B=\infty$, et elle limite, vers le bas, la dynamique admissible pour le niveau d'entrée log S_1. Seules les parties en traits pleins des droites sont utilisables. Les parties pointillées sont inutilisables. Nous définissons non seulement un niveau d'entrée de référence log $S_1=0$, mais aussi un facteur de compression de référence $R=0$.

1. Compresseurs non sélectifs ($a=1$, $b=1$)

La famille de droites en traits forts ($b=1$), dont les pentes se redressent entre $B=\infty$ et $B=1$, montre que la dynamique diminue avec B. Cette dynamique est d'autant plus étendue, vers le bas, que le facteur de compression $R\simeq 1/B$ est plus petit. Sa limite 1 inférieure est la droite de démarrage à 45° et sa limite 2 supérieure est, par exemple, la verticale à log $S_1=66$ dB, correspondant à la saturation du système.

La droite $B=0$ n'est coupée par la droite de démarrage limite 1 qu'à l'infini, puisqu'il n'y a aucune compression ($R=1$).

L'axe vertical log $S_1=0$ coupe la famille de droites aux points log $S_2=R\cdot\log A_0=R\cdot 60$ dB.

2. Compresseurs sélectifs ($a=1$; $0<b<1$)

Nous choisissons la droite $B=39$, $R=1/40$, $b=1$ comme référence et nous faisons diminuer b. Nous obtenons alors la famille de droites en traits fins, qui se déplacent vers le haut parallèlement à elles-mêmes, pour b variant entre 0,25 et 0,015.

Leurs dynamiques restent limitées par la droite de démarrage à 45°, limite 1, et la verticale à log $S_1=66$ dB, limite 2. La dynamique diminue avec b.

F. Exemple pratique du compresseur-niveleur

Après cet exposé théorique, on peut se demander: à quoi cela sert-il ? Entre autres applications possibles, on connaît des machines qui se proposent de transformer automatiquement le langage parlé en langage écrit. On peut les appeler phonétographes ou machines à écrire phonétiques. Pour résoudre ce genre de problème, il est utile, voire indispensable, de disposer d'un compresseur-niveleur, c'est-à-dire d'un compresseur sélectif qui nivelle les composantes d'amplitudes intéressantes, nommées formants et subformants, tout en respectant les spectres relatifs, de même que les transitoires. Ils ne doivent introduire aucune distorsion indésirable des spectres d'amplitudes ni de leurs transitoires. Mais les phonèmes à formants supérieurs relativement faibles, tels que m, n, doivent être amplifiés davantage que ceux, tels que a, j, i, qui ont des formants supérieurs relativement forts. Nous considérons deux compresseurs en cascade (voir *fig. 8*).

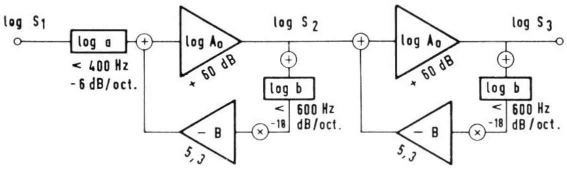

Fig. 8

Schéma logarithmique d'un exemple pratique de deux compresseurs sélectifs, ou niveleurs, en cascade (un signe + est sousentendu devant chaque triangle contenant log A_0)

La ligne de réaction de chaque compresseur comprend, à l'entrée, un filtre passe-haut qui affaiblit les composantes au-dessous de 600 Hz à raison de –18 dB/octave (atténuateur b). Devant le premier compresseur se trouve un filtre passe-haut, dont l'atténuateur a affaibli les composantes au-dessous de 400 Hz, à raison de –6 dB/octave.

Nous cherchons les transformations spectrales successives de 5 signaux représentant les phonèmes a, j, m, n, i, le spectre d'amplitude de chacun possédant 5 composantes (de fréquences) S_{11} (200 Hz), S_{12} (1000 Hz), S_{13} (2000 Hz), S_{14} (2500 Hz), S_{15} (3000 Hz).

