

EINFLUSS VIELKANALIGER INHIBITION AUF DIE SPRACHE

Thomas Beckenbauer
 Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

1. Einleitung

Die Aufnahme oder Wiedergabe von Sprachschall erfolgt oft bei gleichzeitig vorhandenen Nebengeräuschen, die auch dann stören, wenn sie geringer sind als der Nutzschaall. Im folgenden wird das Konzept für ein Gerät vorgestellt, das Störanteilen im Gesamtschall entgegenwirkt.

Die Wirkung beruht auf der Erhöhung des spektralen Kontrastes des Eingangssignals. Relative Minima im Eingangssignalspektrum werden gegenüber energiereicheren Spektralanteilen weiter abgesenkt. Geht man davon aus, daß die Maxima in der spektralen Hüllkurve gleichzusetzen sind mit den informationstragenden Frequenzanteilen, wird eine Vergrößerung des Signal/Störabstandes bei gleichzeitigem Erhalt der Information und Verringerung der Gesamtlautheit erzielt. Aus diesem Grund ist ein Einsatz dieses Prinzips bei Hörhilfen besonders interessant.

Derartige, kontrastverstärkende Mechanismen sind in der Natur bei Sinnesorganen zu finden. Sie bewirken die Wahrnehmbarkeit sehr kleiner Reizänderungen. Der Vorgang wechselseitiger Beeinflussung bzw. Hemmung findet auf unterschiedlichen Verarbeitungsebenen statt, z.B. der Ebene benachbarter, den Sinneszellen nachgeschalteter Neurone oder höherer neuronaler Schaltstationen. Er wird allgemein als **laterale Inhibition** bezeichnet /1/.

2. Technisches Prinzip

Reichhardt und McGlittie haben verschiedene Möglichkeiten der lateralen Inhibition vorgestellt /1/. Eine davon wurde als Vorlage für das hier gezeigte Netzwerk gewählt: Vorwärtsinhibition mit Differenzbildung. Die technische Anwendung des Prinzips der lateralen Inhibition bedingt eine **mehrkanalige** Verarbeitung des Eingangssignals. Da es in dem vorliegenden Gerät auf das **Spektrum** des Eingangssignals angewendet werden soll, besteht die Mehrkanaligkeit in einer Anzahl von Bandpässen, die den Sprachfrequenzbereich von 150 Hz bis 6,4 kHz in 18 frequenzgruppenbreite Teilfrequenzbereiche auftrennen. Der 18-kanaligen Filterbank folgt ein Netzwerk aus 18 einzelnen, gleichartig gebauten Inhibitionszellen. Eine davon ist in Fig.1 detailliert dargestellt. Die Ausgangswechselsignale der Inhibi-

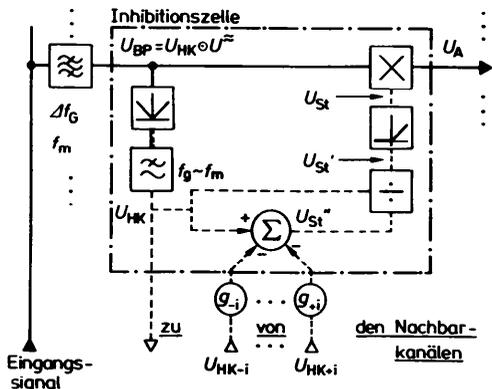


Fig.1: Blockschaltbild einer Inhibitionszelle. Es gilt:

$$\begin{aligned}
 &U_{HK} \geq 0; \\
 &U_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 U_{HK \pm i} \geq 0 \\
 &\text{mit } i=1,2,3,4; \\
 &U_{St}'' = U_{HK} - U_{\Sigma}; \\
 &U_{St}' = U_{St}'' / U_{HK} \leq 1; \\
 &0 \leq U_{St} = \max(0; 1 - U_{\Sigma}' / U_{HK}) \leq 1; \\
 &U_A = U_{BP} \cdot \max(0; 1 - U_{\Sigma}' / U_{HK});
 \end{aligned}$$

—————: Wechselsignalpfad;
 - - - - -: Gleichsignalpfad.

tionszellen werden schließlich einem Addierverstärker zugeführt, dessen Summensignal hörbar gemacht werden kann.

