

# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902091161A1

Publication Date

20140410

Applicant

INSTITUT FUER RUNDFUNKTECHNIK GMBH

Title

METODO E APPARATO PER IL DOWN-MIXING DI UN SEGNALE AUDIO  
MULTICANALE

## **METODO E APPARATO PER IL DOWN-MIXING DI UN SEGNALE AUDIO MULTICANALE**

### **DESCRIZIONE**

#### **Campo dell'invenzione**

La presente invenzione riguarda un metodo e un apparato per il down-mixing di un segnale audio multicanale.

#### **Descrizione dell'arte nota**

Sono note tecniche di conversione di segnali audio multicanale in segnali bicanale, le quali sono normalmente denominate tecniche di "down-mixing".

Il down-mixing permette di riprodurre un segnale audio multicanale originale mediante un normale apparecchio stereo con due canali e due casse acustiche.

Un esempio di segnale audio multicanale ben noto è quello del cosiddetto sistema sonoro surround. La rappresentazione surround comprende, in aggiunta ai due canali stereo anteriori L e R, un canale anteriore centrale aggiuntivo C e due canali posteriori surround Ls, Rs.

Tali segnali surround vengono inviati, durante la riproduzione, a corrispondenti diffusori posizionati in una sala d'ascolto, ad esempio come illustrato in Fig. 1, e sono percepiti da un ascoltatore posizionato in una posizione P1.

Come noto, il down-mixing dei segnali surround originali (L, R, C, Ls, Rs) in un segnale stereo (Lo, Ro) si ottiene mediante una combinazione lineare dei segnali originali, ad esempio come quella data dalle formule seguenti:

$$Lo = L + \alpha \cdot C + \beta \cdot Ls$$

$$Ro = R + \alpha \cdot C + \beta \cdot Rs$$

in cui  $\alpha$  e  $\beta$  sono costanti minori di 1, preferibilmente entrambe uguali a 0.7.

Ciascuno dei due segnali stereo Lo, Ro è ottenuto mediante una combinazione lineare dei segnali anteriore e posteriore dello stesso lato e di quello del canale centrale C.

I segnali Lo e Ro vengono forniti ai diffusori sinistro e destro di un impianto

stereo per la riproduzione verso un ascoltatore, v. Fig. 2. In questo modo, un ascoltatore che si trovi nella posizione P2 percepisce una sensazione (pseudo) surround anche se il segnale surround viene riprodotto dai due diffusori Lo e Ro in forma trasformata mediante down-mixing.

Tuttavia, così facendo l'ascoltatore percepirà distorsioni nel segnale downmixato.

#### Breve descrizione dell'invenzione

Lo scopo principale della presente invenzione consiste quindi nell'indicare un metodo e un apparato di down-mixing che evitino almeno parzialmente tali distorsioni.

Uno scopo della presente invenzione consiste, secondo la rivendicazione 1, in un metodo per il down-mixing di un segnale audio m-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio n-canale (Ro, Lo, Rso, Lso), in cui m è un numero intero con  $m > n$  e n è un numero intero con  $n \geq 2$ , comprendente il passo di generare uno dei segnali audio n-canale di un lato (destro o sinistro) di un ascoltatore (Ro, Lo, Rso, Lso) mediante una combinazione di:

- un primo termine comprendente una componente di segnale (R, L, Rs, Ls) del segnale audio m-canale dello stesso lato, e
- un secondo termine dipendente da m, comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio m-canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss) moltiplicate per almeno una rispettiva funzione di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8), detta funzione di filtraggio essendo dipendente da:
  - una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore della rispettiva componente di segnale dell'ulteriore segnale audio m-canale e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore in una situazione di riproduzione m-canale, e
  - una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un diffusore di detto uno dei segnali audio n-canale downmixati (Ro, Lo, Rso, Lso) e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di

un ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

Un ulteriore scopo della presente invenzione consiste in un apparato, secondo la rivendicazione 2, per il down-mixing di un segnale audio m-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio n-canale (Ro, Lo), in cui m è un numero intero con  $m > n$  e n è un numero intero con  $n \geq 2$ , comprendente

- ingressi per ricevere il segnale audio digitale m-canale,
- un circuito di down-mixing per convertire il segnale audio m-canale nel segnale audio stereo n-canale,
- uscite per fornire il segnale audio stereo n-canale a rispettivi diffusori, caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è provvisto di mezzi per generare uno dei segnali audio n-canale di un lato (destro o sinistro) di un ascoltatore (Ro, Lo, Rso, Lso), mediante una combinazione di:
  - un primo termine comprendente una componente di segnale (R, L, Rs, Ls) del segnale audio m-canale dello stesso lato, e
  - un secondo termine dipendente da m, comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio m-canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss ) moltiplicate per almeno una rispettiva funzione di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8), detta funzione di filtraggio essendo dipendente da:
    - una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore della rispettiva componente di segnale dell'ulteriore segnale audio m-canale e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore in una situazione di riproduzione m-canale, e
    - una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un diffusore di detto uno dei segnali audio n-canale downmixati (Ro, Lo, Rso, Lso) e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore nella situazione di riproduzione n-canale.

Ulteriori scopi consistono in apparati in cui  $m = 3$  o  $m = 4$  o  $m = 5$  o  $m = 6$  o  $m = 7$ , e  $n = 2$  o  $n = 4$ , in conformità alle caratteristiche dell'apparato precedentemente definito.

Questi e altri scopi sono raggiunti per mezzo di un apparato e un metodo per il

down-mixing di un segnale audio multicanale in un segnale audio bicanale come descritto nelle rivendicazioni allegate, che sono parte integrante della presente descrizione.

L'invenzione si basa sul fatto che, combinando nel processo di down-mixing, ad esempio, le componenti di segnale Ls e Rs rispettivamente con, ad esempio, i segnali anteriore sinistro e anteriore destro, detti segnali Ls e Rs saranno percepiti rispettivamente come provenienti dalle direzioni "anteriore sinistra" e "anteriore destra", mentre essi sono normalmente percepiti (nella situazione di riproduzione pentacanale) rispettivamente dalle direzioni "posteriore sinistra" e "posteriore destra".

Ciò causa distorsioni nei segnali downmixati percepiti, che non consentono all'ascoltatore di riconoscere la vera origine fisica del suono, come invece avviene riproducendo il segnale multicanale originale con un sistema di riproduzione multicanale. Pre-elaborando mediante pre-filtraggio, come qui rivendicato, i segnali provenienti da tali posizioni che vanno "perduti" durante il processo di down-mixing, è possibile ottenere un riposizionamento che migliora la percezione da parte dell'ascoltatore, in modo tale che le componenti di segnale "perdute" nel processo di down-mixing possano almeno sostanzialmente essere percepite dalle loro posizioni originali.

#### Breve descrizione dei disegni

L'invenzione risulterà maggiormente chiara dalla descrizione dettagliata che segue, fornita a puro titolo esemplificativo e non limitativo e da leggersi con riferimento ai disegni allegati, in cui:

- la Figura 1 mostra un esempio di disposizione di cinque diffusori per la riproduzione di un segnale sonoro surround, con  $m=5$ ;
- la Figura 2 mostra un esempio di disposizione di due diffusori per la riproduzione di un segnale sonoro bicanale downmixato, con  $n=2$ ;
- la Figura 3 mostra un esempio di disposizione di sette diffusori per la

riproduzione di un segnale sonoro m-canale, con  $m=7$ ;

- le Figure 4, 5, 6 e 7 mostrano schemi a blocchi di alcuni esempi di realizzazione dell'apparato secondo l'invenzione, con  $n=2$  e, rispettivamente,  $n=3, 4, 5$  e  $7$ ;
- la Figura 8 mostra uno schema a blocchi di un ulteriore esempio di realizzazione dell'apparato secondo l'invenzione, nel caso di  $n=4$ .

Nelle figure, gli stessi numeri e lettere di riferimento indicano parti uguali o funzionalmente equivalenti.

#### Descrizione dettagliata delle forme di realizzazione preferite

Il metodo della presente invenzione mira a correggere le distorsioni sopra descritte pre-elaborando le componenti di segnale m-canale prima di combinarle rispettivamente nei segnali Lo e Ro.

In una configurazione tipica si avrà una situazione simile a quella sopra descritta con riferimento alle Figure 1 e 2, in cui ( $m=5$ ): L, R, C, Ls e Rs sono, rispettivamente, le componenti anteriore sinistra, anteriore destra, centrale, posteriore sinistra e posteriore destra del segnale audio multicanale già menzionate in precedenza, riprodotte da rispettivi diffusori.

Il numero di canali presenti nel segnale audio multicanale di ingresso può essere diverso, ossia  $m=3$ , in cui si avranno le componenti di segnale R, L, C;  $m=4$  con R, L, Rs, Ls;  $m=5$  con tutte le componenti di segnale L, R, C, Ls e Rs, e così via anche con valori più elevati di  $m$ .

Di seguito si descrivono alcuni esempi specifici non limitativi di realizzazione del metodo secondo la presente invenzione.

