



(12) PATENT

(19) NO

(11) 316577

(13)B1

NORGE

(51) Int Cl⁷

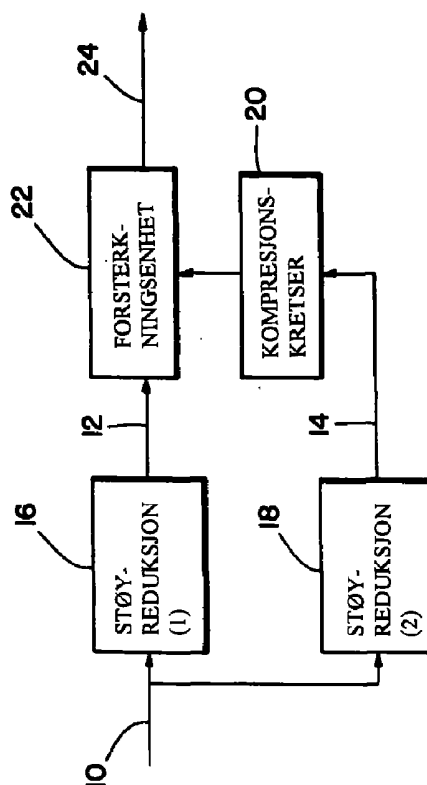
H 04 R 25/00

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19995011	(86)	Innt.inng.dag og søknadsnr	1998.04.16 PCT/CA9800331
(22)	Inng.dag	1999.10.14	(85)	Videreføringsdag	1999.10.14
(24)	Løpedag	1998.04.16	(30)	Prioritet	1997.04.16, US, 41991
(41)	Alm.tilgj	1999.12.10			
(45)	Meddelt	2004.02.23			
(71)	Søker	DSPFactory Ltd, 611 Kumpf Drive, Unit 200, Waterloo, ON N2V 1K8, Canada			
(72)	Oppfinner	Robert Brennan, 42 Forest Breeze Court, Kitchener, ON N2N 3H9, Canada			
(74)	Fullmektig	Zaceo Norway AS, Postboks 765 Sentrum, OSLO, 0106, Norge			

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte og anordning for støyreduksjon, spesielt i høreapparater
(56)	Anførte publikasjoner	Ingen
(57)	Sammendrag	

Denne oppfinnelse innebærer en praktisk utførelse av støyreduksjon i høreapparater. Skjønt lytting under støyende forhold er vanskelig for personer med normal hørsel, har mennesker med svekket hørsel ytterligere vanskeligheter under slike forhold. Under forhold med svak støy forsterker vanlige høreapparater inngangssignalet i tilstrekkelig grad til å overvinne hørselstapet. For et typisk tiltagende hørselstap hvor det foreligger nedsatt følsomhet for høye frekvenser, vil graden av fremheving (eller forsterkning) øke med frekvensen. Som oftest foreligger følsomhetstapet bare for lavnivåsignaler, mens høynivåsignaler bare påvirkes i liten grad eller ikke i det hele tatt. Et kompresjons-høreapparat er da i stand til å kompensere ved automatisk å senke forsterkningen etter hvert som inngangs-signalnivået øker. Denne kompresjons-virkning er vanligvis gjenstand for kompromiss under forhold med sterk støy. Vanligvis er hørselsapparater til mindre nytte under støyforhold, da både støy og tale fremheves sammen, mens det som virkelig trengs er en reduksjon av støy i forhold til tale. En støyreduksjons-algoritme med det dobbelte formål å fremheve tale i forhold til støy, samt også å frembringe et relativt rent signal for kompresjonskretsene, er da beskrevet.



Foreliggende oppfinnelse gjelder støyreduksjon i audiosignaler eller andre signaler, og gjelder spesielt støyreduksjon i digitale høreapparater.

I støyende omgivelser er personer med hørselssvikt sterkt hemmet sammenlignet med folk som har normal hørsel. Som en følge av redusert cochlea-funksjon, vil personer med svekket hørsel vanligvis i meget mindre grad være i stand til å skjelne mellom meningsfull tale og konkurrerende lydbilder (hvilket vil si støy). Den økede oppmerksomhet som er nødvendig for å forstå tale leder raskt til lyttetretthet. Vanlige høreapparater er dessverre i liten grad i stand til å avhjelpe dette problem, da både tale og støy fremheves i samme grad.

I en artikkel av Sheikhzadeh et al., "Comparative Performance of Spectral Subtraction and HMM Based Speech Enhancement Strategies with Application to Hearing Aid Design", Proceedings of the International Conference on Acoustics, tale, signalbehandling (ICASSP), bind 1, s. I-13 til I-16 (IEEE, 19. april 1994), er det beskrevet et opplegg for støyundertrykkelse ved grunnleggende spektralsubtraksjon, samt forskjellige HMM-støyreduksjonsopplegg. Denne elementære spektralsubtraksjon eller Wiener-filtrering nedsetter teoretisk støyeffekten i forhold til tale. Denne støyundertrykkelsesmetode omfatter utførelse av en FFT på hver rammegruppering i det innkommende støyende signal for å anslå det støybelastede talespektrum. Et anslått støyspektrum oppdateres under perioder uten tale-aktivitet ved hjelp av en autokorrelasjons-basert stemme- og tonehøydedetektor (hvilket vil si at i det tilfellet ingen tale kan påvises, antas signalet å være støy). Et Wiener-filter i frekvenskontrollområdet er konstruert ut i fra det antatte tale- og støyspektrum og anvendes for å oppnå et støyreduisert eller forbedret signal (etter en invers FFT-transformasjon). Dette og andre opplegg som er beskrevet i referansen til Sheikhzadeh et al. kan imidlertid i praksis fremdeles føre til støynivåer som ikke kan godtas i utgangssignalet. Disse opplegg lider videre også av musikkstøy-fenomenet så vel som av degradering av det støyreduerte signals oppfatningskvalitet.

I tillegg vil kompresjonsalgoritmer som anvendes i visse høreapparater fremheve lavnivåsignaler i større grad enn høynivåsignaler. Dette fungerer godt ved lavstøysignaler ved å fremheve spor av lavnivåtale til hørbart nivå. En ulempe i sammenheng med tidligere kjente hørselshjelpetstyr og som går ut på å behandle inngangssignaler ved bruk av både støyundertrykkelse og signalkompresjon, er at kompresjonen bare virker i moderat grad ved høye støynivåer, da kompressorens virkning i uheldig grad påvirkes av støyen og da bare fremhever støynivået. For

personer som ofte arbeider i omgivelser med høy lyd, kan dette føre til resultater som ikke kan godtas.