Zwischen die Bandpaßausgänge und die Ausgänge der Inhibitionszellen geschaltete steuerbare Dämpfungsglieder bilden die Grundlage für den Inhibitionsvorgang. In Fig.1 ist es rechts oben als Multiplizierer eingezeichnet. Als Steuergröße dient die Summe der paarweise zwischen der Hüllkurve des Bandpaßausgangssignales eines betrachteten Kanals und den Hüllkurvensignalen von benachbarten Kanälen gebildeten Differenzen. Ist die Summe groß, passiert das Bandpaßsignal die Inhibitionszelle nahezu ungedämpft. Ist sie klein, wird das Bandpaßsignal gedämpft. Die Dämpfung beträgt maximal 50 dB. Das Maß des Einflusses eines Nachbarkanals auf einen betrachteten Kanal kann durch einen zwischen 0 und 1 einstellbaren Faktor, mit dem das Nachbarhüllkurvensignal bewertet wird, verändert werden. Er wird als Inhibitionsgewicht bezeichnet. Da mehrere Nachbarkanäle berücksichtigt werden können, entsteht eine ganze Matrix veränderbarer Gewichte, die sogenannte **Inhibitionsmatrix**. Derzeit ist die Vermaschung eines Kanals mit maximal je vier Nachbarkanälen nach höheren und tieferen Frequenzen möglich. Die Belegung der zugehörigen Inhibitionsmatrix kann von einem Rechner aus vorgenommen werden.

In die Differenzbildung sind nur Größen einbezogen, die signalflußmäßig vor dem Dämpfungsglied liegen, also keine rückgekoppelten Größen. Das auf diese Weise realisierte System der **Vorwärtsinhibition mit Differenzbildung** bleibt dadurch immer stabil. Das aufgebaute Inhibitionsnetzwerk arbeitet ausschließlich mit analogen Schaltungen, wodurch Echtzeitbetrieb und Eingriffsmöglichkeiten auf allen Signalverarbeitungsstufen gewährleistet sind. Ein ähnliches Netzwerk wurde erstmals 1962 von Zwicker als Bestandteil eines Funktionsmodells des Gehörs vorgestellt /2/.

3. Inhibitionsvorgang

Wie Fig.1 zeigt, wird aus dem Bandpaßausgangssignal U_{BP} mit Hilfe eines Zweiweggleichrichters und eines Tiefpasses das Hüllkurvensignal U_{HK} gewonnen. Das Bandpaßausgangssignal selbst wird multiplikativ mit einem Steuersignal U_{St} bewertet, das Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann und sich entsprechend den Hüllkurvenverhältnissen zwischen betrachtetem Kanal und benachbarten Kanälen verändert. Am Ausgang einer Inhibitionszelle steht demnach das Bandpaßausgangssignal mit der ursprünglichen, oder verminderter Amplitude zur Verfügung. Es findet also eine Bedämpfung des signalschwächeren Kanals, aber keine Verstärkung des signalstärkeren Kanals statt. Übersteuerungen werden so vermieden.

In einer Addierstufe werden paarweise die Differenzen zwischen der Hüllkurve des betrachteten Kanals und der gewichteten Hüllkurve des i -ten Nachbarkanals höherer Mittenfrequenz (+) bzw. des i -ten Nachbarkanals tieferer Mittenfrequenz (-) gebildet. Die paarweise Differenzbildung kann vereinfachend durch die Differenz der Hüllkurve des betrachteten Kanals mit der Summe der gewichteten Nachbarhüllkurvensignale U_C dargestellt werden.

Das Steuersignal U_{St}^* ist aussteuerungsabhängig. Bei gleichbleibendem Verhältnis zweier Hüllkurvensignale nimmt die Differenz der beiden Hüllkurvensignale zu, wenn die Aussteuerung vergrößert wird. Dieser unerwünschte Effekt wird durch Normierung des Steuersignals U_{St}^* auf die Hüllkurve des betrachteten Kanals behoben. Wenn das Summensignal U_C groß genug ist, kann das Steuersignal U_{St}^* unzulässige, negative Werte annehmen. Deshalb ist ein Einweggleichrichter nachgeschaltet.