Una prima forma di realizzazione dell'invenzione, in cui  $m=3$  (L, R, C) e  $n=2$  (Lo, Ro), come mostrato in Fig. 4, prevede una prima H1 e una seconda H2 pre-elaborazione di una componente di segnale surround anteriore centrale del segnale audio m-canale C prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio n-canale. Il passo di pre-elaborazione della componente di segnale surround anteriore centrale C è

equivalente a un pre-filtraggio operato da una prima H1 e una seconda H2 funzione di filtraggio, rispettivamente, le quali almeno sostanzialmente soddisfano le formule seguenti:

$$H(c-re) = H1 * H(fr-re), \text{ e}$$

$$H(c-le) = H2 * H(fl-le)$$

in cui H(c-re) e H(c-le) sono le caratteristiche di frequenza dei percorsi trasmissivi tra la posizione del diffusore anteriore centrale e le posizioni dell'orecchio destro e dell'orecchio sinistro, rispettivamente, dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale, e

H(fr-re) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo n-canale, e

H(fl-le) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo n-canale.

Un'altra forma di realizzazione dell'invenzione, in cui m=4 (L, Ls, R, Rs) e n=2 (Lo, Ro) è mostrata in Fig. 5 e prevede la seguente pre-elaborazione.

Più precisamente, il segnale Rs viene pre-elaborato mediante pre-filtraggio Rs ad opera di una terza funzione di filtraggio H3, il quale terzo filtro soddisfa la formula seguente:

$$H(br-re) = H3 * H(fr-re)$$

e Ls viene pre-elaborato mediante pre-filtraggio Ls ad opera di un quarto filtro H4, il quale quarto filtro soddisfa la formula seguente:

$$H(bl-le) = H4 * H(fl-le),$$

in cui

H(bl-le) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "posteriore sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore nella situazione di riproduzione surround m-canale,

H(br-re) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "posteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore nella

situazione di riproduzione surround m-canale,

$H(fl-le)$  e  $H(fr-re)$  sono definiti sopra.

In questo modo, l'ascoltatore può percepire con l'orecchio destro la seguente componente di segnale  $R_s$  in una situazione di riproduzione stereo ( $n=2$ ):

$$R_s \cdot H_3 \cdot \beta \cdot H(fr-re) = R_s \cdot H(br-re) / H(fr-re) \cdot \beta \cdot H(fr-re) = \beta \cdot R_s \cdot H(br-re),$$

il che può essere ciò che percepirebbe l'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale ( $m=5$ ).

Siccome una soluzione esatta per  $H_3$  in generale non esiste o non risulta praticamente realizzabile, occorre utilizzare un'approssimazione  $H_3'$ , in cui:

$$H_3' \cdot H(fr-re) \approx H(br-re).$$

Un calcolo equivalente può naturalmente applicarsi anche alla percezione della componente di segnale  $L_s$  da parte dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore.

$$L_s \cdot H_4 \cdot \beta \cdot H(fl-le) = L_s \cdot H(bl-le) / H(fl-le) \cdot \beta \cdot H(fl-le) = \beta \cdot L_s \cdot H(bl-le),$$

e un'approssimazione equivalente

$$H_4' \cdot H(fl-le) \approx H(bl-le).$$

In generale, il metodo di down-mixing genera una componente del canale destro ( $R_o$ ) del segnale audio n-canale nel modo seguente:

$$R_o = \delta \cdot R + \beta \cdot H_3 \cdot R_s + A(m)$$

in cui  $R$  è la componente di segnale anteriore destra del canale audio m-canale,  $\delta$  e  $\beta$  sono fattori di moltiplicazione preferibilmente  $\leq 1$ , e  $A(m)$  è un'equazione dipendente da  $m$ .

Analogamente, l'unità di down-mixing genera la componente del canale sinistro ( $L_o$ ) del segnale audio n-canale nel modo seguente:

$$L_o = \delta \cdot L + \beta \cdot H_4 \cdot L_s + B(m)$$

in cui  $L$  è la componente di segnale anteriore sinistra del segnale audio m-canale,  $\delta$  e  $\beta$  sono fattori di moltiplicazione preferibilmente  $\leq 1$ , e  $B(m)$  è un'equazione dipendente da  $m$ .

Per  $m=3$  (forma di realizzazione di Fig. 4), sono presenti le componenti  $L$ ,  $R$ ,  $C$ , mentre sono assenti le componenti  $R_s$  e  $L_s$ , per cui si avranno le formule seguenti:

$$R_o = \delta \cdot R + \alpha \cdot H_1 \cdot C$$

$$L_o = \delta \cdot L + \alpha \cdot H_2 \cdot C$$

in cui  $A(m) = \alpha \cdot H_1 \cdot C$  e  $B(m) = \alpha \cdot H_2 \cdot C$ , e risultano assenti i contributi relativi a  $R_s$  e  $L_s$ .

Per  $m=4$  (forma di realizzazione di Fig. 5), sono presenti le componenti  $L$ ,  $R$ ,  $L_s$ ,  $R_s$  mentre è assente la componente  $C$ , cosicché nelle suddette formule di  $R_o$ ,  $L_o$  si avrà  $A(m) = B(m) = 0$ .

Per  $m = 5$  (forma di realizzazione di Fig. 6), sono presenti le componenti  $L$ ,  $R$ ,  $C$ ,  $L_s$ ,  $R_s$ , e nelle suddette formule di  $L_o$  si avrà  $R_o A(m) = \alpha \cdot H_1 \cdot C$  e  $B(m) = \alpha \cdot H_2 \cdot C$ , in cui  $C$  è la componente di segnale centrale del segnale audio  $m$ -canale già definita in precedenza con  $m=5$ ,  $\alpha$  è un fattore di moltiplicazione minore di 1, e  $H_1$ ,  $H_2$  sono il primo filtro e il secondo filtro già definiti.

Un'ulteriore forma di realizzazione del metodo dell'invenzione (v. Fig. 7) si applica a una situazione con un segnale audio multicanale di ingresso con  $m=7$  canali di ingresso. Con riferimento a Fig. 3, in questo caso si avranno ancora le cinque componenti del segnale audio multicanale  $L$ ,  $R$ ,  $C$ ,  $L_s$  e  $R_s$ , rispettivamente anteriore sinistra, anteriore destra, centrale, posteriore sinistra e posteriore destra, della situazione con  $m=5$ , con in più due componenti aggiuntive date da un canale laterale destro  $R_{ss}$  e un canale laterale sinistro  $L_{ss}$ .

In questo caso di  $m=7$ , il metodo dell'invenzione prevede una quinta pre-elaborazione del segnale con una funzione di filtraggio ( $H_5$ ) per pre-elaborare la componente di segnale laterale destra del segnale audio  $m$ -canale ( $R_{ss}$ ) prima di downmixare il segnale audio  $m$ -canale nel segnale audio stereo  $n$ -canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale destra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio; la funzione di filtraggio  $H_5$  almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(sr-re) = H_5 * H(fr-re),$$

in cui  $H(sr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "laterale destro"  $R_{ss}$  e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore

nella situazione di riproduzione surround eptacanalale, e

$H(fr-re)$  è la caratteristica di frequenza sopra definita del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “anteriore destro” e la posizione dell’orecchio destro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo n-canale.

Il metodo dell’invenzione prevede inoltre una sesta pre-elaborazione del segnale con una funzione di filtraggio ( $H_6$ ) per pre-elaborare la componente di segnale laterale sinistra del segnale audio m-canale ( $L_{ss}$ ) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio stereo n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale sinistra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio; la funzione di filtraggio  $H_6$  almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(sl-le) = H_6 * H(fl-le),$$

in cui  $H(sl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “laterale sinistro”  $L_{ss}$  e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore nella situazione di  $m=7$ , e

$H(fl-le)$  è la caratteristica di frequenza sopra definita del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “anteriore sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo n-canale.

Nel caso di  $m=7$ ,  $A(m) = \alpha \cdot H_1 \cdot C + Y \cdot H_5 \cdot R_{ss}$  e  $B(m) = \alpha \cdot H_2 \cdot C + Y \cdot H_6 \cdot L_{ss}$ .

