



*Ministero dello Sviluppo Economico*

---

Ricevuta di presentazione

per

Brevetto per invenzione industriale



Domanda numero: 102020000006418

Data di presentazione: 26/03/2020

## DATI IDENTIFICATIVI DEL DEPOSITO

Ruolo	Mandatario
Depositante	Giammario Ruzzu
Data di compilazione	26/03/2020
Riferimento depositante	ELE11BRIT36
Titolo	ALIMENTATORE A INSEGUIMENTO DI INVILUPPO A LARGA BANDA PER AMPLIFICATORE RF, E METODO DI GESTIONE DI TALE ALIMENTATORE
Carattere domanda	Ordinaria
Esenzione	NO
Accessibilità al pubblico	NO
Numero rivendicazioni	13
Autorità depositaria	

## PRIVACY

Autorizzo il trattamento dei dati personali, inseriti all'interno del deposito, ai sensi del GDPR (Regolamento UE 2016/679) e del Decreto Legislativo 30 giugno 2003, n. 196 "Codice in materia di protezione dei dati personali"

## RICHIEDENTE/I

Natura giuridica	Persona giuridica
Denominazione	ELENOS S.r.l.
P.IVA/CF	00415540384
Tipo Società	societa' a responsabilita' limitata
Nazione sede legale	Italia
Comune sede legale	Poggio Renatico (FE)
Indirizzo	Via G. Amendola

Civico	9
CAP	44028
Telefono	
Fax	
Email	
Pec	
Quota percentuale	100.0%

## DOMICILIO ELETTIVO

Cognome/R.sociale	Ruzzu Ing. Giammario
Indirizzo	via Gulli 5
Cap	40068
Nazione	Italia
Comune	San Lazzaro di Savena (BO)
Telefono	051 - 6257522
Fax	051 - 6258256
Email\PEC	giammario.ruzzu@pec.it

## MANDATARI/RAPPRESENTANTI

Cognome	Nome
Ruzzu	Giammario

## INVENTORI

Cognome	Nome	Nazione residenza
SPALVIERI	ARNALDO	Italia
SPEROTTO	STEFANO	Italia
GAMBAROTTA	SIMONE FEDERICO	Italia

## CLASSIFICAZIONI

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	M	3	

## NUMERO DOMANDE COLLEGATE

## DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

Tipo documento	Riserva	Documento
Descrizione in italiano*	NO	ELE11BRIT36-Descrizione-ITA.pdf.p7m hash: c3f521e83c12144f07198a95b3659126
Riassunto	NO	ELE11BRIT36-Riassunto-ITA.pdf.p7m hash: 9574cb436b7157204d76dc85ed9d3467
Disegni provvisori	NO	ELE11BRIT36-Tavole-Provvisorie.pdf.p7m hash: 5d78316c8bf7848c72cd54a061035945
Rivendicazioni	NO	ELE11BRIT36-Rivendicazioni-ITA.pdf.p7m hash: 2224e3820a941c198463634c51a9394e
Rivendicazioni in inglese	NO	ELE11BRIT36-Rivendicazioni-ENG.pdf.p7m hash: 01f940980ee050ef170facb64405b49b
Disegni	SI	hash:
Lettera di Incarico	SI	hash:

## PAGAMENTI

Tipo	Identificativo	Data
Bollo	01180914415388	02/10/2019

## DOVUTO

**Gli importi indicati non tengono conto delle eventuali esenzioni applicabili**

Importo Tasse:

€ 185,00

Importo Imposta Bollo:

€ 20,00

NOTE

---

## **ALIMENTATORE A INSEGUIMENTO DI INVILUPPO A LARGA BANDA PER AMPLIFICATORE RF, E METODO DI GESTIONE DI TALE ALIMENTATORE**

A nome: ELENOS S.r.l.

con sede: POGGIO RENATICO (FE), VIA G. AMENDOLA, 9

Inventori: SPALVIERI ARNALDO; SPEROTTO STEFANO; GAMBAROTTA SIMONE FEDERICO

### **RIASSUNTO**

L'alimentatore a inseguimento di inviluppo è del tipo provvisto di un convertitore digitale-analogico (DAC) di potenza (10), atto a generare in uscita una tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ) regolabile; l'alimentatore (100) è destinato ad alimentare un amplificatore di potenza in radiofrequenza a larga banda e comprende: il suddetto DAC (10); una pluralità di stadi generatori di tensione modulari ( $V1...Vn$ ), attivabili dal DAC per contribuire alla produzione della tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ); un elaboratore digitale di segnale (DSP) (20), destinato a generare segnali di attivazione ( $S1...Sn$ ) e di bypass ( $S1...Sn$ ) per gli stadi generatori di tensione modulari ( $V1...Vn$ ), per ottenere in uscita valori quantizzati della tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ) atti ad approssimare l'andamento di un segnale di inviluppo (RF), ricevuto dal DSP (20) in un proprio ingresso (RFin); il segnale di inviluppo è indicativo della richiesta istantanea di potenza da parte dell'amplificatore a radiofrequenza.

