



Patentdirektoratet
TAASTRUP

(21) Patentansøgning nr.: 1282/92

(51) Int.Cl.6

H 04 R 25/00

(22) Indleveringsdag: 20 okt 1992

H 04 R 3/02

(41) Alm. tilgængelig: 21 apr 1994

(45) Patentets meddelelse bkg. den: 10 apr 1995

(86) International ansøgning nr.: -

(30) Prioritet: -

(73) Patenthaver: *GN Danavox A/S; Mårkærvej 2A; 2630 Taastrup, DK

(72) Opfinder: Roy Skovgaard *Hansen; DK

(74) Fuldmægtig: Larsen & Birkeholm A/S Skandinavisk Patentbureau

(54) Høreapparat med kompensation for akustisk tilbagekobling

(56) Fremdragne publikationer

US patent nr. 4453039, 5091952

(57) Sammendrag:

1282-92

Et høreapparat med digital, elektronisk kompensering af akustisk tilbagekobling omfatter en mikrofon (5), en forforstærker (7), et digitalt kompenseringskredsløb (3), en udgangsforstærker (9) og en lydgenerator (11).

Det digitale kredsløb (3) omfatter en støjgenerator (33) for indføring af målestøj samt et indstilleligt, digitalt filter (27) for tilpasning af modkoblingssignalet. Tilpasningen sker under anvendelse af et korrelationskredsløb (31). Kredsløbet omfatter herudover et digitalt kredsløb (210), der overvåger sløjfeforstærkningen og regulerer apparatets forstærkning via et digitalt additionskredsløb (211), så sløjfeforstærkningen er mindre end en konstant K. Kredsløbet omfatter yderligere et digitalt kredsløb (79), der foretager en statistisk vurdering af filterkoefficienterne i korrelationskredsløbet og omkobler modkoblingsfunktionen afhængigt af denne vurdering.

fortsættes

HØREAPPARAT MED KOMPENSATION FOR AKUSTISK TILBAGEKOBLINGTeknikkens standpunkt

5 Opfindelsen angår et digitalt høreapparat, som nærmere angivet i krav 1's indledning.

Et sådant apparat med digital undertrykkelsen eller kompensering af akustisk tilbagekobling er kendt fra ansøgerens
10 tidligere europæiske patentansøgning nr. 90309342.5 (publications nr. EP-A2-0415677).

Et sådant apparat har vist sig at fungere i praksis efter hensigten. For at apparatet ikke skal gå i sving, skal kompenseringen, der sker i form af opdatering af koefficienter
15 i et digitalt filter i et tilbagekoblingskredsløb, ske ved hjælp af en algoritme, der tager hensyn til fejlen i filteret, det vil sige forskellen mellem filterets aktuelle indstilling og den ønskede indstilling. Et sådant apparat vil
20 ikke altid være hurtig nok til at tilpasse sig pludselige ændringer i den akustiske tilbagekoblingsvej, selv om det alligevel er i stand til at kompensere for den opståede akustiske tilbagekobling. Manglende hastighed i tilpasningsfunktionen vil kunne give uønskede akustiske signaler,
25 som er hørbare for brugeren af høreapparatet.

Fra USA patent nr. 4.453.039 og 5.091.952 kendes høreapparatkonstruktioner af den art, der er angivet i krav 1's indledning. Heri regulerer man forstærkningen i høreapparatet i afhængighed af sløjfeforstærkningen, så man nedsætter
30 forstærkningen så meget, at apparatet ikke går i sving. Ulempen herved er, at apparatet i en del tilfælde regulerer forstærkningen så langt ned, at dette er uhensigtsmæssigt for brugeren.