Ulteriori forme di realizzazione del metodo secondo l’invenzione si applicano a una situazione in cui i segnali della componente di segnale “laterale destra” e della componente di segnale “laterale sinistra” del segnale audio m-canale sono pre-elaborati e successivamente combinati con la componente di segnale “posteriore destra” e la componente di segnale “posteriore sinistra” e quindi inviati ai diffusori surround destro e sinistro di un impianto di riproduzione audio n-canale. Questa situazione è rappresentata nella forma di realizzazione di Fig. 8. In questi casi il metodo secondo l’invenzione prevede una settima pre-elaborazione del segnale con una funzione di filtraggio ( $H_7$ ) per pre-elaborare una componente di segnale laterale destra del segnale audio m-canale ( $R_{ss}$ ) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel

segnale audio n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale destra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio; la funzione di filtraggio  $H7$  almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(sr-re) = H7 * H(br-re),$$

in cui  $H(sr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “laterale destro” e la posizione dell’orecchio destro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(br-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “posteriore destro”  $Rso$  e la posizione dell’orecchio destro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

In questi casi il metodo dell’invenzione prevede ulteriormente un’ottava pre-elaborazione del segnale con una funzione di filtraggio ( $H8$ ) per pre-elaborare una componente di segnale laterale sinistra del segnale audio m-canale ( $Lss$ ) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente del segnale laterale sinistro essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio; la funzione di filtraggio  $H8$  almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(sl-le) = H8 * H(bl-le),$$

in cui  $H(sl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “laterale sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(bl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “posteriore sinistro”  $Lso$  e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

Nei suddetti casi vengono generate ulteriori componenti del segnale n-canale, ossia:

$$Rso = \epsilon \cdot Rs + \zeta \cdot H7 \cdot Rss \text{ e}$$

$$Lso = \epsilon \cdot Ls + \zeta \cdot H8 \cdot Lss, \text{ in cui}$$

$Rso$  è il segnale composito applicato al diffusore posteriore destro,  $Lso$  è il segnale composito applicato al diffusore posteriore sinistro,  $\epsilon$  e  $\zeta$  sono fattori di moltiplicazione

preferibilmente  $\leq 1$ .

Preferibilmente, in questo caso:

$$R_o = \delta \cdot R$$

$$L_o = \delta \cdot L$$

In questa forma di realizzazione, il down-mixing prevede l'aggiunta dei segnali dei diffusori laterale sinistro e laterale destro rispettivamente ai diffusori posteriore sinistro e posteriore destro. Quindi, assumendo  $m=6$  (R, Rs, Rss, L, Ls, Lss), il down-mixing risultante sarà  $n=4$  (R, Rso, L, Lso), come mostrato in Fig. 8.

In un'ulteriore forma di realizzazione, partendo dalla forma di realizzazione precedente si ha la presenza di un'ulteriore componente centrale C nel segnale m-canale, la quale viene applicata alle componenti  $R_o$  e  $L_o$  del segnale n-canale moltiplicata rispettivamente per i suddetti coefficienti  $H_1$ ,  $H_2$ , ottenendo:

$$R_o = \delta \cdot R + H_1 \cdot C;$$

$$L_o = \delta \cdot L + H_2 \cdot C$$

In generale, la presenza dei fattori di moltiplicazione ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$ ) nelle varie formule tiene in considerazione l'esigenza di controllare il livello globale del suono generato dal segnale downmixato, riducendo proporzionalmente i contributi delle componenti sonore originali. Ciascuna di esse viene quindi impostata a un valore minore di 1.

Una modalità preferita di realizzazione della funzionalità di filtraggio delle funzioni di filtraggio  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$ ,  $H_5$ ,  $H_6$  consiste nell'implementare un filtro tempo-discreto a risposta finita all'impulso (FIR, Finite Impulse Response) con coefficienti di filtraggio fissi e calcolati preventivamente.

I coefficienti di filtraggio possono essere derivati dalle risposte all'impulso desiderate  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_5$ ,  $K_6$  dei rispettivi filtri.

Ad esempio, per un filtro in forma diretta non ricorsivo, il vettore dei coefficienti è identico alla funzione di risposta all'impulso.  $K_1$  e  $K_2$  sono calcolati come descritto di seguito.

Il calcolo di  $K_1$  si basa sulle risposte all'impulso sul percorso trasmissivo  $K(fr-re)$  e

$K(\text{br-re})$ , che sono le controparti nel dominio temporale delle corrispondenti caratteristiche di frequenza del percorso trasmissivo  $H(\text{fr-re})$ ,  $H(\text{br-re})$ .

Lo stesso vale per il calcolo di  $K_2$ , basato su  $K(\text{fl-le})$  e  $K(\text{bl-le})$ , che corrispondono rispettivamente a  $H(\text{fl-le})$  e  $H(\text{bl-le})$ .

I risultati dei calcoli  $K_1$  e  $K_2$  sono le controparti nel dominio temporale rispettivamente delle funzioni di filtraggio  $H_1$  e  $H_2$ .

Un metodo comune per determinare dette risposte all'impulso sul percorso trasmissivo consiste nel registrarle direttamente con un apparecchio di misurazione dotato di un diffusore e un microfono opportunamente posizionati in una sala, preferibilmente in una camera anecoica.

L'impiego di un microfono montato su una finta testa umana rappresenta il modo più comune, e in questo caso preferito, di ottenere risposte all'impulso in relazione alla testa umana (HRIR, Head-Related Impulse Response), le quali sono le controparti nel dominio temporale delle funzioni di trasferimento in relazione alla testa umana (HRTF, Head-Related Transfer Functions).

Un metodo preferito per il calcolo di  $K_1$  si basa sul concetto noto di approssimazione ai minimi quadrati del sistema di equazione lineare che esprime la convoluzione di un filtro con un segnale di ingresso, identificato con un segnale di uscita.

Questo metodo si basa anche sui concetti noti di filtraggio inverso o deconvoluzione, e sarà descritto brevemente qui di seguito.

In questo caso si avrà:

$$K(\text{fr-re}) (*) K_1 = K(\text{br-re}),$$

in cui  $(*)$  è l'operatore di convoluzione (che denota una convoluzione discreta).

Espandendo il sistema di equazione in forma di matrice, il lato sinistro dell'equazione diventa una matrice Toeplitz formata da  $K(\text{fr-re})$ , moltiplicata per un vettore equivalente a  $K_1$ , e il lato destro dell'equazione è un vettore equivalente a  $K(\text{br-re})$ .

Per questo sistema di equazione lineare si esegue quindi uno dei metodi noti di approssimazione ai minimi quadrati, ad esempio una decomposizione ai valori singolari (SVD, Singular Value Decomposition). In tal modo si ottiene una soluzione appropriata

per K1.

Lo stesso calcolo si esegue rispettivamente per K2 con:

$$K(fl-le) (*) K2 = K(bl-le) .$$

Per quanto riguarda alcuni esempi di realizzazione dell'apparato, ai fini dell'implementazione del metodo per la conversione di un segnale audio m-canale in un segnale audio n-canale secondo la presente invenzione sono da ritenersi valide le seguenti considerazioni.

In caso di trasmissione di un segnale m-canale originale, il metodo dell'invenzione può essere implementato in un normale apparecchio stereo opportunamente modificato per comprendere mezzi atti alla realizzazione del metodo.

Con riferimento alle Figure 4, 5, 6 e 7 si sono descritti quattro schemi a blocchi di altrettanti esempi di apparati secondo l'invenzione, con  $n=2$  e rispettivamente con  $m=3, 4, 5, 7$ . In Fig. 8 è rappresentato un ulteriore esempio di realizzazione con  $m=6$  e  $n=4$ .

Il metodo della presente invenzione può essere vantaggiosamente implementato attraverso un programma informatico comprendente mezzi di codifica di programma per l'implementazione di uno o più passi del metodo allorquando tale programma viene eseguito su un computer. Resta inteso che l'ambito di protezione si estende a tale programma informatico e anche a mezzi leggibili da computer contenenti un messaggio registrato, detti mezzi leggibili da computer comprendendo mezzi di codifica di programma per l'implementazione di uno o più passi del metodo allorquando tale programma viene eseguito su un computer.

L'uomo del ramo potrà apportare cambiamenti, modifiche e variazioni alla presente invenzione o utilizzarla per altre applicazioni sulla base della presente descrizione e dei disegni allegati, che ne illustrano alcune forme di realizzazione preferite.

Non si descrivono qui ulteriori dettagli di implementazione, in quanto l'uomo del ramo sarà in grado di realizzare l'invenzione facendo riferimento agli insegnamenti della presente descrizione.

### **RIVENDICAZIONI**

1. Metodo per il down-mixing di un segnale audio m-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio n-canale (Ro, Lo, Rso, Lso), in cui m è un numero intero con  $m > n$  e n è un numero intero con  $n \geq 2$ , comprendente il passo di generare uno dei segnali audio n-canale di un lato (destro o sinistro) di un ascoltatore (Ro, Lo, Rso, Lso) mediante una combinazione di:

- un primo termine comprendente una componente di segnale (R, L, Rs, Ls) del segnale audio m-canale dello stesso lato, e
- un secondo termine dipendente da m, comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio m-canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss) moltiplicate per almeno una rispettiva funzione di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8), detta funzione di filtraggio essendo dipendente da:

- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore della rispettiva componente di segnale dell'ulteriore segnale audio m-canale e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore in una situazione di riproduzione m-canale, e
- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un diffusore di detto uno dei segnali audio n-canale downmixati (Ro, Lo, Rso, Lso) e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

2. Apparato per il down-mixing di un segnale audio m-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio n-canale (Ro, Lo), in cui m è un numero intero con  $m > n$  e n è un numero intero con  $n \geq 2$ , comprendente:

- ingressi per ricevere il segnale audio digitale m-canale,
  - un circuito di down-mixing per convertire il segnale audio m-canale nel segnale audio stereo n-canale,
  - uscite per fornire il segnale audio stereo n-canale a rispettivi diffusori,
- caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è provvisto di mezzi per generare uno dei segnali audio n-canale di un lato (destro o sinistro) di un ascoltatore (Ro, Lo,

Rso, Lso), mediante una combinazione di:

- un primo termine comprendente una componente di segnale (R, L, Rs, Ls) del segnale audio m-canale dello stesso lato, e
- un secondo termine dipendente da m, comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio m-canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss ) moltiplicate per almeno una rispettiva funzione di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8), detta funzione di filtraggio essendo dipendente da:

- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore della rispettiva componente di segnale dell'ulteriore segnale audio m-canale e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore in una situazione di riproduzione m-canale, e
- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un diffusore di detto uno dei segnali audio n-canale downmixati (Ro, Lo, Rso, Lso) e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore nella situazione di riproduzione n-canale.