L'alimentatore (100) si caratterizza per il fatto che il DAC (10) comprende, per ciascuno degli stadi generatori di tensione modulari ( $V1...Vn$ ), corrispondenti dispositivi commutatori di attivazione ( $H1...Hn$ ) e dispositivi commutatori di bypass ( $L1...Ln$ ), che i predetti stadi generatori di tensione modulari ( $V1...Vn$ ) sono elettricamente fra loro collegati in serie, e che ciascuno dei dispositivi commutatori di attivazione ( $H1...Hn$ ) e di bypass ( $L1...Ln$ ) è rispettivamente attivabile dal proprio citato segnale di attivazione ( $S1...Sn$ ) e di bypass ( $S1...Sn$ ) per sommare o escludere il corrispondente stadio generatore di tensione modulare ( $V1...Vn$ ) alla/dalla produzione della tensione di uscita ( $V_{out}$ ) dell'alimentatore (100).

Il metodo secondo l'invenzione prevede sequenze di attivazione e disattivazione per ciascuno stadio generatore di tensione ( $V1...Vn$ ) tali che, nel

caso in cui sia necessaria l'attivazione di uno stadio, venga attivato lo stadio generatore di tensione ( $V_i$ ) inattivo da maggior tempo, e nel caso in cui sia necessaria la disattivazione di uno stadio, venga disattivato lo stadio generatore di tensione ( $V_i$ ) attivo da maggior tempo.

## **ALIMENTATORE A INSEGUIMENTO DI INVILUPPO A LARGA BANDA PER AMPLIFICATORE RF, E METODO DI GESTIONE DI TALE ALIMENTATORE**

A nome: ELENOS S.r.l.

con sede: POGGIO RENATICO (FE), VIA G. AMENDOLA, 9

Inventori: SPALVIERI ARNALDO; SPEROTTO STEFANO; GAMBAROTTA SIMONE FEDERICO

### DESCRIZIONE DELL'INVENZIONE

La presente invenzione si inquadra nel settore tecnico relativo ai sistemi di amplificazione di segnale in radiofrequenza a larga banda, e in particolare ai sistemi di diffusione in radiofrequenza ("Broadcasting") di segnali, ad esempio di segnali radiofonici o televisivi.

Più precisamente, l'invenzione è relativa a un metodo per l'alimentazione di potenza di amplificatori in radiofrequenza a larga banda,.

L'invenzione è inoltre relativa a un alimentatore di potenza per amplificatori a larga banda a inseguimento di inviluppo, del tipo realizzato con un DAC ("*Digital to Analog Converter*" - Convertitore Digitale-Analogico) di potenza, i quali amplificatori sono largamente utilizzati nel settore tecnico sopra menzionato.

A quest'ultimo settore tecnico verrà fatto riferimento nel seguito della descrizione; si intende tuttavia che l'invenzione potrà essere attuata e utilizzata in ogni ambito dell'elettronica di potenza nel quale risulti utile avere a disposizione un'elevata capacità di adeguamento della potenza erogata a variazioni anche estremamente rapide della richiesta di potenza dell'amplificatore alimentato, unita a un'elevata efficienza.

E' noto che, nei sistemi di diffusione di segnale televisivo o radiofonico, sono richieste elevate potenze di trasmissione in antenna, erogate su una banda di segnale molto ampia. L'ordine di grandezza di tali potenze può variare fra le centinaia di Watt e le decine di Kilowatt. Dato che le trasmissioni sono solitamente effettuate senza interruzioni, il consumo di energia di tali sistemi costituisce una frazione molto importante del costo di gestione di ogni stazione di broadcasting televisivo o radiofonico; l'ottimizzazione dell'efficienza energetica di tutti i componenti del sistema costituisce pertanto un requisito

fondamentale nella progettazione e nella gestione di ogni sistema di diffusione.

Una caratteristica importante di questi sistemi, derivante dai formati e dalla struttura di modulazione dei segnali che vengono utilizzati per il broadcasting, è la possibilità di variazioni repentine della potenza istantanea di trasmissione, e quindi della potenza istantanea erogata dall'amplificatore RF di potenza che porta il segnale in antenna. Tali variazioni possono andare anche molto al di sopra del valore medio di potenza di trasmissione, con picchi anche di un ordine di grandezza più elevati della potenza nominale; a causa della elevata larghezza della banda RF di trasmissione, la durata di tali picchi può essere anche molto breve, dell'ordine dei nanosecondi. In pratica, un amplificatore progettato per erogare una potenza nominale di 1 Kw è sottoposto a stress di breve durata che lo portano a erogare picchi di potenza di 10 Kw e oltre.