35

For at øge tilpasningshastigheden, uden at apparatet går i

sving, må den algoritme, der sørger for opdatering af koef-
ficienterne i det digitale filter i kompense-
ringskredsløbet, tage hensyn til, at filterfejlen er afhæn-
gig af antal koefficienter, signal-/støjforhold, input-
5 niveau, volumen, og hvor meget der peak-klippes i begræn-
serkredsløbet. En så omfattende algoritme vil ikke være
særlig hurtig til at tilpasse sig ændringer i den akustiske
tilbagekoblingsvej, men vil til gengæld give en sikker og
præcis tilpasning af filteret under stationære forhold i
10 tilbagekoblingsvejen. Når man har konstateret, at en væ-
sentlig ændring er i gang, det vil sige, at der er sket en
signifikant ændring i den akustiske tilbagekoblingsvej,
foretager kredsløbet automatisk en omkobling af algoritmen
for at øge tilpasningshastigheden, f.eks. ved at tilsætte
15 mere målestøj og/eller øge tilpasningshastigheden udover,
hvad den grundlæggende algoritme foreskriver. Den hurtige
tilstand varer, indtil kredsløbet konstaterer, at filter-
koefficienterne atter er stabile, hvorefter kredsløbet au-
tomatisk kobler tilbage til den grundlæggende algoritme for
20 løbende justering af den elektroniske kompensering.

Et sådant apparat er anvist i dansk patentansøgning nr.
432/92 indleveret den 31. marts 1992 (= PCT/DK93/00106).

25 I et høreapparat med digital kompensering for akustisk til-
bagekobling vil man kunne opnå en forøget maksimal for-
stærkning. Er apparatet i forvejen, f.eks. af brugeren,
indstillet til en given forstærkning, er den ekstra for-
stærkning, som høreapparatet kan give, fordi det har kom-
30 pensation for akustisk tilbagekobling, måske for stor, så
reguleringssystemet ikke kan kompensere for et pludseligt
forøget niveau i tilbagekoblingsvejen, og apparatet går i
sving, indtil der bliver skruet ned, eller indtil tilbage-
koblingsvejens forstærkning reduceres. Dette kan være til
35 gene for brugeren.

Fordele ved opfindelsen

Nærværende opfindelse har til formål at undgå, at et høreapparat med kompensering for akustisk tilbagekobling, og af den i krav 1's indledning angivne art, kan gå i sving, idet apparatet er indrettet således, at det automatisk reducerer forstærkningen, hvis en pludselig forøgelse af niveauet i tilbagekoblingsvejen optræder. Så snart tilstanden med forøget niveau i tilbagekoblingsvejen ophører, vil høreapparatets forstærkning automatisk blive justeret tilbage til det af brugeren valgte niveau.

Dette opnås ved at udforme høreapparatet ifølge opfindelsen som nærmere angivet i krav 1's kendetegnende del.

Kredsløbet foretager styringen ved løbende at beregne forstærkningen i det adaptive filter ved forskellige frekvenser, og samtidig hermed overvåger kredsløbet volumenkontrollens indstilling, og regulerer herudfra høreapparatets sløjfeforstærkning, så den altid er mindre end en konstant K , hvor $K \geq 1$. K er en konstant eller en funktion af frekvensen. Apparatets FIR-filter er i stand til at give ekstra forstærkning ved høje frekvenser. Er den totale sløjfeforstærkning større end eller lig med K , reduceres forstærkningen eventuelt ned til et niveau lavere end det af brugeren indstillede.

Denne reguleringsform kan med stor fordel anvendes i forbindelse med et høreapparat indrettet som anført i dansk patentansøgning nr. 432/92 (PCT/DK93/00106) og som angivet i krav 2, så man får optimeret kompenseringen for akustisk tilbagekobling. Man får altså et høreapparat, som hele tiden giver brugeren den optimalt mulige forstærkning, samtidig med at der fås stærkt reduceret tilbøjelighed til at apparatet går i sving.

Krav 3 angiver en fordelagtig udførelsesform for opfindelsen.

Tegningen

5

Opfindelsen forklares herefter nærmere under henvisning til tegningen, idet

10

fig. 1 viser et blokdiagram af et høreapparat ifølge dansk patentansøgning nr. 432/92, og

15

fig. 2 viser høreapparatet i fig. 1, men yderligere forsynet med reguleringskredsløbet ifølge opfindelsen.

Beskrivelse af den foretrukne udførelsesform

20

Den efterfølgende beskrivelse under henvisning til tegningens figur 1 og 2 af den foretrukne udførelsesform for opfindelsen er kun et eksempel på, hvordan opfindelsen kan udøves i praksis. På tegningens figurer er anvendt samme henvisningsbetegnelser for ens komponenter eller kredsløb med videre.

25

Figur 1 viser det høreapparat, der er omtalt og forklaret som den foretrukne udførelsesform i dansk patentansøgning nr. 432/92, hvorfor en række af delkredsløbene ikke forklares nærmere i nærværende ansøgning.