3. Apparato per la conversione di un segnale audio m-canale (L, C, R) in un segnale audio n-canale (Ro, Lo) secondo la rivendicazione 2, in cui:

detto circuito di down-mixing è provvisto di una prima e una seconda unità di pre-elaborazione del segnale (H1, H2) per pre-elaborare una componente di segnale surround anteriore centrale del segnale audio m-canale (C) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio n-canale, i passi di pre-elaborazione della componente di segnale surround anteriore centrale essendo equivalenti rispettivamente a una prima e una seconda funzione di pre-filtraggio H1 e H2, le quali prima e seconda funzione di filtraggio H1 e H2 almeno sostanzialmente soddisfano le formule seguenti:

$$H(c-re) = H1 * H(fr-re), \text{ e}$$

$$H(c-le) = H2 * H(fl-le)$$

in cui H(c-re) e H(c-le) sono le caratteristiche di frequenza dei percorsi trasmissivi tra la posizione del diffusore anteriore centrale e le posizioni dell'orecchio destro e

dell'orecchio sinistro, rispettivamente, dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(fr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo n-canale, e

$H(fl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

4. Apparato per la conversione di un segnale audio m-canale (L, R, Ls, Rs) in un segnale audio n-canale (Ro, Lo) secondo la rivendicazione 2, in cui:

detto circuito di down-mixing è provvisto di una terza unità di pre-elaborazione del segnale (H3) per pre-elaborare una componente di segnale surround posteriore destra del segnale audio m-canale (Rs) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale surround posteriore destra essendo equivalente a una terza funzione di pre-filtraggio H3, la quale terza funzione di filtraggio H3 almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(br-re) = H3 * H(fr-re),$$

in cui  $H(br-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "posteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(fr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

5. Apparato per la conversione di un segnale audio m-canale (L,R,Ls,Rs) in un segnale audio n-canale (Ro, Lo) secondo la rivendicazione 2, in cui:

detto circuito di down-mixing è provvisto di una quarta unità di pre-elaborazione del segnale (H4) per pre-elaborare una componente di segnale surround posteriore sinistra del segnale audio m-canale (Ls) prima di downmixare il segnale audio m-canale

nel segnale audio n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale surround posteriore sinistra essendo equivalente a una quarta funzione di pre-filtraggio H4, la quale quarta funzione di filtraggio H4 almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(bl-le) = H4 * H(fl-le)$$

in cui  $H(bl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “posteriore sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(fl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “anteriore sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

6. Apparato secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è atto a generare la componente del canale destro ( $R_o$ ) del segnale audio n-canale nel modo seguente:

$$R_o = \delta \cdot R + \beta \cdot H3 \cdot R_s + A(m)$$

in cui  $R$  è la componente di segnale anteriore destra del segnale audio m-canale,  $\delta$  e  $\beta$  sono fattori di moltiplicazione preferibilmente  $\leq 1$ , e  $A(m)$  è un’equazione dipendente da  $m$ .

7. Apparato secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che l’unità di down-mixing è atta a generare la componente del canale sinistro ( $L_o$ ) del segnale audio n-canale nel modo seguente:

$$L_o = \delta \cdot L + \beta \cdot H4 \cdot L_s + B(m)$$

in cui  $L$  è la componente di segnale anteriore sinistra del segnale audio m-canale,  $\delta$  e  $\beta$  sono fattori di moltiplicazione preferibilmente  $\leq 1$ , e  $B(m)$  è un’equazione dipendente da  $m$ .

8. Apparato secondo le rivendicazioni 6 e 7, caratterizzato dal fatto che, per  $m = 4$  e  $n = 2$ ,  $A(m) = B(m) = 0$ .

9. Apparato secondo le rivendicazioni 3, 6, 7, caratterizzato dal fatto che, per  $m = 5$  e  $n = 2$ ,  $A(m) = \alpha \cdot H1 \cdot C$  e  $B(m) = \alpha \cdot H2 \cdot C$ , in cui  $C$  è la componente di

segnale surround anteriore centrale del segnale audio pentacanales,  $\alpha$  essendo un fattore di moltiplicazione minore di 1.

10. Apparato secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è provvisto di una quinta unità di pre-elaborazione del segnale (H5) per pre-elaborare una componente di segnale laterale destra del segnale audio m-canale (Rss) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale destra essendo equivalente a una quinta funzione di pre-filtraggio H5, la quale quinta funzione di filtraggio H5 almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(sr-re) = H5 * H(fr-re),$$

in cui  $H(sr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "laterale destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore nella situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(fr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

11. Apparato secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è provvisto di una sesta unità di pre-elaborazione del segnale (H6) per pre-elaborare una componente di segnale laterale sinistra del segnale audio m-canale (Lss) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale sinistra essendo equivalente a una sesta funzione di pre-filtraggio H6, la quale sesta funzione di filtraggio H6 almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(sl-le) = H6 * H(fl-le),$$

in cui  $H(sl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "laterale sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore nella situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(fl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore in una

situazione di riproduzione n-canale.

12. Apparato secondo le rivendicazioni 3, 10, 11, caratterizzato dal fatto che, per  $m = 7$ ,  $A(m) = \alpha \cdot H1 \cdot C + Y \cdot H5 \cdot Rss$  e  $B(m) = \alpha \cdot H2 \cdot C + Y \cdot H6 \cdot Lss$ .

13. Apparato secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 3 a 7 e da 10 a 12, caratterizzato dal fatto che  $n = 2$ .

14. Apparato per la conversione di un segnale audio m-canale (L,Ls,Lss,R,Rs,Rss) in un segnale audio n-canale (Ro,Lo) secondo la rivendicazione 2, in cui:

detto circuito di down-mixing è provvisto di una settima unità di pre-elaborazione del segnale (H7) per pre-elaborare una componente di segnale laterale destra del segnale audio m-canale (Rss) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale destra essendo equivalente a una settima funzione di pre-filtraggio H7, la quale settima funzione di filtraggio H7 almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(sr-re) = H7 * H(br-re),$$

in cui  $H(sr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "laterale destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(br-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "posteriore destro" (Rso) e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

15. Apparato per la conversione di un segnale audio m-canale (L,Ls,Lss,R,Rs,Rss) in un segnale audio n-canale (Ro,Lo) secondo la rivendicazione 2, in cui:

detto circuito di down-mixing è provvisto di un'ottava unità di pre-elaborazione del segnale (H8) per pre-elaborare una componente di segnale laterale sinistra del segnale audio m-canale (Lss) prima di downmixare il segnale audio m-canale nel segnale audio n-canale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale sinistra essendo equivalente a un'ottava funzione di pre-filtraggio H8, la quale ottava funzione

di filtraggio H8 almeno sostanzialmente soddisfa la formula seguente:

$$H(sl-le) = H7 * H(bl-le),$$

in cui  $H(sl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “laterale sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione surround m-canale, e

$H(bl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “posteriore sinistro” (Lso) e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione n-canale.

16. Apparato secondo le rivendicazioni 14 e 15, caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è atto a generare un segnale audio n-canale comprendente una componente anteriore destra (Ro), una componente anteriore sinistra (Lo), una componente posteriore destra (Rso) e una componente posteriore sinistra (Lso), in cui:

- $Ro = \delta \cdot R$ ;
- $Lo = \delta \cdot L$ ;
- $Rso = \epsilon \cdot Rs + \zeta \cdot H7 \cdot Rss$ ; e
- $Lso = \epsilon \cdot Ls + \zeta \cdot H8 \cdot Lss$ .

17. Apparato secondo le rivendicazioni 14 e 15, caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è atto a generare un segnale audio n-canale comprendente una componente anteriore destra (Ro), una componente anteriore sinistra (Lo), una componente posteriore destra (Rso) e una componente posteriore sinistra (Lso), in cui:

- $Ro = \delta \cdot R + H1.C$ ;
- $Lo = \delta \cdot L + H2.C$ ;
- $Rso = \epsilon \cdot Rs + \zeta \cdot H7 \cdot Rss$ ; e
- $Lso = \epsilon \cdot Ls + \zeta \cdot H8 \cdot Lss$ .