4. Spektrale Wirkung

Ein Beispiel für eingeschwingene, zeitlich stationäre Schalle zeigt die Inhibitionswirkung auf einen 18-Ton-Komplex mit zwei spektralen Maxima. Die Töne liegen jeweils in der Mitte der dazugehörigen Kanäle. Die Pegelabnahme nach beiden Sei-

ten der Maxima beträgt 3 dB/Kanal. Die Inhibitionsmatrix ist auf allen Plätzen gleichmäßig mit dem Gewicht $g_{\pm 1}$ belegt. In Fig.2a ist das Eingangssignalspektrum dargestellt, in Fig.2b und c die Ausgangssignalspektren für zwei verschiedene Gewichte $g_{\pm 1}$. Der Pegelunterschied der Sinustöne führt zu einer Verringerung der Pegel der schwächeren Töne. Die Inhibition bewirkt also kein völliges Abschalten der signalschwächeren Kanäle, sondern eine von der Höhe des eingestellten Gewichtes $g_{\pm 1}$ abhängige Verringerung.

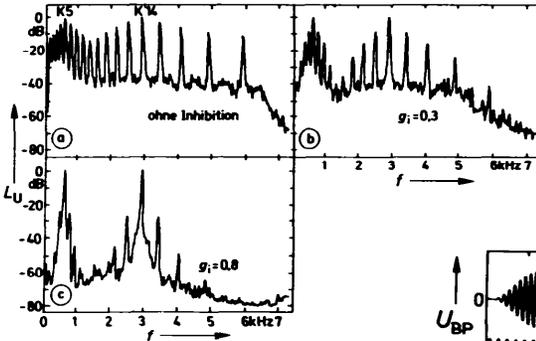


Fig.2: Spektren des Summenausgangssignals für einen 18-Ton-Komplex mit 2 Maxima: (a) ohne Inhibition, (b) Inhibitionsmatrix auf allen Plätzen mit Gewicht $g_{\pm 1}=0,3$ belegt, (c) wie (b) mit $g_{\pm 1}=0,8$.

5. Zeitliche Wirkung

Eine wichtige Rolle für die Inhibitionswirkung spielt das Zeitverhalten. Verzögerungen treten vor allem durch das Einschwingen der Bandfilter auf. Für die Bildung des Steuersignals mußte größtmögliche Geschwindigkeit gefordert werden, damit kurzzeitig auftretende Sprachmerkmale mit Anteilen bei hohen Frequenzen, wie Plosive oder Zischlaute, ebenfalls eine inhibitorische Wirkung ausüben können. Deshalb sind die Grenzfrequenzen bzw. die Einschwingzeiten der Tierpässe der Frequenzlage der dazugehörigen Kanäle angepaßt.

Zur Dokumentation des Zeitverhaltens ist in Fig.3 die inhibitorische Wirkung eines rechteckförmig modulierten Sinustones mit der Mittenfrequenz von Kanal 10 auf einen Sinusdauer-ton mit halber Amplitude und der Mittenfrequenz von Kanal 7 dargestellt. Die beiden Kanäle sind wechselseitig vermascht, d.h. Kanal 10 wirkt auf Kanal 7 und umgekehrt. Die beiden Gewichte (g_{+3} , g_{-3}) sind jeweils gleich groß. Solange der Ton in Kanal 10 eingeschaltet ist, wird die Amplitude des Tones in Kanal 7 reduziert. In den in Kanal 10 auftretenden Signalpausen kehrt die Amplitude des Tones in Kanal 7 auf ihren ursprünglichen Wert zurück.

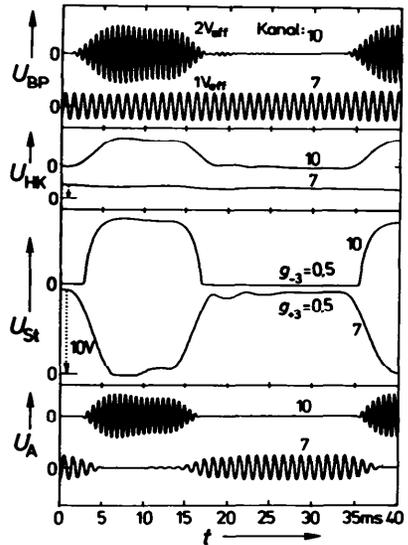


Fig.3: Zeitverläufe vier verschiedener Signale in den Inhibitionszellen der Kanäle 7 und 10. Das Eingangssignal setzt sich aus einem rechteckmodulierten Ton und einem Dauerton halber Amplitude zusammen. Die Frequenzen der beiden Töne entsprechen mit 970Hz und 1570Hz den Mittenfrequenzen der Kanäle 7 und 10. Vermaschung der beiden Kanäle gegenseitig mit Gewicht $g_{\pm 3}=0,5$. Bezeichnungen der Signale wie in Fig.1.