Pertanto, un alimentatore di potenza che garantisca il corretto funzionamento dell'amplificatore RF sopra descritto deve essere in grado di soddisfare in ogni istante la potenza richiesta di 10 Kw dello stesso.

Secondo la tecnica più tradizionale l'alimentatore viene dimensionato per erogare con continuità la potenza massima che l'amplificatore può richiedere. Ciò comporta che l'alimentatore operi al massimo della propria efficienza solo durante i picchi di assorbimento dell'amplificatore, mentre in condizioni di minore richiesta di potenza quella prodotta in eccesso viene dissipata in calore.

Appare chiaro come l'efficienza di un alimentatore così progettato sia da considerare molto limitata, che porta ad avere consumi di energia, e quindi costi di gestione, molto elevati. Inoltre, il sovradimensionamento dell'alimentatore rispetto alla potenza nominale dell'amplificatore comporta costi di progettazione e produzione anch'essi molto elevati.

Allo scopo di migliorare l'efficienza complessiva dell'alimentatore, e quindi dell'intero sistema di trasmissione, è stata sviluppata una tecnica di alimentazione "intelligente", definita a "inseguimento di inviluppo" ("*envelope tracking*"). Tale tecnica consente all'alimentatore di erogare mediamente la potenza nominale dell'amplificatore RF servito, (nell'esempio, 1 Kw), ma di modificare in ogni istante la potenza erogata sulla base dell'effettiva esigenza

dell'amplificatore stesso, minimizzando in tal modo la dissipazione di energia in calore, e quindi migliorando in modo sostanziale l'efficienza del dispositivo.

In sostanza, a un ingresso di controllo dell'alimentatore viene portato un segnale che rappresenta, istante per istante, il valore della potenza istantanea richiesta dall'amplificatore in quell'istante; nel tempo il segnale rappresenta, cioè, l'inviluppo dei valori della potenza in uscita dall'amplificatore, al netto delle perdite interne dell'amplificatore stesso.

Tale valore viene elaborato da un DSP (*Digital Signal Processor* - Elaboratore Digitale di Segnale), il quale genera corrispondenti comandi per l'attivazione o la disattivazione di uno o più dei componenti di un DAC (*Digital-to-Analog Converter* - Convertitore Digitale-Analogico) di potenza, ciascuno dei quali può essere mantenuto attivo, e quindi fornire il proprio contributo di potenza, o non attivo, e quindi non fornirlo affatto. Ogni componente del DAC è costituito da una configurazione circuitale di transistor di potenza che possono commutare fra una condizione di saturazione e una di interdizione

La composizione delle potenze generate dai componenti attivi in ogni istante definisce la potenza prodotta dall'alimentatore in quell'istante e fornisce all'amplificatore RF la potenza richiesta, con buona approssimazione.

Secondo una tecnica nota di gestione del DAC, la composizione della potenza istantanea viene definita dal DSP attivando ogni componente del DAC con una gestione a codice binario con peso basato sulla posizione del singolo componente nel circuito di potenza. Secondo questa gestione, ad esempio, una batteria di 4 componenti (DAC0 -> DAC3) può generare fino a 16 livelli di potenza, e il peso dei diversi componenti nella generazione sarà, rispettivamente, di  $2^0$  ->  $2^3$ .

L'andamento della potenza erogata dall'alimentatore assume pertanto valori discreti, e presenta un andamento a gradini. Ciascun valore discreto approssima il valore della potenza richiesta in ogni istante, e segue l'inviluppo dei valori di potenza al meglio della risoluzione data dal numero di componenti del DAC; per un numero N di componenti si ottengono  $2^N$  diversi valori di potenza in uscita. L'approssimazione della curva di erogazione all'inviluppo della potenza richiesta dall'amplificatore è quindi tanto maggiore quanto

maggiore è il numero di componenti.

Alcuni inconvenienti inerenti alla tecnica di gestione sopra descritta derivano innanzitutto dal fatto che, per ottenere valori di potenza erogata anche tra loro contigui, può essere necessario far commutare anche diversi componenti; ad esempio, per passare dal livello di potenza 7 (codificato con 0111) al livello di potenza 8 (1000) è necessario commutare tutti i componenti. Questa gestione del DAC genera quindi elevate frequenze di commutazione dei componenti, il che comporta una maggiore dispersione di potenza; sul lungo periodo si crea un maggiore affaticamento dei componenti stessi, con una riduzione della loro vita utile e, per conseguenza, dell'affidabilità dell'intero dispositivo.

Non è inoltre possibile per il DSP controllare i tempi di attività di ciascun componente del DAC, in quanto le modalità di attivazione dei componenti dipendono esclusivamente dai valori di livello di potenza richiesti dall'amplificatore RF. E' quindi possibile che in pratica un singolo componente venga mantenuto sempre attivo, il che può comportare problemi nella dispersione del calore prodotto dal componente e una riduzione della sua vita utile.