**CLAIMS**

1. Method for down-mixing of a m-channel audio signal (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) into a n-channel audio signal (Ro, Lo, Rso, Lso), where m is an integer for which holds  $m > n$  and n is an integer for which holds  $n \geq 2$ , comprising the step of generating one of the n-channel audio signals of one side (right or left) of a listener (Ro, Lo, Rso, Lso) , by a combination of:

- a first term comprising a signal component (R, L, Rs, Ls) of the m-channel audio signal of the same side, and
- a second term dependent of m, comprising one or more of further signal components of the m-channel audio signal (C, Ls, Rs, Rss, Lss ) multiplied by at least one respective filtering function (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8) , said filtering function being dependent on:

- a frequency characteristic of the transmission path between the position of the loudspeaker of the respective signal component of the further m-channel audio signal, and a position of the right ear or left ear, respectively, of a listener in an m-channel reproduction situation, and
- a frequency characteristic of the transmission path between the position of a loudspeaker of the said one of the n-channel audio down-mixed signals, (Ro, Lo, Rso, Lso), and a position of the right ear or left ear, respectively, of a listener in an n-channel reproduction situation.

2. Apparatus for down-mixing an m-channel audio signal (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) into a n-channel audio signal (Ro, Lo), where m is an integer for which holds  $m > n$  and n is an integer for which holds  $n \geq 2$ , comprising

- inputs for receiving the m-channel digital audio signal,
- a down-mixing circuit for converting the m-channel audio signal into the n-channel stereo audio signal,
- outputs for supplying the n-channel stereo audio signal to respective loudspeakers,

characterized in that the down-mixing circuit is provided with means for generating one of the n-channel audio signals of one side (right or left) of a listener (Ro, Lo, Rso, Lso), by a combination of:

- a first term comprising signal component (R, L, Rs, Ls) of the m-channel audio signal of the same side, and
- a second term dependent of m, comprising one or more of further signal components of the m-channel audio signal (C, Ls, Rs, Rss, Lss ) multiplied by at least one respective filtering function (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8) said filtering function being dependent on:

- a frequency characteristic of the transmission path between the position of the loudspeaker of the respective signal component of the further m-channel audio signal, and a position of the right ear or left ear, respectively, of a listener in an m-channel reproduction situation, and
- a frequency characteristic of the transmission path between the position of a loudspeaker of the said one of the n-channel audio down-mixed signals (Ro, Lo, Rso, Lso), and a position of the right ear or left ear, respectively, of a listener in the n-channel reproduction situation.

3. Apparatus for converting an m-channel audio signal (L, C, R) into a n-channel audio signal (Ro, Lo), , as in claim 2, wherein:  
 said down-mixing circuit is provided with first and second signal pre-processing units (H1, H2) for pre-processing a front-center surround signal component of the m-channel audio signal (C) prior to down-mixing the m-channel audio signal into the n-channel audio signal, the pre-processing steps on the front-center surround signal component being equivalent to first and second pre-filtering functions H1 and H2 respectively, which first and second filtering functions H1 and H2 at least substantially satisfy the following formulae:

$$H(c-re) = H1 * H(fr-re), \text{ and}$$

$$H(c-le) = H2 * H(fl-le)$$

where  $H(c-re)$  and  $H(c-le)$  are the frequency characteristics of the transmission paths between the position of the front-center loudspeaker and the positions of the right ear and left ear, respectively, of the listener, in an m-channel surround reproduction situation, and

$H(fr-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-right” loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in an n-channel stereo reproduction situation, and

$H(fl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in an n-channel reproduction situation.

4. Apparatus for converting an m-channel audio signal (L, R, Ls, Rs) into an n-channel audio signal (Ro, Lo), as in claim 2, wherein said down-mixing circuit is provided with a third signal pre-processing unit (H3) for pre-processing a back right surround signal component of the m-channel audio signal (Rs) prior to down-mixing the m-channel audio signal into the n-channel audio signal, the pre-processing step on the back right surround signal component being equivalent to a third pre-filtering function H3, which third filtering function H3 at least substantially satisfies the following formula:

$$H(br-re) = H3 * H(fr-re),$$

where  $H(br-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “back-right” loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in an m-channel surround reproduction situation, and

$H(fr-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-right” loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in a n-channel reproduction situation.

5. Apparatus for converting an m-channel audio signal (L,R,Ls,Rs) into an n-channel audio signal (Ro, Lo), as in claim 2, wherein: said down-mixing circuit is provided with a fourth signal pre-processing unit (H4) for

pre-processing a back left surround signal component of the m-channel audio signal ( $L_s$ ) prior to down-mixing the m-channel audio signal into the n-channel audio signal, the pre-processing step on the back left surround signal component being equivalent to a fourth pre-filtering function  $H_4$ , which fourth filtering function  $H_4$  at least substantially satisfies the following formula:

$$H(bl-le) = H_4 * H(fl-le)$$

where  $H(bl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “back-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in an m-channel surround reproduction situation, and

$H(fl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in an n-channel reproduction situation.

6. Apparatus as claimed in claim 4, characterized in that the down-mixing circuit is adapted to generate the right hand channel component ( $R_o$ ) of the n-channel audio signal in the following way:

$$R_o = \delta \cdot R + \beta \cdot H_3 \cdot R_s + A(m)$$

where  $R$  is the front right signal component of the m-channel audio signal,  $\delta$  and  $\beta$  are multiplication factors preferably  $\leq 1$ , and  $A(m)$  an equation dependent of  $m$ .

7. Apparatus as claimed in claim 5, characterized in that the down-mixing unit is adapted to generate the left hand channel component ( $L_o$ ) of the n-channel audio signal in the following way:

$$L_o = \delta \cdot L + \beta \cdot H_4 \cdot L_s + B(m)$$

where  $L$  is the front left signal component of the m-channel audio signal,  $\delta$  and  $\beta$  are multiplication factors preferably  $\leq 1$ , and  $B(m)$  an equation dependent of  $m$ .

8. Apparatus as claimed in claim 6 and 7, characterized in that for  $m = 4$  and  $n = 2$ ,  $A(m) = B(m) = 0$ .

9. Apparatus as claimed in claim 3, 6, 7, characterized in that for  $m = 5$  and  $n = 2$ ,  $A(m) = \alpha \cdot H_1 \cdot C$  and  $B(m) = \alpha \cdot H_2 \cdot C$ , where  $C$  is the front-centre surround

signal component of the five-channel audio signal,  $\alpha$  being a multiplication factor smaller than 1.

10. Apparatus as claimed in claim 6, characterized in that the down-mixing circuit is provided with a fifth signal pre-processing unit (H5) for pre-processing a side right signal component of the m-channel audio signal (Rss) prior to down-mixing the m-channel audio signal into the n-channel audio signal, the pre-processing step on the side right signal component being equivalent to a fifth pre-filtering function H5, which fifth filtering function H5 at least substantially satisfies the following formula:

$$H(sr-re) = H5 * H(fr-re),$$

where  $H(sr-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “side-right” loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in the m-channel surround reproduction situation, and

$H(fr-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-right” loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in an n-channel reproduction situation.

11. Apparatus as claimed in claim 7, characterized in that the down-mixing circuit is provided with a sixth signal pre-processing unit (H6) for pre-processing a side left signal component of the m-channel audio signal (Lss) prior to down-mixing the m-channel audio signal into the n-channel audio signal, the pre-processing step on the side left signal component being equivalent to a sixth pre-filtering function H6, which sixth filtering function H6 at least substantially satisfies the following formula:

$$H(sl-le) = H6 * H(fl-le),$$

where  $H(sl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “side-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in the m-channel surround reproduction situation, and

$H(fl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in an n-channel reproduction situation.

12. Apparatus as claimed in claim 3, 10, 11, characterized in that for  $m = 7$ ,  $A(m) = \alpha \cdot H1 \cdot C + \gamma \cdot H5 \cdot Rss$  and  $B(m) = \alpha \cdot H2 \cdot C + \gamma \cdot H6 \cdot Lss$ .

13. Apparatus as claimed in anyone of the claims 3 to 7, and 10 to 12, characterized in that  $n = 2$ .

14. Apparatus for converting an m-channel audio signal (L,Ls,Lss,R,Rs,Rss) into an n-channel audio signal (Ro,Lo), as in claim 2, wherein:  
said down-mixing circuit is provided with a seventh signal pre-processing unit (H7) for pre-processing a side right signal component of the m-channel audio signal (Rss) prior to down-mixing the m-channel audio signal into the n-channel audio signal, the pre-processing step on the side right signal component being equivalent to a seventh pre-filtering function H7, which seventh filtering function H7 at least substantially satisfies the following formula:

$$H(sr-re) = H7 * H(br-re),$$

where  $H(sr-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the "side-right" loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in an m-channel surround reproduction situation, and

$H(br-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the "back-right" loudspeaker (Rso) and the position of the right ear of the listener, in an n-channel reproduction situation.