Nous éliminons d'emblée l'effet de l'atténuateur a, qui n'affaiblit que la première bande de 200 Hz, en posant $a_1 = 0{,}5$, $a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 1$ et en diminuant log S_{11} de –6 dB. Les autres composantes S_{12} à S_{15} restent inchangées, et on admet a = 1 pour la suite.

Nous pouvons calculer les transformations spectrales en nous basant sur la figure 6, et sur les équations (25) et (34) à (38), avec les données suivantes pour chaque compresseur:

– Vitesse de réponse: plus grande que les variations des phénomènes à analyser
– Gain direct variable A: entre log 1 = 0 et log A_0 = 60 dB
– Gain de réaction B = 5,3; compression R = 1 : 6,3 = 0,158

  Atténuateur direct a = 1
– Atténuateur de réaction b_1 (200 Hz) = 0,045; $b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = 1$

$$\log S_3 \simeq R^2 \cdot \log S_1 + R \cdot \log A_o - \log b = \frac{1}{40} \cdot \log S_1 + \frac{60}{6{,}3} - \log b \qquad (43)$$

$$S_3 \simeq \frac{1}{b} \cdot S_1^{\,R^2} \cdot A_o^{\,R} = \frac{1}{b} \cdot S_1^{\,1/40} \cdot 60^{\,1/6{,}3} \qquad (44)$$

$$b = (b_1\, S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15}) : S_1$$

Les colonnes gauche et droite de la *figure 9* montrent les spectres de phonèmes a, j, m, n, i, avant et après la compression sélective. On constate que les niveaux de gain log A des phonèmes n, m ont augmenté de 34 dB, tandis que ceux de i, j, a, n'ont progressé que de 11,2 et 0 dB. Ainsi les formants supérieurs, par exemple autour de 3000 Hz, ont été nivelés en fonction de leur importance informationnelle. Mais les distributions spectrales internes sont restées inchangées.

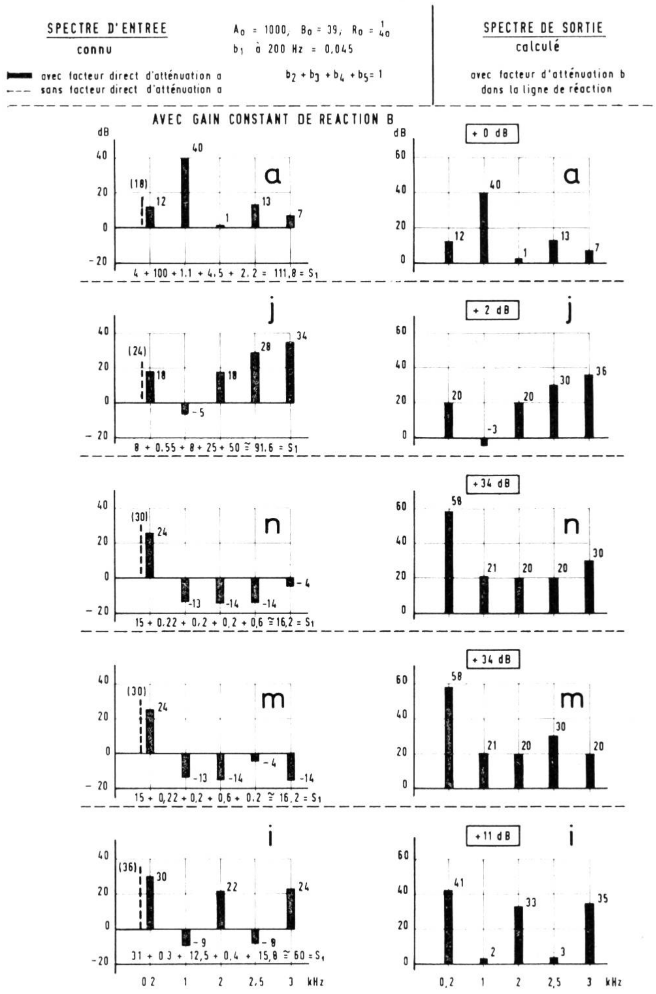

Fig. 9

Les spectres de sortie sont calculés à partir de l'équation (15) établissant le niveau du gain A direct du compresseur:

$$\log A = \frac{1}{1+B} \cdot \log a\, A_o - \frac{B}{1+B} (\log S_1 + \log b), \qquad (15)$$

avec a = 1

Si on choisit le niveau de gain log $A_a = 0$ pour le phonème a comme référence, on obtient les niveaux de gain relatifs log A_x –log A_a = log A_x pour d'autres phonèmes x, tels que j, m, n, i.