5. Auswirkung auf Sprache

Für ein Sprachsignal, das Wort "Bundespräsident", und dem zusätzlich dargebotenen Störsignal, einem Rechteckpuls mit 140 Hz Folgefrequenz und 50 μ s Impulsdauer, sind in Fig.4a die Hüllkurven der 18 Bandpaßsignale für das Sprachsignal alleine und in Fig.4b für das Sprachsignal mit zugesetztem Störschall dargestellt. Die Wirkung der Inhibition zeigt sich in Fig.4c, in der die Hüllkurven der Ausgangssignale der 18 Inhibitionszellen aufgezeichnet sind. Die Inhibitionszellen lassen im wesentlichen nur diejenigen Bandpaßsignale unverändert, die informationsrelevante Spektralanteile enthalten. Die übrigen Bandpaßsignale werden stark gedämpft.

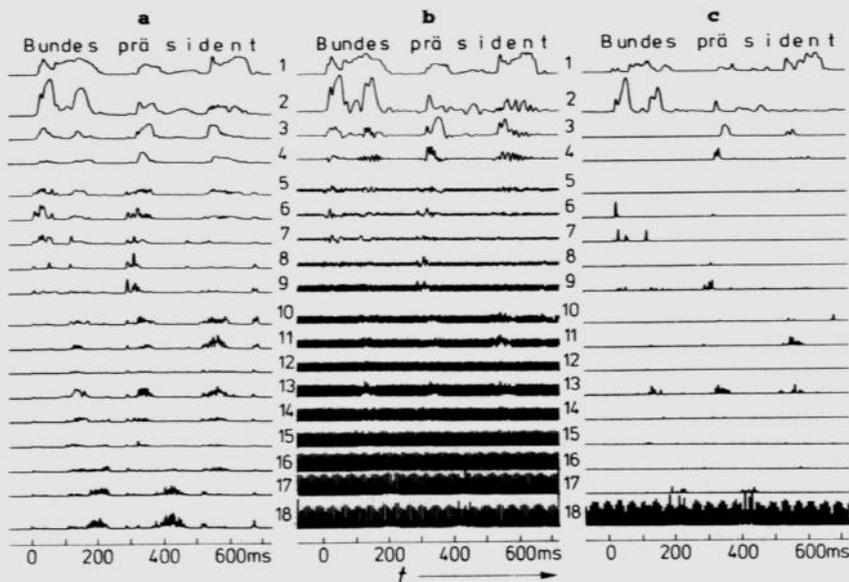


Fig.4: (a) Hüllkurvensignale U_{HK} der 18 Kanäle für das Wort "Bundespräsident", (b) wie links, jedoch zusätzlich mit einem 140 Hz Rechteckpuls (Impulsdauer 50 μ s) als Störsignal, (c) Hüllkurven der Zellenausgangssignale U_A für das Testwort mit Störsignal bei wirksamer Inhibition (siehe Text).

Die Inhibitionsmatrix ist für dieses Beispiel pro Kanal mit den Gewichten

0,0135; 0,045; 0,15; 0,5; 1; 0,5; 0,15; 0,045; 0,0135;

ausgehend von einem betrachteten Kanal, der mit dem Gewicht 1 berücksichtigt wird, belegt. Das Gewicht 0,5 ist den unmittelbar benachbarten Kanälen zugeordnet, weshalb diese auf den betrachteten Kanal den größten Einfluß haben. Um Intensitätsungleichgewichte auszugleichen, wurden alle Gewichte mit einem Faktor multipliziert, der dem Verhältnis der Bandbreiten von betrachtetem und jeweiligem Nachbarkanal entspricht. Eine akustische Demonstration verdeutlicht die Wirkung.

Literatur

- /1/ Reichardt, W. und McGinitie, G., Zur Theorie der lateralen Inhibition. Kybernetik 1, Heft 4, 155, 1962
- /2/ Zwicker, E., Über ein einfaches Funktionsschema des Gehörs. Acustica 12, 22, 1962