- Foreliggende oppfinnelse gjelder en dobbelt tilnærming til forbedret lydkvalitet under forhold med høy støy og dets praktiske utførelse i et høreapparat. I et aspekt fjerner foreliggende oppfinnelsesgjenstand støy fra inngangssignalet og styrer et kompresjonstrinn med et renere signal, sammenlignet med bruk av det opprinnelige støyfylte inngangssignal for regulering av kompresjonen, slik som ved tidligere kjent teknikk. Signalet som skal forsterkes blir eventuelt behandlet med en forskjellig støyreduksjonsalgoritme. Under visse forhold kan det være ønskelig å bruke samme støyreduksjonssignal, påføring og kompresjonsstyring, og i dette tilfellet kan de to støyreduksjonsblokker gå sammen til en. I et annet tilfelle kan det være ønskelig å bruke forskjellige støyreduksjonsalgoritmer i hver signalbane.
- Det er imidlertid klart at støyreduksjon ikke er egnet for alle lyttesituasjoner. Enhver situasjon hvor et ønsket signal vil kunne forveksles med støy, er problematisk. Disse situasjoner omfatter signaler som ikke er talesignaler, slik som musikk. En fjernstyring eller høreapparat-regulator vil vanligvis være anordnet for innkobling eller utkobling av støyreduksjon.
- Foreliggende oppfinnelse er basert på den erkjennelse at det som er påkrevet er en teknikk for å fremheve tale eller annen ønsket lydkilde, samtidig som ikke støyen fremheves eller i det minste reduserer den grad av fremheving som støyen utsettes for. I samsvar med et første aspekt ved foreliggende oppfinnelse er det frembrakt en fremgangsmåte for å redusere støy i et inngangssignal (10), hvor nevnte inngangssignal (10) inneholder tale samt har rette signal/støyforhold, idet metoden omfatter følgende prosessstrinn: (a) påvisning av nærvær og fravær av tale, (b) i fravær av tale å anslå et støystyrkespektrum ($|\hat{N}(f)|$); (c) i nærvær av tale, sammenligning av inngangssignalets styrkespektrum ($|X(f)|$) med det anslåtte støystyrkespekteret ($|\hat{N}(f)|$), karakterisert ved at fremgangsmåten videre omfatter følgende prosessstrinn: (d) beregning av en svekningsfunksjon ($H(f)$) ut ifra inngangssignalets styrkespektrum ($|X(f)|$) og det anslåtte støystyrkespektrum ($|\hat{N}(f)|$), hvor svekningsfunksjonen ($H(f)$) er avhengig av signal/støyforholdet og (e) modifisering av inngangssignalet (10) ved hjelp av svekningsfunksjonen ($H(f)$) for derved å frembringe et støyreduisert signal (12, 14) hvori det ikke forekommer noen vesentlig modifikasjon av inngangssignalet (10) for meget lave og for meget høye signal/støyforhold.

Fremgangsmåten omfatter fortrinnsvis prosessstrinn som går ut på (f) tilførsel av inngangssignalet (10) til en forsterkerenhet (22), (g) overføring av det støyreduerte signal (14) til en kompresjonskrets (20) som genererer et regulerings-inngangssignal for forsterkerenheten (22), og (h) regulering av forsterkerenheten (22) ved hjelp av regulerings-signalet for derved å modifisere inngangssignalet (10) til å danne et utgangssignal (24) med kompresjon og redusert støy. Alternativt kan trinn (f) videre innbefatte en hovedstøyreduksjonsenhet (16) for å utsette inngangssignalet (10) for en hovedstøyreduksjonsalgoritme (16) for fremstilling av et hovedstøyredusertsignal (12) og levering av hovedstøyredusertsignalet (12) til forsterkningsenheten (22).

I en utførelse omfatter hovedstøyreduksjonsenheten (16) den samme støyreduksjonsmetode som den som anvendes i den ekstra støyreduksjonsenheten (18). I en annen utførelse innbefatter hovedstøyreduksjonsenheten (16) en støyreduksjonsalgoritme som er forskjellig fra den støyreduksjonsmetode som benyttes i den ekstra støyreduksjonsenheten (18).

Kvadratet av det anslåtte talestyrkespektrum ($|\hat{S}(f)|$) kan hensiktsmessig bestemmes ved å subtrahere kvadratet av det anslåtte støystyrkespektrum ($|\hat{N}(f)|$) fra kvadratet av styrkespekteret for inngangssignalet ($|X(f)|$). I en foretrukket utførelse er svekningsfaktoren en funksjon av frekvens og beregnes fra følgende ligning:

$$H(f) = \left[\frac{|X(f)|^2 - \beta |\hat{N}(f)|^2}{|X(f)|^2} \right]^\alpha$$

hvor f angir frekvens, $H(f)$ er svekningsfunksjonen, $|X(f)|$ er styrkespekteret for det innkommende audiosignal, $|\hat{N}(f)|$ er det anslåtte støystyrkespektrum, β er en over-subtraksjonsfaktor og α er en svekningsmålestokk, hvor α og β velges slik at det oppnås en ønsket svekningsfunksjon. Over-subtraksjonsfaktoren β varieres fortrinnsvis som en funksjon av signal/støyforholdet, hvor β er null for høye og lave signal/støyforhold, idet β økes etter hvert som signal/støyforholdet øker over null til en maksimalverdi ved et forut bestemt signal/støyforhold samt reduseres for høyere signal/støyforhold til verdien null ved et andre forut bestemt signal/støyforhold som er større enn det første forut bestemte signal/støyforhold.

Fortrinnsvis divideres over-subtraksjonsfaktoren β med en fremhevningsfunksjon av frekvensen $P(f)$ for å gi en modifisert oversubtraksjonsfaktor $\beta(f)$, idet fremhevningsfunksjonen er slik at β reduseres ved høye frekvenser for å redusere svekningen ved høye frekvenser.

Svekningsfaktorens verdi reguleres fortrinnsvis for å hindre plutselige og raske forandringer i svekningsfaktoren, og beregnes fortrinnsvis ut i fra følgende ligning hvor $G_n(f)$ er en utglattet svekningsfunksjon av frekvensen ved den n -te tidsramme:

10

$$G_n(f) = (1 - \gamma) H(f) + \gamma G_{n-1}(f)$$

Oversubtraksjonsfaktoren β kan være en funksjon av oppfatningsforvrengning.

15 Fremgangsmåten kan omfatte fjernpåslag og -avslag av støyundertrykkelsen. Fremgangsmåten kan omfatte automatisk utkobling av støyreduksjonen i nærvær av meget svak støy eller ytterst vanskelige omgivelser.

20 Fremgangsmåten kan omfatte detektering av tale med en modifisert autokorrelasjonsfunksjon og som omfatter (1) uttak av en inngangsstikkprøve (50) og oppdeling av denne i korte blokker samt lagring av blokkene i korrelasjonsbuffere (52), (2) korrelering av blokkene med hverandre for derved å danne delkorrelasjoner (56), og (3) summering av delkorrelasjonene for å oppnå en endelig korrelasjon (58).

25 Fremgangsmåten kan alternativt omfatte bestemmelse av nærvær av tale ved å ta ut en signalblokk fra utgangssignalet og utføre en autokorrelasjon på denne blokk for å danne et korrelert signal, samt utprøvning av det korrelerte signal for å ettersøke nærvær av et periodisk signal med en tonehøyde som tilsvarer tonehøydenivået for tale.