$$\boxed{\log A_x = \frac{B}{1+B} [(\log S_a - \log S_x) + (\log b_x - \log b_a)]} \qquad (45)$$

D'autre part, on connaît les équations suivantes:

$$S_1 = S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} = \sum S_{1n} \quad (21)$$

$$b = (b_1 \cdot S_{11} + b_2\, S_{12} + b_3\, S_{13} + b_4\, S_{14} + b_5 \cdot S_{15}) : S_1 \quad (26)$$

et on se donne les valeurs suivantes:

A_0 = 1000; log A_0=60dB; B=39; R_0=1/40=0,025; a=1

b_1 = 0,045; $b_2=b_3=b_4=b_5=1$; B:(1+B)=39:40=0,975

Canal n →	1.	2.	3.	4.	5.	
Fréquence (Hz)	200	1000	2000	2500	3000	
phonème						
a → S_a =	4+	100 +	1,1+	4,5+	2,2	=111,8
j → S_x =	8+	0,55+	8 +	25 +	50	= 91,6
n → S_x =	15+	0,22+	0,2+	0,2+	0,6	= 16,2
m → S_x =	15+	0,22+	0,2+	0,6+	0,2	= 16,2
i → S_x =	31+	0,3 +	12,5+	0,4+	15,8	= 60

Tableau des amplitudes d'entrée S_a et S_x résultant des composantes S_{1n}

phonèmes →	a	j	n	m	i	
S_x	111,8	91,6	16,2	16,2	60	
log S_x	41	39,3	24	24	35,6	dB
log S_a − log S_x	0	1,7	17	17	5,4	dB
b_x	1	0,973	0,116	0,116	0,485	
log b_x − log b	0	0,3	18,7	18,7	6	dB
log A_x	0	2	34	34	11	dB

Les valeurs calculées ci-dessus sont en accord avec les mesures obtenues à l'aide de compresseurs du Phonétographe.

G. Compresseurs et information

Les compresseurs permettent de détruire l'information parasite, indésirable, qui encombrerait les canaux de transmission et les mémoires, tout en sauvegardant l'intégrité de l'information utile et désirée.

On peut évaluer comme suit le facteur de compression R nécessaire et les économies d'information réalisables.

1. Compresseurs non sélectifs (à une composante)

Selon *Shannon*, la capacité d'information C_1 (bits/sec) d'un canal passant une bande de fréquences de largeur F (sec^{-1}), et permettant de discerner S_1 degrés d'amplitude 1, 2, 3,...S_1, entre une valeur minimum de référence $S_{min}=1$ et une valeur maximum $S_{max}=S_1$ est:

$$C_1 = 2F \cdot \overbrace{\log_2 S_1}^{\text{bit}} = 2F \cdot 0166 \cdot 20\overbrace{\log_{10} S_1}^{\text{dB}} \left(\frac{\text{bits}}{\text{sec}}\right) \quad (46)$$

Si S_1=1000 V, par exemple, on peut discerner 1000 degrés d'amplitude 1, 2, 3, jusqu'à 1000 V. Si nous désirons réduire ce grand nombre à un petit nombre $S_2:1=S_2$, tel que 2 ou 3, nous pouvons utiliser un compresseur et calculer le facteur de compression maximum admissible en utilisant l'équation (7), avec $A_0=1$, log $A_0=0$:

$$\log_2 S_2 = R \cdot \log_2 S_1 = R \cdot 0{,}166 \cdot 20 \log_{10} S_1, \quad (47)$$

d'où on tire

$$\boxed{R = \log_2 S_2 : \log_2 S_1 = 20 \cdot \log_{10} S_2 : 20 \cdot \log_{10} S_1} \quad (48)$$

et la capacité d'information est réduite à:

$$\boxed{\begin{aligned} C_2 = 2\,F \cdot \log_2 S_2 = R \cdot 2\,F \cdot \log_2 S_1 = \\ R \cdot 2\,F \cdot 0{,}166 \cdot 20 \log_{10} S_1 \end{aligned}} \left(\frac{\text{bits}}{\text{sec}}\right) \quad (49)$$