In ogni caso le dispersioni di potenza sopra descritte creano un problema di eccessivo accumulo di calore in corrispondenza dei dispositivi che commutano con frequenza elevata o che vengono mantenuti attivi per lungo tempo, problemi acuiti dalle ridotte dimensioni di tali dispositivi; la rimozione del calore in eccesso è complicata e richiede l'installazione di dissipatori di grandi dimensioni, che causa un corrispondente aumento dell'ingombro e del peso dell'alimentatore.

Un altro inconveniente è dato dal fatto che nell'alimentatore così configurato non esiste alcuna tolleranza del DAC ai guasti. Il malfunzionamento di un unico componente compromette infatti l'operatività complessiva dell'alimentatore in quanto, in qualunque posizione si trovi il componente con problemi, non potranno essere generati diversi livelli di potenza fra quelli richiesti dall'amplificatore RF.

Uno scopo della presente invenzione è quello di proporre un metodo per

la gestione dei componenti modulari di un DAC di uscita in un alimentatore a inseguimento di inviluppo per amplificatori RF di potenza in grado di minimizzare lo stress e le dispersioni da commutazione dei dispositivi di potenza e, nel contempo, garantire un utilizzo omogeneo dei diversi componenti.

Un altro scopo dell'invenzione è quello di proporre un metodo per la gestione dei componenti modulari del DAC di uscita di cui sopra che fornisca all'alimentatore a inseguimento di inviluppo un buon grado di tolleranza ai guasti.

Un ulteriore scopo dell'invenzione è quello di proporre un alimentatore a inseguimento di inviluppo per amplificatori RF di potenza nel quale gli stress e le dispersioni da commutazione dei componenti modulari di potenza del DAC di uscita sono minimizzati;

Ancora uno scopo dell'invenzione è quello di proporre un alimentatore a inseguimento di inviluppo per amplificatori RF di potenza nel quale tali componenti modulari di potenza sono utilizzati in modo omogeneo e sono sottoposti a stress termici fra loro comparabili.

Un altro scopo dell'invenzione è quello di proporre un alimentatore a inseguimento di inviluppo per amplificatori RF di potenza provvisto di un buon grado di tolleranza ai guasti.

Gli scopi sopra citati, ed altri ancora, vengono interamente ottenuti, in accordo con il contenuto delle rivendicazioni, mediante un alimentatore a inseguimento di inviluppo, del tipo provvisto di un convertitore digitale-analogico (DAC) di potenza, atto a generare in uscita una tensione di alimentazione regolabile; l'alimentatore è destinato ad alimentare un amplificatore di potenza in radiofrequenza a larga banda e comprende: il suddetto DAC; una pluralità di stadi generatori di tensione modulari, attivabili dal DAC per contribuire alla produzione della tensione di alimentazione; un elaboratore digitale di segnale (DSP), destinato a generare segnali di attivazione e di bypass per gli stadi generatori di tensione modulari, per ottenere in uscita valori quantizzati della tensione di alimentazione atti ad approssimare l'andamento di un segnale di inviluppo, ricevuto dal DSP in un

proprio ingresso; il segnale di inviluppo è indicativo della richiesta istantanea di potenza da parte dell'amplificatore a radiofrequenza.

L'alimentatore si caratterizza per il fatto che il DAC comprende, per ciascuno degli stadi generatori di tensione modulari, corrispondenti dispositivi commutatori di attivazione e dispositivi commutatori di bypass, che i predetti stadi generatori di tensione modulari sono elettricamente fra loro collegati in serie, e che ciascuno dei dispositivi commutatori di attivazione e di bypass è rispettivamente attivabile dal proprio citato segnale di attivazione e di bypass per sommare o escludere il corrispondente stadio generatore di tensione modulare alla/dalla produzione della tensione di uscita dell'alimentatore.

Gli scopi dell'invenzione vengono altresì ottenuti mediante un metodo di gestione degli stadi generatori di tensione dell'alimentatore, il quale prevede sequenze di attivazione e disattivazione per ciascuno stadio generatore di tensione tali che, nel caso in cui sia necessaria l'attivazione di uno stadio, venga attivato lo stadio generatore di tensione inattivo da maggior tempo, e nel caso in cui sia necessaria la disattivazione di uno stadio, venga disattivato lo stadio generatore di tensione attivo da maggior tempo.