30 I et ytterligere aspekt tilveiebringer den foreliggende oppfinnelsen en anordning for å redusere støy i et inngangssignal (10), hvilken anordning innbefatter en inngang for å motta inngangssignalet (10), hvor anordningen innbefatter: (a) en kompresjonskrets (20) for å motta et kompresjonsstyringssignal og å fremstille et forsterkningsstyringssignal som reaksjon; (b) en forsterkningsenhet (22) koblet til inngangen og kompresjonskretsen (20) for å motta inngangssignalet (10) og forsterkningsstyringssignalet og å fremstille et utgangssignal (24) med kompresjon og redusert støy; kjennetegnet ved at anordningen videre innbefatter: (c) en

tilleggsstøyreduksjonsenhet (18) forbundet med inngangen og kompresjonskretsen (20) for fremstilling av et tilleggsstøyreduisert signal (14), idet kompresjonsstyringssignalet er tilleggsstøyreduisert signalet.

- 5 Anordningen kan videre innbefatte en hovedstøyreduksjonsenhet (16) forbundet med inngangen og forsterkningsenheten (22) for å fremstille et støyreduisert signal (12) som leveres til forsterkningsenheten (22) i stedet for inngangssignalet (10).

Fortrinnsvis inneholder inngangssignalet (10) tale og hovedstøyreduksjonsenheten
 10 omfatter da (1) en detektor (34) som er koblet til nevnte inngang og frembringer et deteksjonssignal som angir nærvær av tale, (2) styrkeutstyr (36) for å bestemme styrkespekteret for inngangssignalet ($|X(f)|$), idet både detektoren (34) og styrkeutstyret (36) er koblet til apparatets inngang, (3) spektralanslagsutstyr (38) for å generere et anslått støystyrkespektrum ($|\hat{N}(f)|$) og som er koblet til detektoren (34) samt til
 15 apparatets inngang, (4) en støyfilterberegningssenheter (40) som er koblet til spektralanslagsutstyret (38) og styrkeutstyret (36) for å motta det anslåtte støystyrkespektrum ($|\hat{N}(f)|$) og styrkespekteret for inngangssignalet ($|X(f)|$) og beregne en svekningsfunksjon ($H(f)$), og (5) en multipliseringsenhet (42) som er koblet til støyfilterberegningssenheter (40) og inngangssignalet (10) for å frembringe det
 20 støyreduiserte signal (12).

For en bedre forståelse av foreliggende oppfinnelse og for klarere å vise hvorledes den kan utføres i praksis, vil det nå som eksempel bli henvist til de vedføyde tegninger, hvorpå:

25 Figur 1 viser et prinsipielt blokkskjema for støyreduksjon og kompresjon i et høreapparat,

Figur 2 viser et detaljert blokkskjema for støyreduksjon i et høreapparat, og

30 Figur 3 angir et modifisert autokorrelasjonsskjema for utførelse i avsnitt.

Det skal først henvises til figur 1, hvor det er skjematisk vist en grunnleggende strategi som utnyttes i henhold til foreliggende oppfinnelse. En inngang 10 for et støyende
 35 signal er oppdelt i to signalbaner 12 og 14. I den øvre bane 12 finner støyreduksjon sted som angitt ved blokk 16. I den nedre bane finner støyreduksjon sted i enheten 18. Støyreduksjonsenheten 18 frembringer da et renere signal som påtrykkes

kompresjonskretsene 20, idet disse kompresjonskretser styrer forsterkningsenheten 22 som forsterker signalet i den øvre signalbane for å frembringe et utgangssignal ved 24.

Innføringen av støyreduksjonsenheten 18 kan her fordelaktig frembringe et renere signal for å styre kompresjonstrinnet. Støyreduksjonsenheten 18 er utstyrt med et første genereringsmiddel som frembringer et ekstra signal ut i fra en ekstra støyreduksjonsalgoritme. Denne ekstra algoritme som utføres av enheten 18, kan være den samme som den som utføres av enheten 16, bortsett fra forskjellige parametere. Da det ekstra støyreduerte signal ikke høres, kan enheten 18 redusere støy med øket innsats. Dette ekstrasignal regulerer i sin tur kompresjonskretsene 20, som omfatter et andre genereringsmiddel for å frembringe et styrende inngangssignal for å regulere forsterkningsenheten 22.

Støyreduksjonsenheten 16 er valgfri og kan frembringes ved bruk av en støyreduksjonsalgoritme som er forskjellig fra den som benyttes i støyreduksjonsenheten 18. Hvis samme algoritme anvendes i begge støyreduksjonsprosesser 16 og 18, så kan de to signalbaner forenes i en og samme bane før den deles opp for å gå inn i enhetene 20 og 22 som bemerket kan støyreduksjonen i den øvre banen endres eller elimineres.

Det skal nå henvises til figur 2, som viser et blokkskjema for en spesiell utførelse av den foreslåtte støyreduksjonsteknikk som fortrinnsvis utføres av støyreduksjonsenheten 18 (samt eventuelt også støyreduksjonsenheten 16). Det innkommende signal ved 10 blir først oppdelt i blokker og påført vinduer, slik det er beskrevet i detalj i søkernes samtidig inngitte internasjonale søknad nr. PCT/CA98/00329 tilsvarende internasjonal publikasjon nr. WO98/47313. Det blokkoppdelte og vinduspåførte utgangssignal utgjør inngangssignal til en frekvenstransformasjon (alle disse funksjonstrinn finner sted ved 32, slik som angitt), som her fortrinnsvis er en diskret Fourier transformasjon (DFT) for å frembringe et signal $X(f)$. Foreliggende oppfinnelse er imidlertid ikke avgrenset til en DFT og andre transformasjoner kan også anvendes. En hurtig måte å iverksette en DFT med små restriksjoner på transformasjonens omfang, er som kjent den raske Fourier transformasjon (FFT). Inngangen 10 er også tilkoblet en taledetektor 34 som arbeider i parallell for å isolere pauser i den innkommende tale. For enkelthets skyld er det her henvist til "tale", men det vil forstås at dette omfatter ethvert ønsket audiosignal som kan isoleres og detekteres av detektoren 54. Disse pauser gir da muligheter for å oppdatere det anslåtte støyspektrum. Dette anslåtte spektrum oppdateres bare under talepauser som en langsomt løpende middelvei. Når tale detekteres, nedfrysnes den

anslåtte støy. Som angitt ved 38, er både enheten 32 og støydeteksjonsenheten 34 forbundet med blokken 38, som detekterer styrkespekteret for den innkommende støy, nemlig $|\hat{N}(f)|$. Det styrkespekter som detekteres av enheten 38, er en anslått verdi. Utgangen fra enheten 32 er også forbundet med blokken 36 for å detektere

5 styrkespekteret for det innkommende støyinnholdende signal $|X(f)|$.

En støyfilterberegning 40 utføres basert på $|X(f)|$ og $|\hat{N}(f)|$ for å beregne en svekningsfunksjon $H(f)$. Som angitt ved 42, anvendes denne for å regulere det opprinnelig støyende signal $X(f)$ ved å multiplisere $X(f)$ med $H(f)$. Dette signal utsettes

10 for en invers transformasjon og overlappende tilleggsresyntese på kjent måte ved 44, for derved å frembringe et støyreduisert signal. Det støyreduiserte signalet 46 i figur 2 kan tilsvare signalene 12 eller 14 i figur 1.