15. Apparatus for converting an m-channel audio signal (L,Ls,Lss,R,Rs,Rss) into an n-channel audio signal (Ro,Lo), as in claim 2, wherein:  
said down-mixing circuit is provided with an eighth signal pre-processing unit (H8) for pre-processing a side left signal component of the m-channel audio signal (Lss) prior to down-mixing the m-channel audio signal into the n-channel audio signal, the pre-processing step on the side left signal component being equivalent to an eighth pre-filtering function H8, which eighth filtering function H8 at least substantially satisfies the following formula:

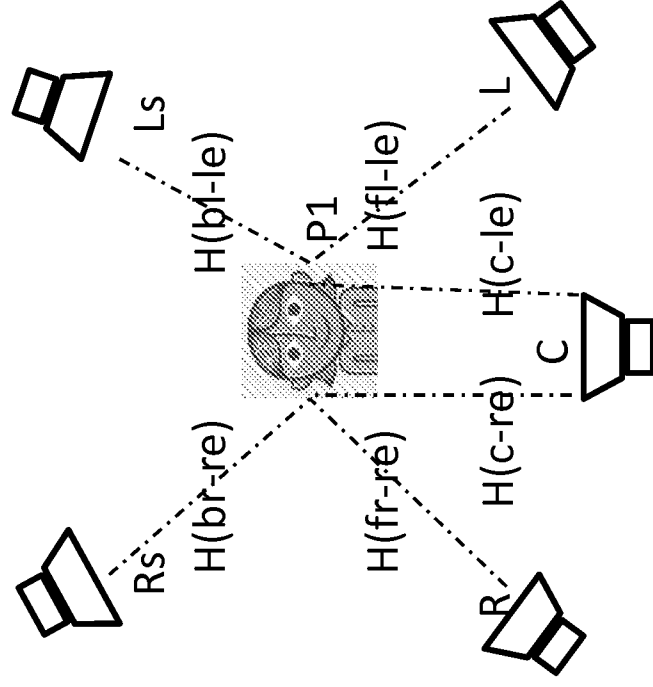
$$H(sl-le) = H7 * H(bl-le),$$

where  $H(sl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “side-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in an m-channel surround reproduction situation, and

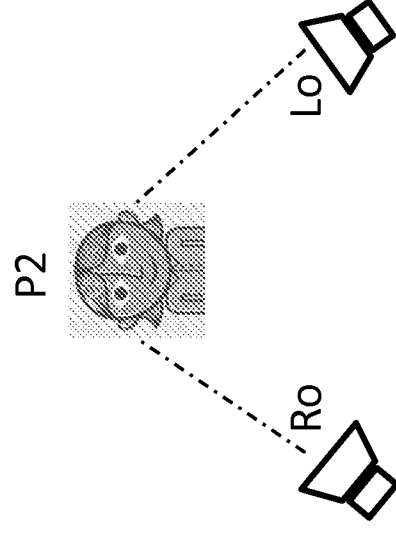
$H(bl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “back-left” loudspeaker ( $Lso$ ) and the position of the left ear of the listener, in an n-channel reproduction situation.

16. Apparatus as in claim 14 and 15, characterized in that the down-mixing circuit is adapted to generate a n-channel audio signal comprising a front right ( $Ro$ ), a front left ( $Lo$ ), a rear right ( $Rso$ ) and a rear left ( $Lo$ ) components, wherein:-  $Ro = \delta \cdot R$ ;  
 -  $Lo = \delta \cdot L$ ;  
 -  $Rso = \epsilon \cdot Rs + \zeta \cdot H7 \cdot Rss$ ; and  
 -  $Lso = \epsilon \cdot Ls + \zeta \cdot H8 \cdot Lss$ .

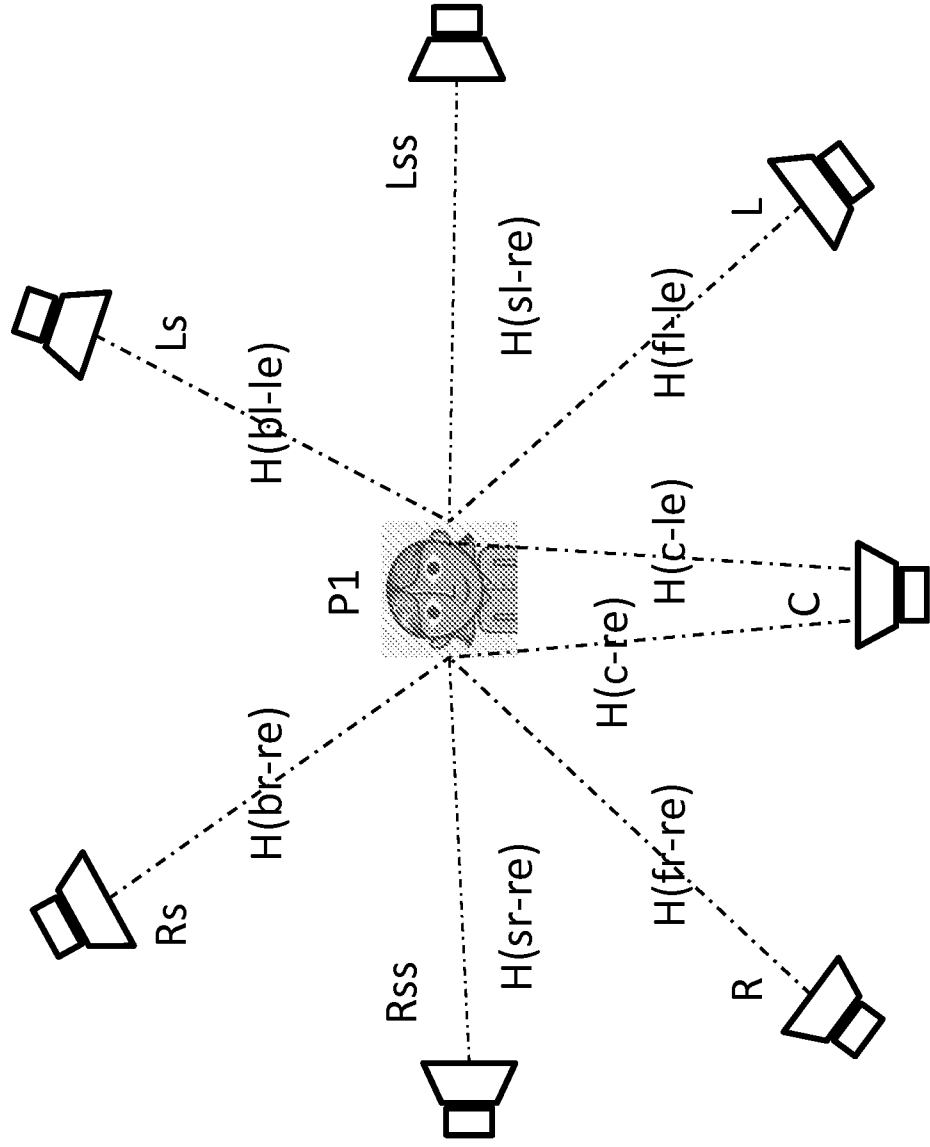
17. Apparatus as in claim 14 and 15, characterized in that the down-mixing circuit is adapted to generate a n-channel audio signal comprising a front right ( $Ro$ ), a front left ( $Lo$ ), a rear right ( $Rso$ ) and a rear left ( $Lo$ ) components, wherein:  
 -  $Ro = \delta \cdot R + H1.C$ ;  
 -  $Lo = \delta \cdot L + H2.C$ ;  
 -  $Rso = \epsilon \cdot Rs + \zeta \cdot H7 \cdot Rss$ ; and  
 -  $Lso = \epsilon \cdot Ls + \zeta \cdot H8 \cdot Lss$ .