30

I figur 1 er vist et høreapparat omfattende en lydoptager, for eksempel i form af en mikrofon 5, en forforstærker 7, et digitalt tilpasningskredsløb 3, en udgangsforstærker 9 og en lydengiver 11, for eksempel en miniature elektroakustisk transducer.

35

Forforstærkeren 7 er af almindelig kendt art, for eksempel

den, der er kendt fra ansøgerens tidligere europæiske ansøgning nr. 90309342.5, og udgangsforstærkeren 9 er ligeledes af almindelig kendt art, for eksempel svarende til den udgangsforstærker, der anvendes i høreapparatet i ansøgerens tidligere europæiske ansøgning nr. 90309342.5.

I forbindelsen mellem forforstærkeren 7 og udgangsforstærkeren 9 og afgænsset med den punkterede ramme er det digitale tilpasningskredsløb 3 vist, idet der dog intet er til hinder for, at kredsløbet 3 kan være et blandet analog og/eller digital kredsløb, men i den foretrukne udførelsesform anvendes et rent digitalt kredsløb.

Indgangen til det digitale tilpasningskredsløb 3 omfatter en A/D konverter 17 og udgangen på kredsløbet omfatter en D/A konverter 19. I kredsløbsvejen c, d, i, e og f mellem indgangen 17 og udgangen 19 er anbragt et digitalt begrænserkredsløb 15, hvilket begrænserkredsløb er af kendt art, for eksempel som kendt fra ansøgerens tidligere europæiske ansøgning nr. 90309342.5. Begrænserkredsløbet 15's funktion er at hindre det elektriske signal i at nå et amplitudeniveau, der overskrider grænserne for udgangsforstærkeren 9 og lyd gengiveren 11's lineære område og som forklaret i nævnte europæiske ansøgning.

Et digitalt additionskredsløb 21 er indskudt i banen mellem begrænserkredsløbet 15 og D/A omsætteren 19. Additionskredsløbet 21 udgør et sted for indføring af et støjsignal N som forklaret senere. Et digitalt subtraktionskredsløb 23 er indskudt i banen mellem A/D omsætteren 17 og begrænserkredsløbet 15. Subtraktionskredsløbet 23 omfatter midler til indføring af elektrisk modkobling som også forklares senere.

Den normale signalvej for et ønsket signal fra mikrofonen 5 til lyd gengiveren 11 er den direkte kredsløbsvej a-b-c-d-i-

e-f-g-h som vist på figur 1. Det skal bemærkes, at den elektriske vej a, b, g og h er indrettet til analogsignaler og omfatter således sædvanligvis blot en enkelt leder, medens den elektriske signalvej c, d, i, e og f er indrettet til digitale signaler og vil således omfatte et antal parallelle ledere, for eksempel 8 eller 12 ledere, afhængigt af bitantallet fra A/D omsætteren 17.

Elektrisk modkobling fremkommer fra et udtag 25 i afsnit f i den digitale signalvej mellem additionskredsløbet 21 og D/A omsætteren 19, det vil sige, at det elektriske, digitale modkoblingssignal omfatter en støjsignal-komponent. Modkoblingssignalet ledes gennem et tilpasningsfilter 27, der er vist som et "begrænset impuls svar filter", et såkaldt FIR-filter (Finite - Impulse - Response filter), og efter at modkoblingssignalet har passeret dette filter, føres det til det digitale subtraktionskredsløb 23 via en digital signalvej m. Fortrinsvis er det digitale signal fra udtag 25 ført via et forsinkelseskredsløb 29, før det via den digitale ledning k som et digitalt signal 41 er ført til FIR-filteret 27. Forsinkelsen i kredsløbet 29 er af samme størrelse som den minimale akustiske vejlængde mellem lyd-giveren 11 og mikrofonen 5 og skal indføre en forsinkelse svarende hertil. Det er ikke nødvendigt at indføre en sådan forsinkelse ved hjælp af forsinkelseskredsløbet 29, men hermed undgås væsentlig redundans i filtre og korrelationskredsløb, så det samlede kredsløb forenkles. Impulsvaret fra filteret 27 tilpasses løbende styret af koefficienter fra et korrelationskredsløb 31. Korrelationskredsløbet 31 søger løbende efter korrelation mellem den indførte digitale støj og en hvilken som helst støjkomponent i restsignalet i forbindelsen d efter det digitale subtraktionskredsløb 23. Det indførte støjsignal N genereres fra en støjkilde 33 og indføres via det digitale additionskredsløb 21 efter niveaujustering i reguleringskredsløbet 35. Støjsignalet er også koblet til en referenceindgang på