Under taleytringer blir styrkespekteret sammenlignet med det anslåtte støyspektrum.

15 Generelt blir frekvensavhengig svekning beregnet som en funksjon av de to inngangsspektra. Frekvensområder hvor det innkommende signal er høyere enn støy blir da svekket mindre enn områder hvor det innkommende signal er sammenlignbart eller mindre enn støyen. Svekningsfunksjon er generelt gitt ved:

20
$$H(f) = \left[\frac{|S(f)|^2}{|S(f)|^2 + |N(f)|^2} \right]^\alpha$$

hvor

$H(f)$ er svekningen som funksjon av frekvens

$S(f)$ er det rene talespekteret

25 $N(f)$ er støyspekteret

α er svekningsmålestokken.

Svekningsmålestokken velges fortrinnsvis som Wiener-svekningsnormen som tilsvarer α lik 1. Wiener-normen nedsetter støyeffekten i forhold til talen. Andre

30 svekningsnormer kan også anvendes, f.eks. spektralsubtraksjonsnormen med α lik 0,5.

Da verken $S(f)$ eller $N(f)$ er nøyaktig kjent og vil kreve kjennskap på forhånd av det rene talespekteret og støyspekteret, erstattes de av anslåtte funksjoner $\hat{S}(f)$ og $\hat{N}(f)$:

35
$$|\hat{S}(f)|^2 \approx |X(f)|^2 - |\hat{N}(f)|^2$$

hvor $X(f)$ er det innkommende talespekter og $\hat{N}(f)$ er støyspekteret lik det anslåtte under talepauser. Forutsatt effektivt anslått talespektrum og støyspektrum, gir anvendelse av denne formel det optimale (største) signal/støyforhold (SNR). Skjønt SNR ville anta sin maksimale verdi ved bruk av denne formel, vil støyen i den resulterende tale fremdeles bli bedømt som påtrengende ved subjektiv bedømming. En forbedret angivelse av formelen og som tar med i beregningen disse oppfatningsaspekter, er gitt ved:

$$H(f) = \left[\frac{|X(f)|^2 - \beta |\hat{N}(f)|^2}{|X(f)|^2} \right]^\alpha$$

hvor

β er en oversubtraksjonsfaktor

α er svekningsmålestokken.

15

$H(f)$ bør ligge mellom 0,0 og 1,0 for å ha mening. Hvis det oppnås negative resultater, blir $H(f)$ ganske enkelt satt til null ved denne frekvens. I tillegg vil det være gunstig å øke minsteverdien for $H(f)$ til noe over null for å unngå fullstendig undertrykkelse av støyen. Skjønt dette vil være motsatt av det intuitive, vil dette redusere den kunstige musikkliknende støy (omtales senere) i en viss grad. Parameteren α styrer svekningsnormen ved stigende støynivåer. Generelt vil det være slik at jo høyere α innstilles, desto mer straffes støyen i form av fall i $X(f)$. Det ble funnet at de beste oppfatningsresultater ble oppnådd med $\alpha = 1,0$. I det spesielle tilfellet med $\alpha = 1,0$ og $\beta = 1,0$ tilsvarer den effektspektrums-subtraksjon som gir Wiener-filterløsningen, slik som beskrevet ovenfor.

25

Parameteren β styrer den grad av ekstra støyundertrykkelse som er påkrevet, idet den ideelt er en funksjon av inngangsstøynivået. Empirisk er det funnet at under meget svak støy (SNR > 40 dB) bør β være lik null. For signaler med lavere SNR blir støyreduksjonen mindre pålitelig og blir gradvis slått av. Et eksempel på denne ytterligere støyreduksjon er da:

30

$$\beta = 0 \quad \text{for } \text{SNR} < 0$$

5

$$\beta = \beta_0 \frac{\text{SNR}}{5} \quad \text{for } 0 < \text{SNR} < 5$$

$$\beta = \beta_0 \left[1 - \frac{(\text{SNR} - 5)}{35} \right] \quad \text{for } 5 < \text{SNR} < 40$$

10

$$\beta = 0 \quad \text{for } \text{SNR} > 40$$

I dette eksempel angir β_0 den maksimale strekning, nemlig 5,0. Fra $\text{SNR} = 0$ bringes svekningsen β til gradvis jevn stigning til en maksimalverdi β_0 ved $\text{SNR} = 5$, og denne
15 verdi blir så gjenstand for jevn senkning nedover til null ved $\text{SNR} = 40$.

Et annet aspekt ved foreliggende oppfinnelse gjelder forbedringer i oppfatningskvaliteten som oppnås ved å gjøre β til en funksjon av frekvensen. Som et eksempel på bruk av dette særtrekk, er det funnet at for å unngå kraftig svekking av
20 høyfrekvensinformasjon, var det nødvendig å påføre en for-fremhevelsesfunksjon, nemlig $P(f)$, på inngangsspekteret $X(f)$, hvor $P(f)$ er en tiltagende funksjon av frekvensen. Virkningen av denne for-fremhevelsesfunksjonen er å kunstig heve inngangsspekteret over støyunderlaget ved høye frekvenser. Svekningsnormen vil da etterlate de høyere frekvenser forholdsvis upåvirket. Denne forhåndsfremhevning
25 frembringes hensiktsmessig ved å redusere β ved høye frekvenser med for-fremhevningens faktor, nemlig:

$$\hat{\beta}(f) = \frac{\beta}{P(f)}, \quad \text{der } \beta \text{ er } \beta \text{ etter for-fremhevelsen.}$$

30

Uten ytterligere modifikasjon kan formelen ovenfor gi støyreduert tale med en hørbar kunstig lyd kjent som musikkstøy. Denne opptrer på grunn av at den frekvensavhengige svekningsfunksjon må være tilpasningsvennlig for at støyreduksjonen effektivt skal
35 være i stand til å redusere støy. Nettopp tilpasningen av dette filter gjør det mulig for

isolerte frekvensområder med lav SNR å blafre inn og ut av hørbarhet, hvilket fører til denne kunstige musikkliknende støy. Forskjellige fremgangsmåter er anvendt for å redusere dette problem. Senkning av tilpasningstakten reduserer problemet i vesentlig grad. Ved denne fremgangsmåte innføres en forglemmelsesfaktor for å dempe abrupte forsterkningsforandringer i svekningsfunksjonen:

$$G_n(f) = (1 - \gamma) H(f) + \gamma G_{n-1}(f)$$

hvor $G_n(f)$ og $G_{n-1}(f)$ er utglattede svekningsfunksjoner innenfor den n-te og den (n-1)-te tidsramme.