Le caratteristiche dell'invenzione risulteranno evidenti dalla seguente descrizione di una preferita, per quanto non esclusiva, forma di realizzazione, in accordo con quanto riportato nelle rivendicazioni e con l'ausilio delle allegate tavole di disegno, nelle quali:

- la Figura 1 illustra uno schema a blocchi di un alimentatore a inseguimento di inviluppo realizzato secondo l'invenzione;
- la Figura 2 illustra un diagramma rappresentativo dell'andamento dell'uscita dell'alimentatore di figura 1 in risposta a una possibile curva di inviluppo;
- la Figura 3 illustra uno schema di stadio generatore di tensione modulare del DAC dell'alimentatore, realizzato secondo una preferita forma di realizzazione dell'invenzione;
- la Figura 4 illustra uno schema di configurazione dell'alimentatore di Figura 1 comprendente quattro stadi generatori di tensione;
- la Figura 5 illustra uno schema di flusso relativo alla selezione degli stadi

- generatori di tensione secondo il metodo dell'invenzione;
- la Figura 6 illustra uno schema delle code FIFO di gestione degli stadi generatori di tensione;
  - la Figura 7 illustra un esempio di selezione degli stadi generatori di tensione per una data sequenza di campionamenti;
  - la Figura 8 illustra uno schema di stadio generatore di tensione del DAC realizzato secondo una forma di realizzazione alternativa dell'invenzione;
  - la Figura 9 illustra due possibili schemi di semistadio generatore di tensione secondo la forma di realizzazione di Figura 8;
  - la Figura 10 illustra una possibile configurazione di un DAC a tre stadi generatori di tensione, secondo la forma di realizzazione di Figura 8;
  - la Figura 11 illustra uno schema a blocchi di un alimentatore realizzato secondo una variante della forma di realizzazione alternativa;
  - la Figura 12 illustra uno schema circuitale di un alimentatore a inseguimento di involuppo realizzato secondo la variante di figura 11;
  - la Figura 13 illustra uno schema a blocchi di un alimentatore a inseguimento di involuppo realizzato secondo una ulteriore variante della forma di realizzazione alternativa;
  - la Figura 14 illustra un possibile schema circuitale dell'alimentatore di figura 13.

Con riferimento alla figura 1, e a una preferita forma di realizzazione dell'invenzione, si indica con 100, nel suo complesso, un alimentatore a inseguimento di involuppo, atto a generare in uscita una tensione di alimentazione  $V_{out}$  regolabile, detto alimentatore 100 essendo destinato ad alimentare un amplificatore di potenza in radiofrequenza a larga banda.

Nell'alimentatore 100 la tensione di uscita  $V_{out}$  è generata da una serie di stadi generatori di tensione  $V_1...V_n$ , pilotati da un convertitore digitale-analogico (DAC) di potenza 10.

L'alimentatore 100 comprende inoltre un elaboratore digitale di segnale (DSP) 20, destinato a generare segnali di attivazione  $S_1...S_n$  e di bypass  $S_1...S_n$  per i predetti generatori di tensione modulari  $V_1...V_n$ , per ottenere in

uscita valori quantizzati della tensione di alimentazione  $V_{out}$ ; tali valori approssimano l'andamento di un segnale di inviluppo SE, ricevuto dal DSP 20 in un proprio ingresso RFin, indicativo della richiesta istantanea di potenza da parte dell'amplificatore in radiofrequenza alimentato.

I requisiti principali sono elevata potenza e capacità di tracciamento della larghezza di banda, pur mantenendo un'alta efficienza.

La Figura 1 mostra lo schema a blocchi del sistema.

L'ingresso del sistema è l'inviluppo del segnale RF che deve essere tracciato.

L'uscita del sistema è una tensione,  $V_{out}$ , che verrà fornita a un amplificatore di potenza RF (non riportato nello schema). La tensione di picco disponibile si chiama  $V_p$ .

La Figura 2 mostra il concetto su cui è costruita l'alimentazione: il segnale è approssimato dalla sua versione quantizzata, che è sempre mantenuta sopra l'ingresso (con un fattore di scala dato da  $V_p$ ). La quantizzazione viene eseguita con un numero di livelli di ampiezza uguale,  $n$ , definito come

$$n = V_p/V; \quad (1)$$

pertanto sono necessarie  $n$  sorgenti di tensione identiche, ognuna delle quali fornisce una tensione  $V$  costante e la tensione di picco  $V_p$  è data dalla somma di tutte.

Il DSP implementa la logica di controllo: analizza l'inviluppo del segnale RF in ingresso e fornisce i segnali di controllo  $S_1 \dots S_n$  al blocco seguente. L'inviluppo del segnale RF viene campionato e quantizzato, quindi elaborato campione per campione.

Il DAC di potenza utilizza i segnali di controllo per combinare  $n$  sorgenti di tensione e generare la tensione di uscita desiderata.