korrelationskredsløbet 31 via et andet forsinkelseskredsløb 37, der også indfører en forsinkelse af samme størrelse som den minimale akustiske vejlængde mellem lyd giveren 11 og mikrofonen 5 via signalvejen n. Restsignalet på ledningen d udgør indgangssignalet på korrelationskredsløbet 31, idet signalet føres hertil fra et punkt 39 på ledningen d og ved hjælp af en digital ledning.

Herudover er der indsat et kredsløb 79 i form af et algoritme-styre-kredsløb, som afgør, efter hvilken algoritme korrelationskredsløbet 31 skal sende koefficienter videre til filteret 27, idet algoritme-styrekredsløbet 79 via de digitale forbindelser 80, 81 løbende overvåger og styrer korrelationskredsløbet 31. Algoritme-styrekredsløbet 79 styrer ligeledes tilførslen af digital støj fra støjgeneratoren 33 ved at regulere niveauet i kredsløbet 35 via ledningerne 82 og en digital beregnings-enhed 65. Desuden hentes via ledningen 84 restsignalet fra udtag 39 og via ledningen 83 hentes amplituden af støjsignalet og volumensignalet hentes via ledningen 86, hvilket forklares senere.

Det elektriske udgangssignal fra punkt 25 føres således via forsinkelseskredsløbet 29 til tilpasningsfilteret 27 (FIR) og til subtraktionskredsløbet 23 som det endelige modkoblingssignal, hvor subtraktionen fra indgangssignalet foretages. I en optimal situation vil modkoblingssignalet fuldstændig svare til et uønsket akustisk tilbagekoblingssignal, der via en tilbagekoblingsvej w forløber fra lyd giveren 11 til mikrofonen 5. Hvis modkoblingssignalet og signalet fra den akustiske tilbagekobling er helt identiske, vil der intet restsignal fra den akustiske tilbagekobling være på ledningen d, fordi det digitale modkoblingssignal fra ledningen m fuldstændig vil udslukke det akustiske tilbagekoblingssignal.

35

For at filteret 27 kan indstilles korrekt, adderes støj-

5 signalet N, efter niveauregulering i kredsløbet 35, via additionskredsløbet 21 til udgangssignalet. Støjsignalet vil således findes både i det indre modkoblingskredsløb 3 og i den ydre akustiske tilbagekoblingsvej w. Støjsignalet vil således passere D/A omsætteren 19 og via forstærkeren 9 nå lyd giveren 11 og omsættes til et akustisk signal, der overlejres det ønskede signal. Niveaueet af støjsignalet indstilles således at det ikke generer hørerapparatbrugeren.

10 I praksis udslukker de nævnte to signaler ikke hinanden fuldstændigt og lidt støj samt andre tilbagekoblingssignaler er tilstede i restsignalet på den digitale ledning d og detekteres af korrelationskredsløbet 31, der løbende søger efter korrelation mellem restsignalet og den tidsforsinkede udgave af støjsignalet n. Korrelationskredsløbet 31's udgangssignal er et udtryk for restsignalet og anvendes til at styre filteret 27 ved ændring af filterets filterkoefficienter. Tilpasningen er indrettet således at filteret 27 løbende indstilles så modkoblingssystemet søger mod en situation, hvor støjen udslukkes. Fysiske ændringer i omgivelserne for høreapparatet og høreapparatbrugeren og begrænsninger i den algoritme, der styrer systemet, medfører, at fuldstændig udslukning ikke altid kan opnås, hvorfor algoritme-styre-kredsløbet 79 er indført.

25 Yderligere detaljer ved et høreapparat vist på tegningens figur 1 og omfattende en brugerbetjent volumenkontrol 73 samt en ligeledes brugerbetjent indstillingsmodstand 75 for indstilling af niveaueet i begrænserkredsløbet 15.