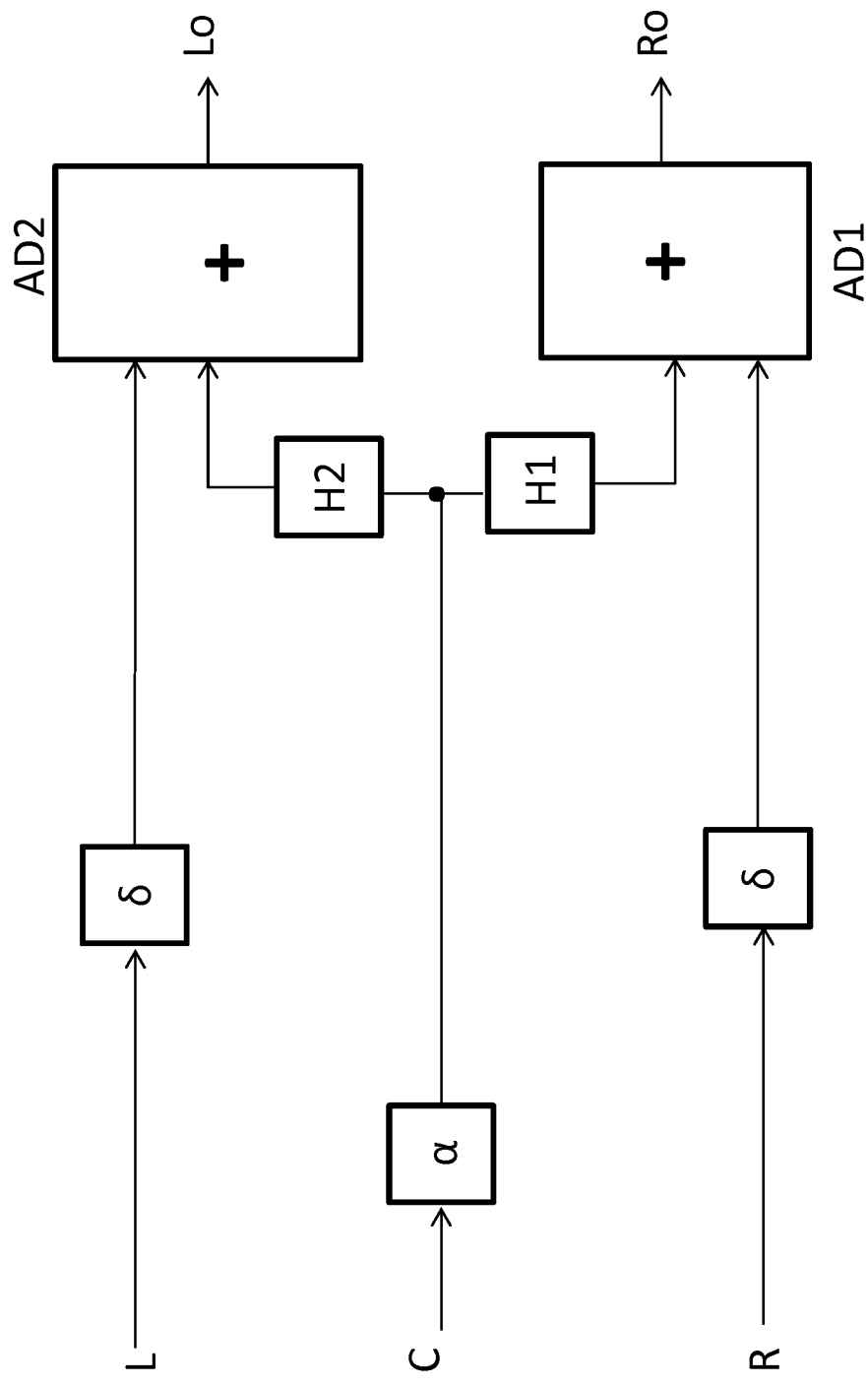
**FIG. 1**



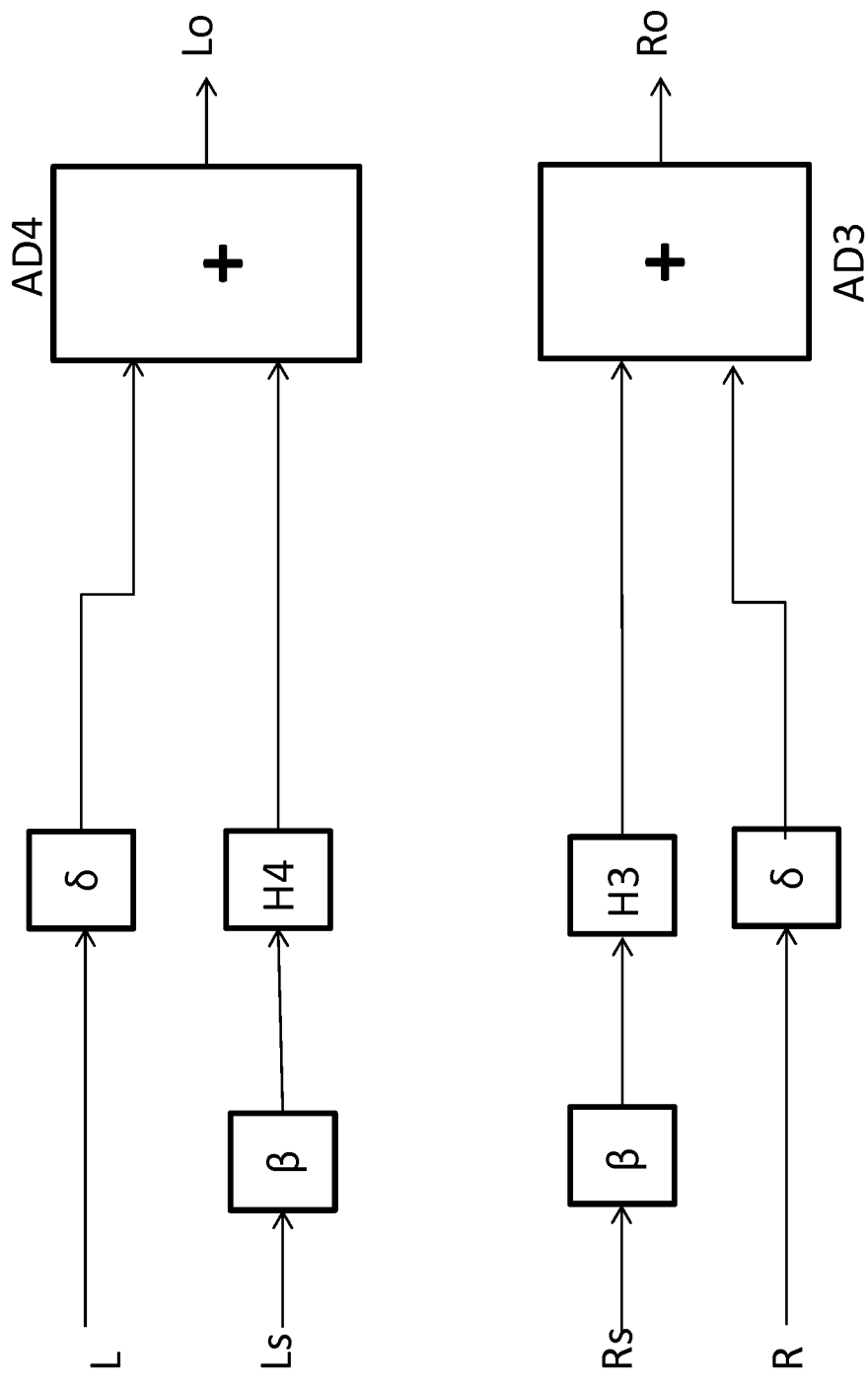
**FIG. 2**



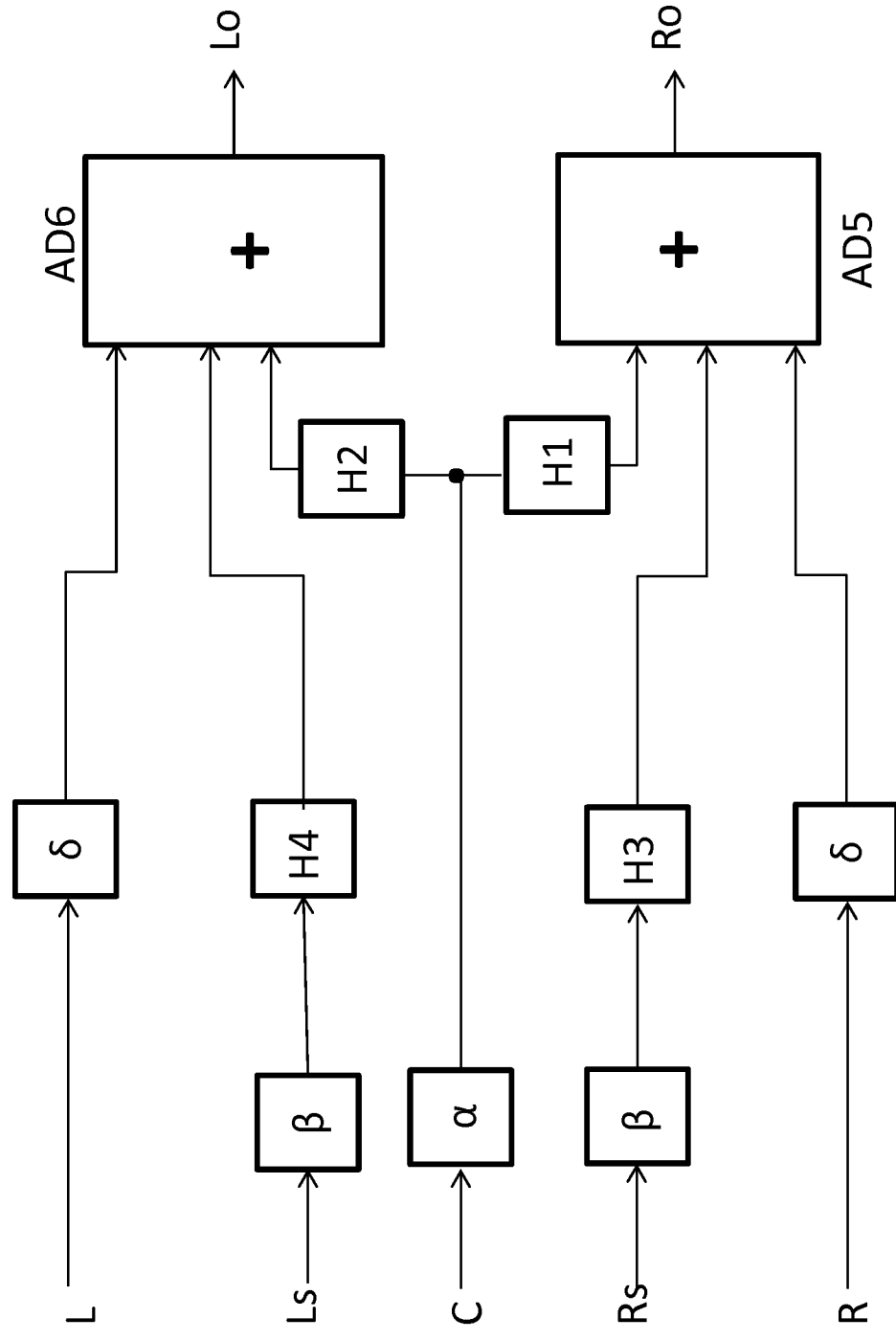