Ytterligere forbedringer av oppfatningskvaliteten er mulig ved å gjøre β (i tillegg til å være en funksjon av frekvensen) til en funksjon av oppfattelsesforvrengning. Ved denne fremgangsmåte vil utglatningsfunksjonen (i stedet for å være en enkel eksponensiell- eller forglemmelsesfaktor slik som ovenfor) basere sin avgjørelse på tilpasning av $G_n(f)$ på om en slik forandring blir oppfatningsmessig maskert. Den oppfatningsmessige tilpasningsalgoritme bruker den ideelle svekningsfunksjon $H(f)$ som et mål fordi den representerer den best oppnåelige SNR. Denne algoritme avgjør hvor meget $G_n(f)$ kan justeres samtidig som oppfatningsforvrengningen nedsettes til et minimum. Denne avgjørelse er basert på et antall maskeringskriterier for utgangsspekteret, og som omfatter:

1. Spredning av maskering - energiforandringer i høyere frekvenser maskeres av energinærvær i nærliggende frekvenser - særlig lavere frekvenser;
2. Tidligere energi - forandringer i kraftigere frekvenskomponenter er mer hørbare enn forandringer i svakere frekvenskomponenter.
3. Hørselsterskel - det er ingen mening i å redusere støyen vesentlig under hørselterskelen ved en bestemt frekvens.
4. Tidligere svekking - lavere nivåer bør ikke tillates å springe opp raskt - høyere nivåer bør ikke falle raskt hvis det ikke maskeres av 1), 2) eller 3).

Ved anvendelser hvor støyreduksjon anvendes for å forbehandle inngangssignalet før dette når frem til kompresjonskretsene (skjematisk vist i figur 1), vil oppfatningsegenskapene for det støyreduserte signal være av mindre viktighet. Det kan

faktisk vise seg å være fordelaktig å utføre støyreduksjonen med to forskjellige undertrykkelsesalgoritmer, slik som nevnt ovenfor. Støyreduksjonen 16 vil da være optimalisert med hensyn på oppfatningskvaliteten, mens den andre støyreduksjonen 18 vil være optimalisert på god kompresjonsadferd.

5 Et nøkkelement til vellykket foreliggende støyundertrykkelse eller reduksjonsutstyr er tale- eller stemmedetektorer. Det er avgjørende å oppnå nøyaktig anslått støyspektrum. Hvis det anslåtte støyspektrum oppdateres under perioder med taleaktivitet, vil støyspekteret bli forurensset av tale, hvilket vil føre til tale-sletting. Taledeteksjon er
10 meget vanskelig, spesielt i situasjoner med kraftig støy. Skjønt en treveis skjelning mellom stemt tale, ustemt tale (konsonanter) og støy er mulig under forhold med svak støy, er det funnet at den eneste pålitelige skjelning som er tilgjengelig under kraftig støy er mellom stemt tale og støy. Ut i fra den langsomme middelverdibestemmelse av støyspekteret, vil bidraget fra lavenergikonsonanter være uten betydning.

15 I henhold til et annet aspekt ved foreliggende oppfinnelse anvendes således en autokorrelasjonsfunksjon for å detektere tale, da fordelene ved denne funksjon er den relative letthet hvorved et periodisk signal kan påvises. Som det vil erkjennes av fagkyndige på området, er det en iboende egenskap ved autokorrelasjonsfunksjonen for
20 et periodisk signal at den oppviser en topp ved den tidsforsinkelse som tilsvarer gjentagelsesperioden (se Rabiner, L.R., og Schafer, R.W., *Digital Processing of Speech Signals*, (Prentice Hall Inc., 1978)). Da stemt tale er nesten periodisk i tid i samme takt som dets tonehøydeperiode, ble det utviklet en stemmingsdetektor basert på autokorrelasjonsfunksjonen. Forutsatt en tilstrekkelig lang autokorrelasjon, vil den
25 ukorrelerte støy ha en tendens til å kanselleres etter hvert som påfølgende tonehøydeperioder forenes til å danne middelverdi.

En streng korttids autokorrelasjon krever at signalet først oppdeles i blokker for å begrense tidsutstrekningen (prøver på utsiden av blokken settes lik null). Denne
30 operasjonen følges av en autokorrelasjon på blokken. Ulempen ved denne fremgangsmåte er at autokorrelasjonsfunksjonen vil omfatte færre punktprøver etter hvert som tidsforsinkelsen øker. Da tonehøyden ligger etter (vanligvis mellom 40 og 240 punktprøver (tilsvarende 2,5 til 15 millisekunder)) utgjør en vesentlig andel av autokorrelasjonsrammen (vanligvis 512 punktprøver eller 32 millisekunder) ble det
35 beregnet en modifisert versjon av denne autokorrelasjonsfunksjonen for å unngå dette problem. Denne modifiserte versjon av autokorrelasjonsfunksjonen er beskrevet i Rabiner, L.R. og Schafer, R.W., *Digital Processing of Speech Signals*, *supra*. Ved

denne metode blir signalet blokkoppdelt og korrelert med en forsinket blokk (med samme lengde) av signalet. Da punktprøvene i den forsinkede blokk omfatter punktprøver som ikke foreligger i den første blokk, blir ikke denne funksjon noen streng autokorrelasjon, men viser periodisiteter klarere.

5

Det erkjennes at et høreapparat er en anordning som fungerer i sann tid og at alle beregningselementer for hver taleblokk må fullføres før neste blokk ankommer. Beregningstiden for en lang autokorrelasjon, og som bare er påkrevet for hver gruppe på noen få taleblokker, vil med sikkerhet bringe utstyret til stopp hver gang den må

10 beregnes. Det erkjennes derfor at autokorrelasjonen bør oppdeles i et antall kortere avsnitt som kan beregnes for hver blokk og lagres i en del-korrelasjonstabell. Den fullstendige autokorrelasjon fastlegges ved stakking av disse delkorrelasjoner ovenpå hverandre og for addering, slik som vist i figur 3.

- 15 Det skal nå henvises til figur 3, hvor det er vist at inngangsstikkprøven 50 blir oppdelt i separate blokker som lagres i lagringsbuffere, slik som angitt ved 52. Korrelasjonsbufferne 52 er forbundet med en blokkorrelasjonsenhet 54, hvor autokorrelasjonen utføres. Delvise krysskorrelasjoner 56 summeres for å frembringe den endelige korrelasjon 58.

20

Denne teknikk gir raskt den nøyaktige modifiserte autokorrelasjon og utgjør den foretrukne utførelse når tilstrekkelig lagringskapasitet er tilgjengelig for å lagre delkorrelasjonene.

- 25 Når hensynet til lagringsplass utelukker den ovenfor angitte teknikk, kan en form for eksponensiell middelveidiutledning anvendes for å redusere antall korrelasjonsbuffere til en enkelt buffer. Ved denne teknikk blir påfølgende delkorrelasjoner summert til det nedskalerte tidligere innhold i korrelasjonsbufferen. Denne forenkling reduserer i vesentlig grad lagringsminnet, men legger implisitt et eksponensielt vindu til
- 30 inngangssekvensen. Denne vindusvirkning reduserer dessverre tidsperiodisitetene. Virkningen er at autokorrelasjonstoppen spres på et antall tilstøtende tidsforsinkelser i hver retning. Denne utsmøring av toppen reduserer i noen grad nøyaktigheten av stemmingsdeteksjonen.