Il numero di livelli necessari per rappresentare il  $k$ -esimo campione dell'inviluppo,  $x_k$ , è dato da

$$N_k = \left\lceil \frac{x_k \cdot V_p}{V} \right\rceil, \quad (2)$$

dove  $x_k$  è il k-esimo campione dell'involuppo normalizzato fra 0 e 1. In pratica,  $x_k$  è l'ingresso k-esimo (k è l'indice temporale tempo-discreto) del blocco DSP di figura 1 che senza perdita di generalità ed in maniera non limitativa si assume essere compreso tra 0 e 1. L'operatore

$\lceil x \rceil$

indica il minimo intero maggiore o uguale ad x; pertanto, il k-esimo campione all'uscita del Power DAC (DAC di potenza),  $V_{out, k}$ , può essere scritto come

$$V_{out,k} = N_k \cdot V. \quad (3)$$

$N_k$  può anche essere riscritto come

$$N_k = \sum_{i=1}^n s_{i,k}, \quad (4)$$

dove  $s_{i,k}$  può assumere i valori 0 o 1.

Inoltre, l'output istantaneo del sistema può essere espresso nella forma

$$V_{out} = V \cdot (s_1 \cdot 1^1 + s_2 \cdot 1^2 + s_3 \cdot 1^3 + \dots + s_n \cdot 1^n), \quad (5)$$

da qui il nome "Unary Power DAC". Si noti che, poiché  $1^i = 1 \forall i$ , i termini  $S_i$  non hanno un significato posizionale; questo può essere facilmente tradotto in resilienza agli errori, a condizione che n sia abbastanza grande da produrre sempre il  $V_{out}$  desiderato, ad es.

$$n > V_p/V. \quad (6)$$

In accordo con una preferita forma di realizzazione dell'alimentatore secondo l'invenzione, che comprende un DAC di potenza (Power DAC) 10 accoppiato in corrente continua (DC, Direct Current, corrente continua), il blocco base del Power DAC accoppiato DC è chiamato stadio ed è mostrato nella Figura 3. Ogni stadio è composto da una sorgente di tensione DC e da due interruttori, sempre mantenuti in stati opposti, che inseriscono o bypassano la sorgente DC. Gli interruttori (Hi, Li) sono controllati dai segnali forniti dal blocco DSP (si e la sua negazione logica, rispettivamente).

Un numero variabile di stadi può essere collegato in serie, consentendo la generazione di un numero corrispondente di diversi livelli di tensione (n, come definito nell'eq. 1).

Poiché un'uscita 0 Volt è inutile ai fini del tracciamento dell'involuppo, è possibile ottenere un livello aggiuntivo ( $V_o$ ) al costo di una singola sorgente di tensione collegata nella serie di stadi senza interruttori associati (e quindi sempre inserita).

In questo caso le equazioni 2, 3 e 5 sono riscritte (rispettivamente) come:

$$N_k = \left\lceil \frac{(x_k \cdot V_{max}) - V_o}{V} \right\rceil , \quad (8)$$

$$V_{out,k} = V_o + N_k \cdot V , \quad (9)$$

$$V_{out} = V_o + V \cdot (s_1 \cdot 1^1 + s_2 \cdot 1^2 + s_3 \cdot 1^3 + \dots + s_n \cdot 1^n). \quad (10)$$

La Figura 4 mostra la connessione di 3 stadi e la fonte di tensione aggiuntiva di livello base, realizzando così un DAC di potenza accoppiato DC con un totale di 4 livelli.

In accordo con una forma di attuazione del metodo di gestione dell'alimentatore 100 a inseguimento di involuppo secondo la presente invenzione, la logica implementata nel DSP mira a ridurre il numero di cambiamenti di stato degli interruttori Power DAC, con la prospettiva di limitare

le perdite di commutazione dei dispositivi elettronici integrati che fungeranno da interruttori.

Ogni campione dell'involuppo del segnale viene analizzato per decidere il livello di uscita associato; successivamente, i segnali di controllo sono guidati per attivare gli stadi necessari per generare la tensione di uscita.

Quando è richiesto un cambio di livello e quindi deve verificarsi qualche cambiamento negli stadi attivi, il primo ad essere attivato (o disattivato) è quello che ha cambiato stato meno di recente; ciò garantisce il turnover degli stadi e - in definitiva - degli interruttori, riducendo la loro frequenza di lavoro al minimo indispensabile e monitorando correttamente l'involuppo con i livelli scelti. Questa logica di controllo distribuisce intrinsecamente il numero di cambiamenti di stato equamente tra gli switch disponibili. Lo stato dell'interruttore  $H_i$  nell'istante  $k$ -esimo coincide con  $S_{i,k}$ , mentre l'interruttore  $L_i$  corrispondente, come detto sopra, è sempre nello stato opposto.