30 I et høreapparat er der sædvanligvis en volumenkontrol, som kan betjenes af brugeren. Denne kan anbringes i mikrofonforstærkeren eller foran udgangsforstærkeren, men i begge tilfælde må tilpasningsfilteret 27 ændre sine koefficienter, når volumenkontrollens indstilling ændres. I figur 1 er vist en multiplikationsforstærker 77 mellem udtaget 39

og amplitudebegrænserkredsløbet 15. Forstærkeren 77 er koblet til volumenkontrollen 73 via en A/D konverter 67 og fra indgangen til forstærkeren 77 er ført en digital leder 86 til algoritme-styrekredsløbet 79, så dette kredsløb kan af-
5 taste volumen-indstillingen.

Amplitudebegrænsekredsløbet 15 kan også være brugerbetjent, idet potentiometeret 75 er koblet til forstærkeren 15 via en A/D konverter 69. Det er jo ønskeligt, at begrænseren 15
10 er brugerbetjent, da begrænserkredsløbet bestemmer det maksimale lydtryksniveau, som kan påtrykkes brugerens øre. Udgangsniveauet kan reduceres uden at reducere forstærkerens forstærkning, hvilket er af betydning. Det maksimale positive og negative lydtryk reguleres således af brugeren med
15 potentiometeret 75. I figur 1 er iøvrigt vist, at de 2 potentiometre 73 og 75 er forbundet til en fælles reference-spændingskilde 71.

Som foran nævnt kan niveauet af den tilsatte støj reguleres for at opnå optimal tilpasning. I figur 1 ses at forstærkeren 35 efter støjgeneratoren 33 styres af en beregningsen-
20 heden 65, for eksempel i form af et enkelttrins rekursiv-filter. Enheden 65 er via tovejsforbindelsen 82, 83 koblet til algoritme-styreenheden 79, så enheden 79 kan hente støj-
25 amplituden fra enheden 65, og således at signal/målestøjforholdet kan reguleres af algoritme-styreenheden 79.

For at være sikker på, at et høreapparat med indbygget digital modkobling ikke går i sving af sig selv, må man sørge
30 for, at opdateringen i korrelationskredsløbet 31 sker ud fra en algoritme, der tager hensyn til, at fejl i filteret er afhængig af: Antal koefficienter, signal/støjforhold, inputniveau, volumen og hvor meget signalet peak-klippes, hvilket er nærmere forklaret i ansøgers tidligere ansøgning
35 nr. 432/92.

Figur 2 viser samme høreapparat som vist på figur 1, men kredsløbet er tilføjet et yderligere digitalt kredsløb 210, hvis funktion er at måle og beregne sløjfeforstærkningen (loop gain), samt at regulere høreapparatets forstærkning, 5 hvis denne er større end eller lig med K. Til regulering af høreapparatets forstærkning er indført et digitalt multiplikationskredsløb 211 foran amplitudebegrænserkredsløbet 15 og efter det digitale multiplikationskredsløb 77.

10 Kredsløbet 210 modtager informationer om filter-koefficienterne fra korrelationskredsløbet 31, samt oplysninger om indstillingen af den brugerbetjente volumenkontrol 73, idet det digitale udgangssignal fra A/D omsætteren 67 føres til det yderligere digitale kredsløb 210 via den digitale ledning 15 203.

Ved et antal frekvenser foretager det digitale kredsløb 210 en beregning af sløjfeforstærkningen og styrer ved hjælp af den digitale ledning 202 algoritmekontrolkredsløbet 79, 20 samt øger eller reducerer forstærkningen ved at multiplikere digitale værdier via multiplikationskredsløbet 211.

Hvis man på grund af det digitale modkoblingskredsløb i figur 1 er i stand til at opnå en forøget maksimal forstærkning på 15 dB, kan situationen under brug være den, at 25 brugeren allerede har øget forstærkningen ved hjælp af volumenkontrollen 73, således at systemet f.eks. yderligere er i stand til at yde 10 dB ekstra forstærkning. Hvis en pludselig ændring i den uønskede tilbagekoblingsvej w for- 30 øger tilbagekoblingen med f.eks. 6 dB, vil det digitale kompenseringskredsløb måske ikke kunne neutralisere denne stigning i niveauet i tilbagekoblingsvejen, og høreapparatet går i sving og huler, indtil der bliver skruet ned på volumenkontrollen 73, eller indtil den uønskede tilbagekobling er reduceret. Dette problem, og virkningerne heraf, 35 kan fjernes eller reduceres væsentligt med opfindelsen,