Exemple: $S_1 = 1000$, $S_2 = 2$, $\log_2 2 = 1$, $20 \cdot \log_{10} S_1 = 60$ dB, alors facteur de compression $R \leq 1:0{,}166 \cdot 60 = 1:10 = 0{,}1$

2. Compresseurs sélectifs, avec atténuateurs a (*direct*) *et* b (*réaction*):

En appliquant la formule (14) avec $A_0=1$, log $A_0=0$, a=1, on voit que le facteur de compression R se dégrade:

$$\boxed{\begin{aligned} R_1 \leq (\log_2 S_2 - 0{,}166 \cdot 20 \cdot \log_{10} b) : 0{,}166 \cdot \\ \cdot\, 20 \cdot \log_{10} S_1 \end{aligned}} \quad (50)$$

$$\boxed{C_3 \leq 2\,F\ (\log_2 S_2 - \log_2 b)} \quad (51)$$

Exemple: $S_1 = 1000$, $S_2 = 2$, $b = 0{,}116$, $\log b = -18{,}7$ dB (voir fig. 8, n)
alors $R_1 \leq (1 + 3{,}1) : 0{,}166 \cdot 60 = 1:2{,}44 = 0{,}41$
R s'est dégradé de 1:10 à 1:2,44, donc 4,1 fois. Il faut multiplier 1:10 par 1:2,44 et partir de $R_2 \leq 1:24{,}4$ pour maintenir la capacité C_2 désirée malgré l'atténuateur b de réaction

Ainsi le facteur de compression nécessaire est:

$$\boxed{R_2 = \frac{R^2}{R_1} \leq \frac{(\log_2 S_2)^2}{\log_2 S_1 (\log_2 S_2 - \log_2 b)}} \quad (52)$$

et si on désire $S_2 \leq 2$ degrés:

$$\boxed{R_2 \leq 1 : \log_2 S_1\ (1 - \log_2 b)} \quad (53)$$

H. Conclusions

Les compresseurs sélectifs ou niveleurs permettent de combiner divers avantages, tels que:

1. Diminution des constantes de temps, c'est-à-dire des temps d'établissement et de retour, puisque les amplitudes de fréquences basses sont contrôlées par celles de fréquences plus élevées. Le temps de retour peut être estimé à 10 fois l'inverse de la fréquence de coupure la plus basse, dans la ligne de réaction.

Exemple: Si cette fréquence est 500 Hz, le temps de retour du compresseur est 10:500 = 20 millisecondes. Ainsi le compresseur est plus rapide que les phénomènes quasi-stationnaires du langage parlé, qu'il doit niveler, et qui sont de l'ordre de 100 millisecondes.

2. Augmentation du gain de réaction B, donc diminution du facteur de compression R=1:(1+B), et amélioration des conditions de stabilité. Celles-ci sont en effet d'autant meilleures que le temps de réponse est plus bref.

Exemple: *B*= 39, *R* = 1:40 = 0,025, sans qu'il se produise d'auto-oscillations.

3. Destruction de l'information parasite qui encombrerait les canaux et mémoires, mais conservation fidèle de l'information utile.

Exemple: A l'aide de filtres appropriés, les 200 000 bits/sec d'une liaison radiophonique peuvent être réduits à 1000 bits/sec sans perte d'intelligence phonétique.

4. Suppression de la dynamique indésirable, telle qu'entre fortissimo et pianissimo, et remplacement par une dynamique désirable renforçant par exemple un phonème n par rapport à un phonème i, selon le but recherché, mais sans que les répartitions spectrales internes s'en trouvent perturbées.

5. Contribution à la discrimination de consonnes plosives, telles que p, k, t, car les constantes de temps de divers compresseurs peuvent être ajustées de manière à être plus ou moins rapides que les transitoires à distinguer.