La strategia di selezione dello stadio è implementata come mostrato nella Figura 5. Per identificare lo stadio attivo (o inattivo) più lungo è necessario tenere traccia di ciò che è accaduto negli istanti precedenti; allo scopo vengono utilizzate due code FIFO (First In, First Out) di lunghezza massima  $n$ , una per gli indici degli stadi attivi e una per gli indici di quelli inattivi, come mostrato in figura 6. Lo switch  $S_{\text{turn-off}}$  è attivato quando uno stadio deve essere spento; in questo caso l'indice dello stadio che è stato attivo per più tempo,  $\hat{i}$ , esce dal FIFO On ed entra nel FIFO Off, mentre lo stadio corrispondente è spento. Al contrario, quando è necessario attivare uno stadio in più, viene attivato l'interruttore  $S_{\text{turn-on}}$ , l'indice successivo esce dal FIFO Off ( $\tilde{i}$ , cioè quello che si riferisce allo stadio che è rimasto inattivo per più tempo) ed entra nel FIFO On e lo stadio corrispondente è acceso.

La Figura 7 mostra i risultati del processo di selezione degli stadi per un convertitore a 3 stadi, identificato da  $s_1$ ,  $s_2$  e  $s_3$ ; il numero di stadi attivi necessari per ogni istante,  $N_k$ , viene riportato nella prima riga, mentre il corrispondente output del convertitore ML,  $V_{\text{out},k}$ , viene mostrato nella seconda riga sia come valore numerico sia come grafico dell'ampiezza rispetto al tempo

(linea punteggiata). I grafici tratteggiati rappresentano lo stato degli interruttori H corrispondenti ai tre stadi.

Poiché lo spettro di frequenza dell'involuppo ha una componente DC  $V_{DC}$  molto potente, potrebbe essere conveniente generarlo con un sottosistema diverso (privo di requisiti di larghezza di banda rigorosi) e utilizzare il Power DAC accoppiato in AC (Alternating Current, corrente alternata) per generare la parte rimanente della banda larga della tensione.

In accordo con una forma di realizzazione alternativa dell'invenzione, è previsto un Power DAC 10 accoppiato in corrente alternata, che consiste in una variante del Power DAC 10 accoppiato in corrente continua, che può anche generare tensioni negative. Lo stadio di base, come mostrato nella figura 8, è composto da una sorgente di tensione e 4 commutatori in una configurazione a ponte intero; in questo modo la polarità della sorgente di tensione può essere invertita, producendo due tensioni identiche ma opposte. Il numero di sorgenti di tensione richieste per produrre lo stesso numero di livelli della variante accoppiata in continua viene dimezzato.

Ogni interruttore è pilotato da un segnale di controllo dedicato generato dal DSP 20:  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$ ,  $D_i$  sono rispettivamente controllati da corrispondenti segnali di controllo  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $d_i$ . Con riferimento alla fig. 8, sono consentiti solo 3 valori di tensione per lo stadio composto da 4 interruttori:

- $A_i$ ,  $D_i$  chiuso e  $B_i$ ,  $C_i$  aperto (equivalente a  $A_i$ ,  $D_i$  aperto e  $B_i$ ,  $C_i$  chiuso): la sorgente di tensione è esclusa (lo stadio è disabilitato);
- $A_i$ ,  $C_i$  chiuso e  $B_i$ ,  $D_i$  aperto: la sorgente di tensione è inserita e lo stadio produce una tensione positiva;
- $A_i$ ,  $C_i$  aperto e  $B_i$ ,  $D_i$  chiuso: la sorgente di tensione è inserita e lo stadio produce una tensione negativa; altre combinazioni porterebbero a un corto o un circuito aperto.

In effetti, gli stati possibili dello stadio sono 4, due dei quali equivalenti in termini di tensione erogata (0 Volt).

È anche possibile ottenere un progetto di livello asimmetrico aggiungendo uno o più "semistadi" ("*half-stage*") composti da una sorgente di tensione e due interruttori per inserirlo o bypassarlo; la figura 9 mostra le configurazioni per

semistadi positivi (9a) e negativi (9b). In questo caso i due interruttori sono sempre in stati opposti, e ovviamente la descrizione sopra del comportamento dell'intero stadio non è valida.

Il numero totale di stadi, pieno o metà, è chiamato  $n$ . La Figura 10 mostra lo schema circuitale di un DAC di potenza accoppiato AC a 5 livelli, implementato con 2 stadi completi e 1 semistadio per un livello positivo aggiuntivo (quindi,  $n = 3$ ).

L'esempio di uscita  $k$ -esima del sistema che include il DAC di potenza accoppiato in AC può essere scritto come:

$$V_{out,k} = V_0 + V_{DC} + V \cdot \sum_{i=1}^n u_i, \quad (11)$$

dove  $V_0$  è un offset di tensione aggiuntivo che serve come margine ingegneristico per assicurare che la tensione di uscita sia sempre maggiore dell'involuppo che si vuole inseguire e  $u_i$  può assumere valori diversi in base al tipo di stadio e allo stato degli  $i$ -esimi interruttori, come descritto nella sottostante tabella 1.