idet kredsløbet 210 ved forskellige forud udvalgte frekvenser foretager en tilnærmet beregning af den aktuelle sløjfeforstærkning, og multiplicerer denne med volumenkontrollen 73's indstilling. Hvis resultatet heraf er større end
5 en bestemt værdi, reduceres forstærkningen ved hjælp af multiplikationskredsløbet 211 til et lavere niveau i forhold til den indstilling, brugeren har foretaget med volumenkontrollen 73. Når tilstanden med forhøjet niveau i den uønskede tilbagekoblingsvej ophører eller reduceres, vil
10 kredsløbet 210 sørge for, at apparatets forstærkning justeres op igen, og justeres tilbage til det niveau, brugeren har valgt, hvis dette er muligt. Kredsløbet 210 modtager nemlig løbende oplysninger om filter-koefficienterne i korrelationskredsløbet 31. Tilbageindstillingen vil selvfølgelig foregå i mindre trin, dels for at undgå, at apparatet
15 går i sving igen, og dels for at brugeren skal bemærke indreguleringen mindst muligt.

Samtidig med at forstærkningen reduceres, vil algoritmestyrerekredsløbet 79 blive koblet således, at det fungerer efter den såkaldte statistisk sikre algoritme.

20

Hvis man betegner:

25 volumenkontrollens indstilling: vol,

sløjfeforstærkningen: Gain (FIRCOEF),

en konstant: K, som kan være frekvensafhængig,

30

gælder:

$$\text{vol} \cdot \text{Gain (FIRCOEF)} > K \Rightarrow A < 1$$

35 hvor A angiver den faktor, som det digitale kredsløb 211 multiplicerer med.

Kredsløbets totale åbne sløjfeforstærkning, dvs.:

$\text{vol} \cdot \text{Gain (FIRCOEF)} \cdot A < 1,$

5

udregnes løbende og for udvalgte frekvenser, så det digitale kredsløb 210 løbende foretager regulering af A.

10

15

20

25

30

35

P A T E N T K R A V

1. Høreapparat, hvori akustisk tilbagekobling mellem lyd-
gengiver (11) og mikrofon (5) er elektronisk kompenseret
5 ved hjælp af et elektrisk tilbagekoblingssignal under an-
vendelse af et indstilleligt digitalt filter (27, 31), hvis
koefficienter tilpasses efter den aktuelle akustiske til-
bagekobling, og hvor mikrofonsignalet omsættes til digitale
signaler (17), der passerer et amplitude-begrænsningskreds-
10 løb (15), som er indrettet til at hindre, at lydgengiveren
udstyres, så den når ind i sit uliniære område, og hvor mi-
krofonsignalet tilsættes et digitalt støjsignal (33, 21)
og et digitalt kompenseringsignal (27, 23), hvorefter det
sammensatte signal føres til en digital-analog omsætter
15 (19) og det analoge signal herfra føres til lydgengiveren
(11) via en forstærker (9), k e n d e t e g n e t ved, at
det yderligere omfatter et digitalt kredsløb (210), der er
koblet til det digitale filter (27, 31) for at aftaste de
aktuelle filter-koefficienter og derved overvåge apparatets
20 sløjfeforstærkning, og at der i høreapparatets digitale
signalvej mellem kredsløbets A/D omsætter (17) og kreds-
løbets D/A omsætter (19) er anbragt mindst ét digitalt mul-
tiplikationskredsløb (211), der er koblet til nævnte yder-
ligere digitale kredsløb (210), og herudfra regulerer appa-
25 ratets forstærkning.

2. Høreapparat ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved,
at det yderligere omfatter et digitalt kredsløb (79), der
efter mindst én bestemt funktion overvåger og styrer opda-
30 teringen af det digitale filter (27), idet det digitale
sløjfeforstærkningsovervågningskredsløb (210) er koblet
hertil.

3. Høreapparat ifølge krav 1 eller 2 og omfattende en bru-
35 gerbetjent volumenkontrol (73), der via en A/D omsætter
(67) regulerer forstærkningen i høreapparatet,

k e n d e t e g n e t ved, at det digitale sløjfeforstærkningsovervågningskredsløb (210) er koblet (203) til volumenkontrolkredsløbet, så det modtager digitale signaler, der repræsenterer volumenkontrollens indstilling.