Les lois physiques de ces phénomènes sont exposées à l'aide de schémas fonctionnels, logarithmiques, d'un nouveau genre, qui permettent de rattacher la représentation des compresseurs d'amplitudes à celle, universelle, des régulateurs cybernétiques.

Bibliographie

K. Küpfmüller: Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung, p. 333–337, 349, 362–367, Hirzel-Verlag 1952 (épuisé).

P. Naslin: Les régimes variables dans les systèmes linéaires et non linéaires, p. 1, 17, Dunod, Paris 1962.

J. Dreyfus-Graf: Phonétographe et subformants, Bulletin Technique PTT (Berne), No 2/1957 (avec liste de publications antérieures).

– Phonétographe: Présent et futur, Bulletin Technique PTT, (Berne), No 5/1961, p. 160 à 172.

– Phonetograph and Quantization of Sound Waves, Proceedings of the Speech Communication Seminar, Stockholm, August 1962, Vol. II, Sess. E.

– Eléments fondamentaux de la Théorie de l'Information et de la Cybernétique, Conférence du 16 nov. 1963, Université de Genève. A paraître dans les Cahiers Internationaux de Symbolisme, en 1964.

– Phonetograph und Technische Lautschrift. Sprache und Schrift im Zeitalter des Kybernetik, Verlag Schnelle, Quickborn bei Hamburg 1963.

Adresse de l'auteur: *Jean Dreyfus-Graf*, Laboratoire de Cybernétique, 47, rue du 31 Décembre, 1200 Genève

Verschiedenes – Divers – Notizie varie

Un nouveau train de reportage moderne pour la Télévision Romande

621.397.6-182.3

La Société suisse de radiodiffusion et de télévision (SSR) a organisé le 14 avril à Genève une journée d'information, en commun avec l'entreprise des PTT. La télévision présenta quatre des films de court métrage qu'elle a réalisés pour l'Expo 64 «La Suisse du XX^{e} siècle» et M. *R. Schenker*, directeur adjoint de la Télévision Suisse, informa les nombreux journalistes des différentes questions que posent les programmes de la Télévision Romande.

Fig. 1

Les deux véhicules composant le nouveau train de reportage de la Télévision Romande. En arrière-plan les trois voitures auxiliaires pour le matériel, l'éclairage, le décor, etc.

Pour sa part, l'entreprise des PTT remit à cette occasion à la Télévision Romande, en présence des correspondants des journaux de la Suisse romande,

un nouveau train de reportage moderne

appelé à remplacer l'installation mise à disposition en 1954, qui a servi à plus de 1100 émissions.

Les nombreux appareils nécessaires à la retransmission des images et du son – provenant de huit pays différents – ont été montés sur deux véhicules d'un type qui a déjà fait ses preuves pour les cars alpins: le premier contient les appareils vision avec la cabine de contrôle du technicien vidéo, tandis que le second transporte l'équipement sonore et comprend trois cabines pour la production avec régie de l'image, régie du son et régie des commentaires. Lorsqu'ils sont en exploitation, les deux véhicules sont reliés par six câbles à usage multiple. La répartition des appareils a été dictée avant tout par des considérations routières: un seul véhicule aurait en effet été trop lourd et encombrant pour les chaussées étroites et escarpées. Chaque véhicule pèse 11 tonnes et mesure 8,1 m de long.

D'un coût d'environ 1,5 million de francs, cette installation (construite en Suisse) a été spécialement conçue pour les grandes réalisations hors studio. Elle permet de produire, avec les méthodes de travail du studio, des programmes à partir de n'importe quelle salle, tout en demeurant assez souple pour retransmettre des événements locaux sous la forme de reportages habituels. Des émissions intéressant l'ensemble de la Suisse peuvent être commentées en trois langues selon la technique en usage pour l'Eurovision, grâce à un équipement sonore incorporé. Trois caméras sont employées en service normal, une quatrième pouvant l'être sans difficulté dans les cas spéciaux. L'équipement vision comprend également un lecteur pour films de 16 mm. Quant à l'équipe-