- 35 I de utførelser som anvender en FFT-transformeringsblokk, kan disse delkorrelasjoner (for hver av de teknikker som er angitt ovenfor) utføres raskt i frekvenskontrollområdet. For hver blokk blir korrelasjonsprosessen redusert til en sekvens av komplekse

- multipliseringer på de transformerte tidssekvenser. De resulterende sekvenser i frekvens-kontrollområdet kan direkte adderes sammen samt transformeres tilbake til tids-kontrollområdet for å frembringe den fullstendige lange autokorrelasjon. I en alternativ utførelse blir korrelasjonsresultatene i frekvenskontrollområdet aldri
- 5 transformert tilbake til tids-kontrollområdet. Ved denne utførelse bestemmes tonehøydefrekvensen direkte ut i fra frekvenskontrollområdet.

- Da autokorrelasjonsrammen er lang sammenlignet med talerammen (kortere) blir stemmingsdeteksjonen forsinket sammenlignet med den løpende signalramme. Denne
- 10 kompensasjon for den foreliggende forsinkelse oppnås i oppdateringsblokken for støyspekteret.

- En indre rammebegrensning ble påført rammer som ble betraktet som mulige kandidater til talepauser, for ytterligere å redusere falsk deteksjon av støyrammer.
- 15 Spektralavstanden mellom den foreslåtte ramme og de tidligere anslåtte verdier for støyspekteret blir sammenlignet. Store verdier reduserer sannsynligheten for at rammen faktisk utgjør en pause. Stemmingsdetektoren tar inn denne informasjon, nærvær eller fravær av en autokorrelasjonstopp, rammeenergien og en løpende middelvei for støyen som inngangsverdier.

P a t e n t k r a v

1.

Fremgangsmåte for å redusere støy i et inngangssignal (10), hvor nevnte inngangssignal
5 (10) inneholder tale og har et signal/støyforhold, idet fremgangsmåten omfatter følgende
prosesstrinn:

- (a) detektering av nærvær og fravær av tale,
- (b) i fravær av tale anslås et støystyrke-spektrum,
- (c) i nærvær av tale, sammenligning av et styrkespektrum for inngangssignalet med
10 det anslåtte støystyrkespekteret,

k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten videre omfatter
følgende prosesstrinn:

- 15 (d) beregning av en svekningsfunksjon ($H(f)$) ut ifra inngangssignalets
styrkespektrum og det anslåtte støystyrkespektrum, hvor svekningsfunksjonen
($H(f)$) er avhengig av signal/støyforholdet og
- (e) modifisering av inngangssignalet (10) ved hjelp av svekningsfunksjonen for
derved å generere et støyreduert signal (12, 14) hvori det ikke forekommer noen
20 vesentlig modifikasjon av inngangssignalet (10) for meget lave og for meget
høye signal/støyforhold.

2.

Fremgangsmåte som angitt i krav 1 og som videre omfatter følgende prosesstrinn:

- 25 (f) tilførsel av inngangssignalet (10) til en forsterkerenhet (22),
- (g) overføring av det støyreduerte signalet (14) til en kompresjonskrets (20) som
genererer et styrende inngangssignal for forsterkerenheten (22), og
- (h) regulering av forsterkerenheten (22) ved hjelp av styresignalet for å modifisere
inngangssignalet (10) på en slik måte at det frembringes et utgangssignal (24)
30 med kompresjon og redusert støy.

3.

- Fremgangsmåte som angitt i krav 2, og hvor prosesstrinn (f) innbefatter å utsette
inngangssignalet (10) for en hovedstøyreduksjonsalgoritme (16) for å frembringe et
35 støyreduert hovedsignal (12) og å levere det støyreduerte hovedsignalet (12) til
forsterkerenheten (22).

4.

Fremgangsmåte som angitt i krav 3, innbefattende en ekstra støyreduksjonsalgoritme (18) definert ved trinnene a) til e), og som er den samme som hovedstøyreduksjonsalgoritmen (16).

5

5.

Fremgangsmåte som angitt i et hvilket som helst av kravene 1 - 4, og hvor et kvadrat av det anslåtte talestyrkespektrum bestemmes ved å subtrahere et kvadrat av det anslåtte støystyrkespektrum fra et kvadrat av amplitudespekteret for inngangssignalet.

10

6.

Fremgangsmåte som angitt i krav 5, og hvor svekningsfunksjonen ($H(f)$) er en funksjon av frekvens og beregnes ut i fra følgende ligning:

15

$$H(f) = \left[\frac{|X(f)|^2 - \beta |\hat{N}(f)|^2}{|X(f)|^2} \right]^\alpha$$

20

hvor f angir frekvens, $H(f)$ er svekningsfunksjonen, $|X(f)|$ er styrkespekteret for inngangssignalet, $|\hat{N}(f)|$ er det anslåtte støystyrkespektrum, β er en oversubtraksjonsfaktor og α er en svekningsnorm, hvor α og β velges slik at den ønskede svekningsfunksjonen oppnås.

7.

25

Fremgangsmåte som angitt i krav 6, og hvor oversubtraksjonsfaktoren β varierer som en funksjon av signal/støyforholdet med β lik null for høye og lave signal/støyfaktorer samt med β økende etter hvert som signal/støyforholdet øker over null til en maksimalverdi ved et forut bestemt signal/støyforhold, mens for høyere signal/støyforhold β avtar til null ved et andre forut bestemt signal/støyforhold som er større enn det første forut bestemte signal/støyforhold.

30

8.

Fremgangsmåte som angitt i krav 7, og hvor oversubtraksjonsfaktoren β deles med en for-fremhevningsfunksjon av frekvens $P(f)$ for å frembringe en modifisert

oversubtraksjonsfaktor $\beta(f)$, hvor for-fremhevningsfunksjonen er slik at β reduseres ved høye frekvenser, slik at derved også svekningen reduseres ved høye frekvenser.

9.

- 5 Fremgangsmåte som angitt i krav 8, og hvor forandringstakten for svekningsfunksjonen reguleres for å hindre plutselige og raske forandringer i svekningsfunksjonen.

10.

- 10 Fremgangsmåte som angitt i krav 6, og hvor svekningsfunksjonen beregnes i påfølgende tidsrammer, idet svekningsfunksjonen beregnes ut i fra følgende ligning:

$$G_n(f) = (1 - \gamma) H(f) + \gamma G_{n-1}(f)$$

- 15 hvor $G_n(f)$ og $G_{n-1}(f)$ er utglattede svekningsfunksjoner av frekvens innenfor den n-te og (n-1)-te tidsramme, og γ er en forglemmelsesfaktor.

11.

- 20 Fremgangsmåte som angitt i krav 10, og hvor β er en funksjon av oppfatningsforvrengning.

12.

Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og som omfatter fjernpåslag og fjernavslag av støy-undertrykkelsen.

- 25 13.

Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og som omfatter automatisk utkobling av støyreduksjonen i nærvær av meget svak støy eller meget støyende omgivelser.

14.

- 30 Fremgangsmåte som angitt i krav 1, innbefattende å påvise tale med en modifisert autokorrelasjonsfunksjon og hvor den modifiserte autokorrelasjonsfunksjonen omfatter:

- (1) uttak av en inngangsstikkprøve (50) og oppdeling av denne i korte blokker samt lagring av blokkene i korrelasjonsbuffere (52),
- (2) korrelasjon av blokkene med hverandre for derved å danne delkorrelasjoner (56)
- 35 og
- (3) summering av delkorrelasjonene for å frembringe en endelig korrelasjon (58).