**FIG. 3**



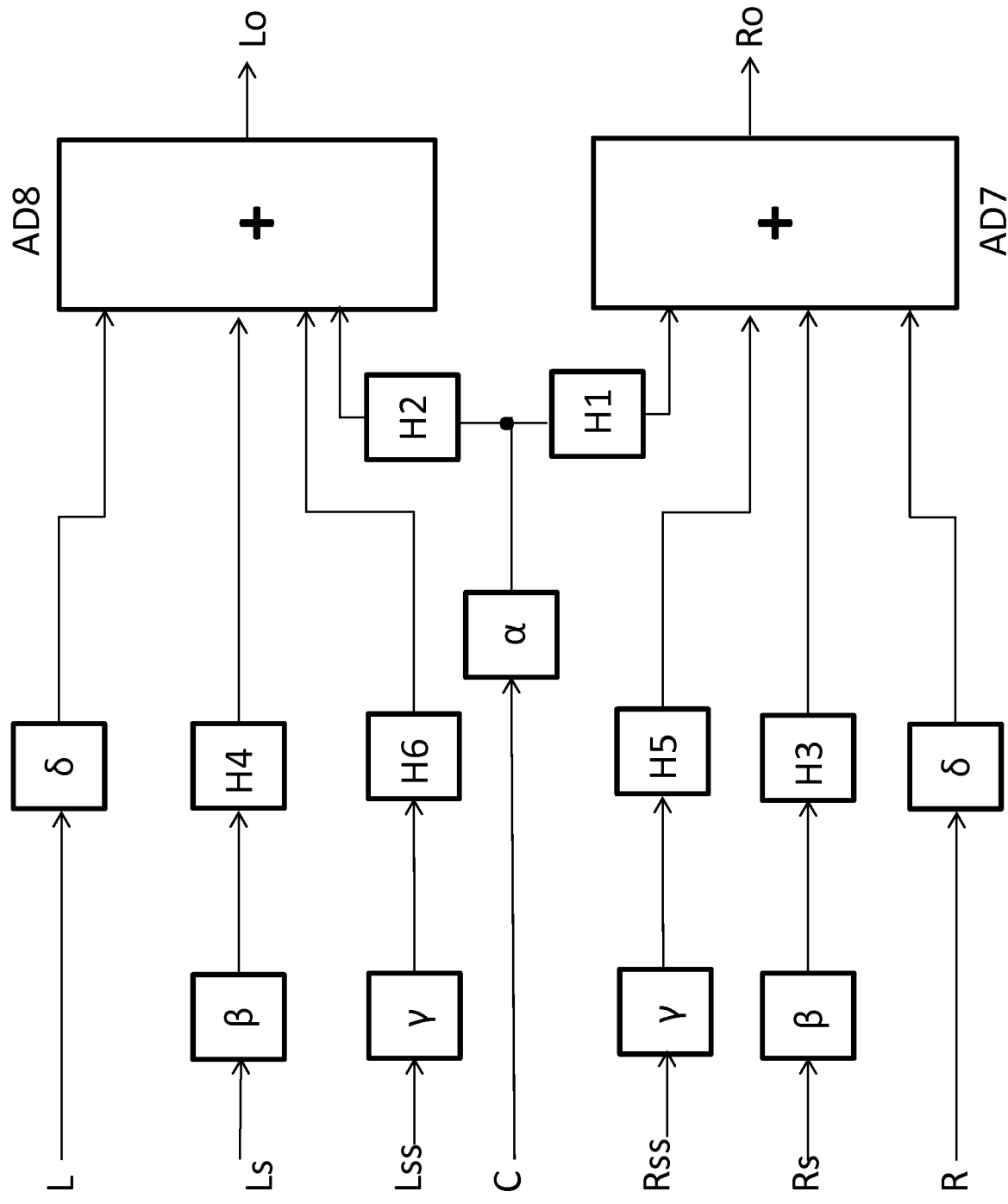
**FIG. 4**



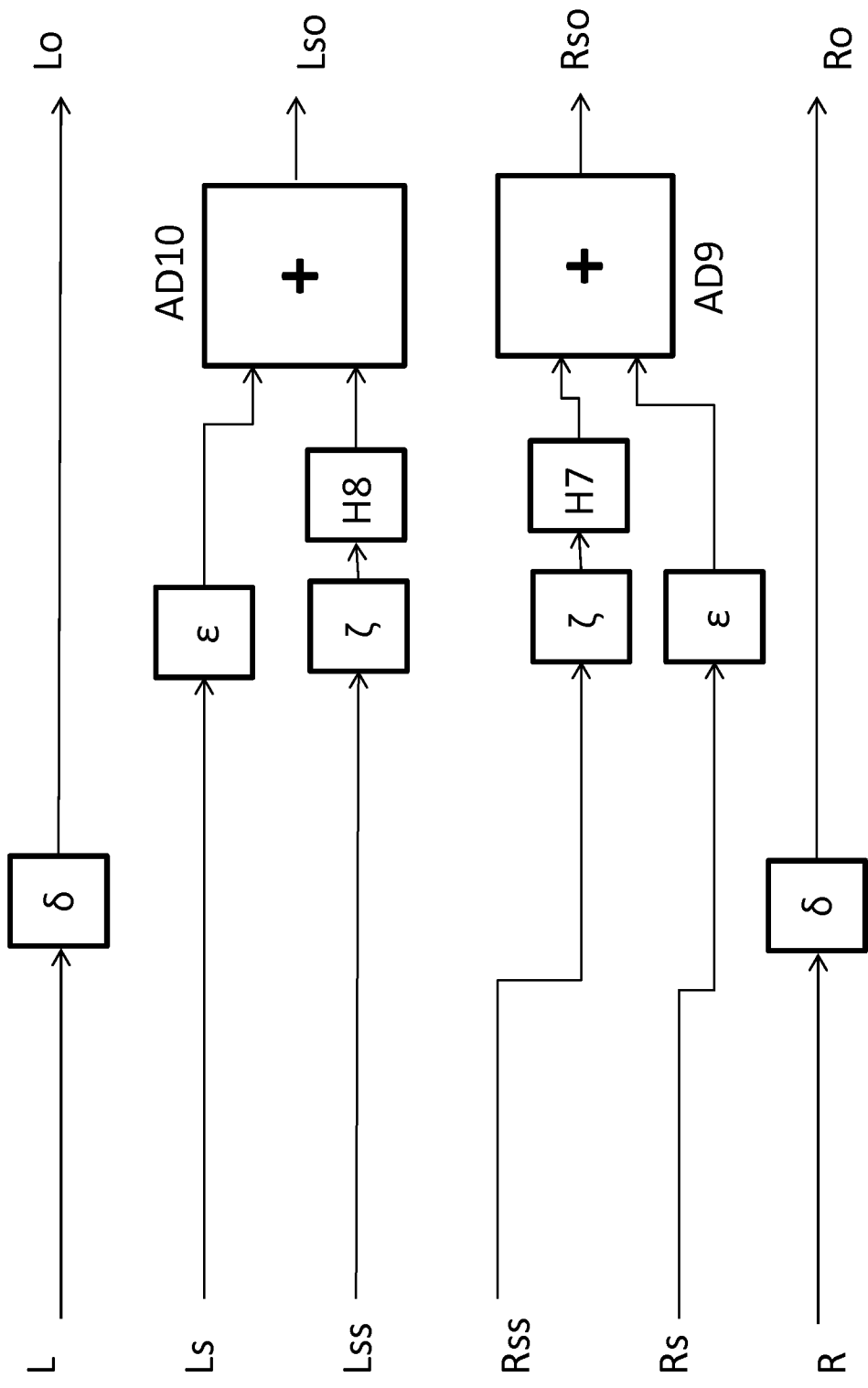
**FIG. 5**



**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**