15.

Fremgangsmåte som angitt i krav 14, og hvor fremgangsmåten utføres ved digital signalbehandling, og hvor fremgangsmåten omfatter bruk av en hurtig Fourier-transformasjon for å generere delkorrelasjonene samt omfatter deteksjon av stemt tale direkte i frekvenskontrollområdet.

16.

Fremgangsmåte som angitt i et hvilket som helst av kravene 1 - 4, hvor fremgangsmåten videre omfatter bestemmelse av nærvær av tale ved å ta en blokk av inngangssignalet og utføre en autokorrelasjon på denne blokk for å danne et korrelert signal, samt undersøkelse av dette korrelerte signal for nærvær av et periodisk signal med en tonehøyde tilsvarende den som er betegnende for tale.

17.

Fremgangsmåte som angitt i krav 16, og hvor autokorrelasjonen utføres på en første blokk som tas fra inngangssignalet samt på en senere blokk fra inngangssignalet.

18.

Fremgangsmåte som angitt i krav 17, og hvor hver blokk deles opp i flere korte avsnitt og korrelasjonen omfatter en korrelasjon mellom par av disse kortere avsnitt for å danne delkorrelasjoner (56), samt påfølgende summering av delkorrelasjonene for å utlede det korrelerte signal (58).

19.

Fremgangsmåte som angitt i krav 18, og hvor inngangssignalet lagres i form av flere signalstikkprøver i et par korrelasjonsbuffere (52), og autokorrelasjonen utføres på signalene i bufferne (52) for å bestemme delkorrelasjonene (56), idet disse delkorrelasjoner summeres og lagres.

20.

Fremgangsmåte som angitt i krav 2, hvor trinnet (f) innbefatter å anvende trinnene (a) til (e) på inngangssignalet (10) forut for tilførsel av inngangssignalet (10) til forsterkningsenheten (22).

21.

Apparat for å redusere støy i et inngangssignal (10), hvor apparatet omfatter en inngang for å motta inngangssignalet (10) og apparatet omfatter:

- (a) en kompresjonskrets (20) for å motta et komprimeringsstyringssignal og som reaksjon å frembringe et forsterkningsstyringssignal,
- (b) en forsterkningsenhet (22) koblet til inngangen og kompresjonskretsen (20) for å motta inngangssignalet (10) og forsterkningsstyringssignalet og å frembringe et utgangssignal (24) med kompresjon og redusert støy,

k a r a k t e r i s e r t v e d at apparatet videre omfatter:

- (c) en ekstra støyreduksjonsenhet (18) forbundet med inngangen og kompresjonskretsen (20) for å frembringe et ytterligere støyreduisert signal (14), hvilket kompresjonsstyringssignal utgjør det ytterligere støyreduiserte signalet.

22.

Apparat som angitt i krav 21, hvor apparatet videre innbefatter en hovedstøyreduksjonsenhet (16) forbundet med inngangen og forsterkningsenheten (22) for å generere et støyreduisert signal (12) og å tilføre det støyreduiserte signalet (12) til forsterkningsenheten (22) i stedet for inngangssignalet (10).

23.

Apparat som angitt i krav 21 eller 22, og hvor inngangssignalet (10) inneholder tale og hoved-støyreduksjonsenheten omfatter:

- (1) en detektor (34) som er koblet til nevnte inngang og frembringer et deteksjonssignal som kan angi nærvær av tale,
- (2) styrkeutstyr (36) for å bestemme styrkespekteret for inngangssignalet, idet både detektoren (34) og styrkeutstyret (36) er forbundet med apparatets inngang,
- (3) utstyr (38) for å anslå spektrum og for å frembringe et anslått støystyrkespektrum og som er koblet til detektoren (34) samt til apparatets inngang,
- (4) en støyfilterberegningssenhetsenhet (40) forbundet med utstyret (38) for å anslå spektrum samt med styrkeutstyret (36) for å kunne motta det anslåtte støystyrkespektrum og styrkespekteret for inngangssignalet samt for å beregne en svekningsfunksjon, og
- (5) en multiplikasjonssenhetsenhet (42) som er koblet til støyfilter-beregningssenhetsenheten (40) og inngangssignalet (10) for å frembringe det støyreduiserte signal (12).

24.

Apparat som angitt i krav 22, og hvor hoved-støyreduksjonsenheten (16) og den ekstra støyreduksjonsenhet (18) utgjør en enkel enhet.

25.

Apparat som angitt i krav 23, og hvor inngangssignalet (10) har et signal/støyforhold og støyfilterberegningseenheten (40) frembringer det støyreduerte signal (12) i avhengighet av signal/støyforholdet, idet det ikke forekommer noen vesentlig modifikasjon av inngangssignalet (10) ved meget lave og meget høye signal/støyforhold.

26.

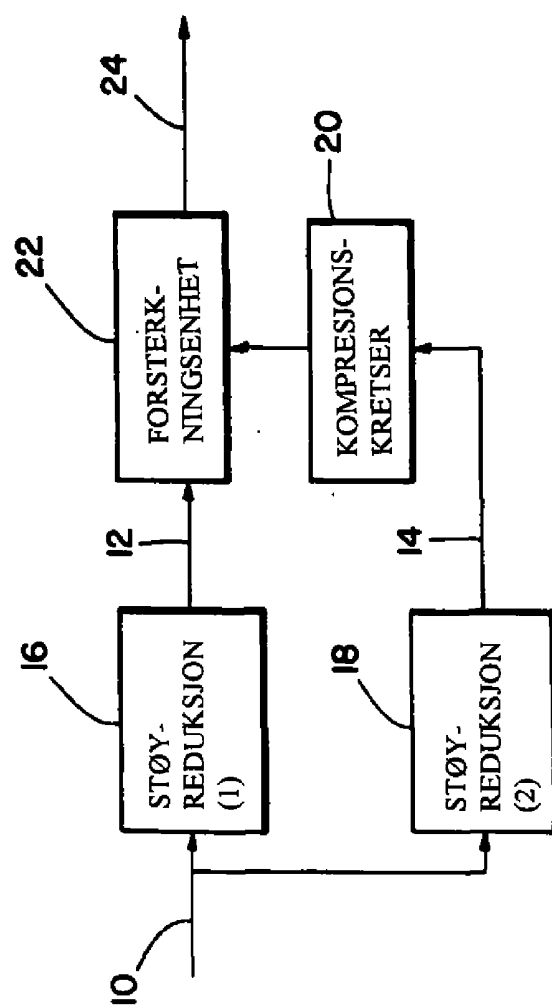
Apparat som angitt i krav 23, og som omfatter en frekvenstransformasjonsinnretning (32) som er innkoblet mellom nevnte inngang og både styrkeutstyret (36) og utstyret for å anslå spektrum for det formål å transformere signalet inn i frekvenskontrollområdet for derved å frembringe et omformet signal hvor styrkeutstyret (36) bestemmer styrkespekteret ut i fra det omformede signal, og hvor utstyret (38) for å anslå spektrum bestemmer det anslåtte støyspekteret ut i fra det omformede signal i fravær av tale, idet apparatet videre omfatter utstyr (44) for invers frekvenstransformasjon for å motta et transformert støyreduert signal fra multiplikasjonsenheten (42), mens utstyret (44) for invers frekvenstransformasjon frembringer det støyreduerte signal (12).

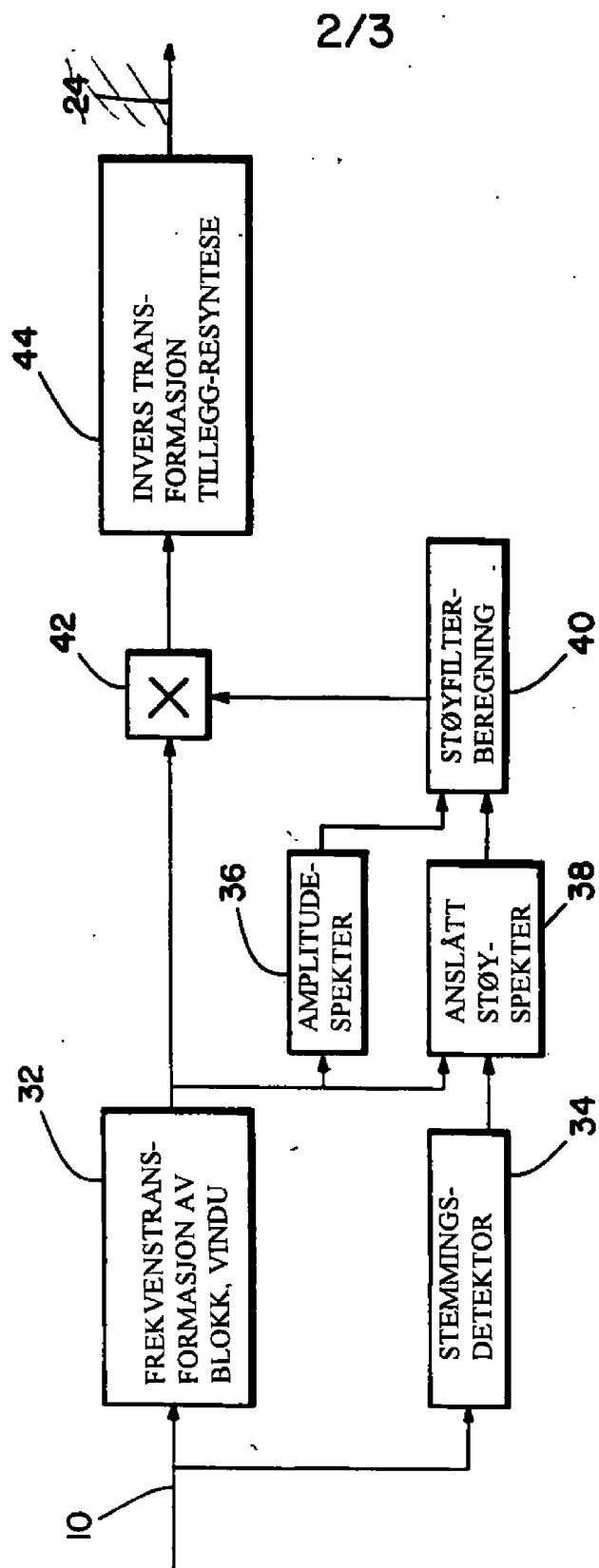
27.

Apparat som angitt i krav 26, og hvor støyfilterberegningsutstyret fastlegger et kvadrat av det anslåtte talestyrkespektrum ved å subtrahere et kvadrat av det anslåtte støystyrkespektrum fra et kvadrat av inngangssignalets styrkespektrum, og hvor støyfilterberegningsutstyret beregner svekningsfunksjonen som en funksjon av frekvens ut i fra følgende ligning:

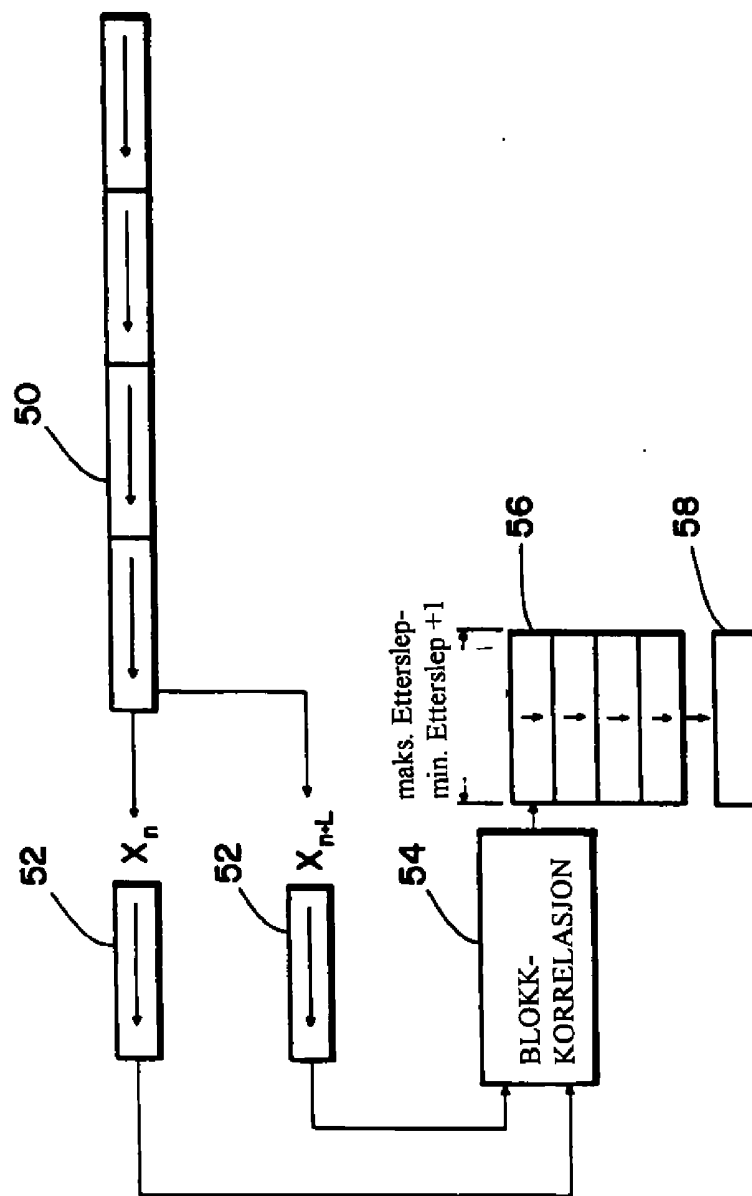
$$H(f) = \left[\frac{|X(f)|^2 - \beta |\hat{N}(f)|^2}{|X(f)|^2} \right]^\alpha$$

hvor f angir frekvens, $H(f)$ er svekningsfunksjonen, $|X(f)|$ er styrkespekteret for det innkommende audiosignal; $|\hat{N}(f)|$ er det anslåtte støystyrkespektrum, β er en oversubtraksjonsfaktor og α er en svekningsnorm, idet α og β velges slik at det oppnås en ønsket svekningsfunksjon.

FIGUR 1



FIGUR 2



FIGUR 3