$a_i$	$b_i$	$c_i$	$d_i$	$u_i$
1	0	1	0	1
0	1	0	1	-1
0	1	1	0	0
1	0	0	1	0

(a) Full stage

$c_i$	$d_i$	$u_i$
1	0	1
0	1	0

(b) Positive half stage

$a_i$	$b_i$	$u_i$
1	0	0
0	1	-1

(c) Negative half stage

Tabella 1: Combinazioni dei segnali di controllo dei commutatori e dei valori di  $u_i$  associati

Per ricombinare le parti in AC e in DC può essere usato un approccio basato su filtro, come mostrato nella Figura 11. Una possibile implementazione

dello schema circuitale è mostrata nella Figura 12, con i componenti che formano i filtri racchiusi in sezioni tratteggiate e puntinate.

Un'ulteriore variante del DAC di potenza può essere ottenuta dalla precedente versione accoppiata in AC aggiungendo una sorgente di tensione a banda stretta (ad esempio un convertitore DC-DC), come mostrato nella Figura 13. Ciò implica una separazione dell'involuppo in due sottobande: una porzione superiore seguita dal Power DAC e una porzione inferiore seguita dalla sorgente di tensione a banda stretta. Questa separazione della banda è gestita da due filtri digitali, HPFd e LPFd.

Due filtri analogici,  $BPF_a$  e  $LPF_a$ , hanno il compito di ricombinare l'uscita del Power DAC con l'uscita della sorgente a banda stretta; è importante che la catena dei filtri digitali e analogici assicuri la ricostruzione dell'involuppo all'uscita del sistema ( $V_{out}$ ) senza introdurre una distorsione rilevante.

La Figura 14 mostra un possibile schema circuitale per l'implementazione di questa versione del Power DAC usando un noto convertitore di tipo "buck" come sorgente di tensione a banda stretta; i filtri analogici,  $BPF_a$  e  $LPF_a$ , sono racchiusi rispettivamente nelle sezioni tratteggiate e tratteggiate.

I vantaggi che l'alimentatore a inseguimento di involuppo realizzato secondo la presente invenzione consente di ottenere consistono, in primo luogo, nella gestione ottimale del tempo di lavoro di ciascuno stadio generatore di tensione che concorre a formare la tensione di uscita  $V_{out}$  dell'alimentatore. Tale ottimizzazione consente di ridurre gli stress e le dispersioni, sia durante le fasi di commutazione dei dispositivi commutatori, sia durante le fasi di attività dei commutatori stessi. Ciò consente di migliorare l'efficienza complessiva dell'alimentatore e di ottenere comunque un buon inseguimento della curva di involuppo delle potenze istantanee richieste dall'amplificatore alimentato.

Un ulteriore vantaggio consiste nella tolleranza ai guasti dei singoli stadi generatori di tensione, utilizzati in configurazione unaria.

Si intende comunque che quanto sopra detto ha valore esemplificativo e non limitativo, pertanto eventuali modifiche di dettaglio si considerano sin d'ora rientranti nell'ambito protettivo definito dalle sottoriportate rivendicazioni.

## **RIVENDICAZIONI**

- 1) Alimentatore a inseguimento di inviluppo del tipo provvisto di un convertitore digitale-analogico (DAC) di potenza (10) atto a generare in uscita una tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ) regolabile, detto alimentatore (100) essendo destinato ad alimentare un amplificatore di potenza in radiofrequenza a larga banda e comprendente: detto DAC (10); una pluralità di stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ), attivabili da detto DAC per contribuire alla produzione di detta tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ); un elaboratore digitale di segnale (DSP) (20), destinato a generare segnali di attivazione ( $S_1...S_n$ ) e di bypass ( $\underline{S}_1...S_n$ ) per detti stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ) per ottenere in uscita valori quantizzati di detta tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ) atti ad approssimare l'andamento di un segnale di inviluppo (RF), ricevuto da detto DSP (20) in un proprio ingresso (RFin), indicativo della richiesta istantanea di potenza da parte del citato amplificatore a radiofrequenza; detto alimentatore (100) essendo caratterizzato dal fatto che detto DAC comprende, per ciascuno di detti stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ), corrispondenti dispositivi commutatori di attivazione ( $H_1...H_n$ ) e dispositivi commutatori di bypass ( $L_1...L_n$ ), che detti stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ) sono elettricamente fra loro collegati in serie, e che ciascuno di detti dispositivi commutatori di attivazione ( $H_1...H_n$ ) e di bypass ( $L_1...L_n$ ) è rispettivamente attivabile dal proprio citato segnale di attivazione ( $S_1...S_n$ ) e di bypass ( $\underline{S}_1...S_n$ ) per sommare o escludere il corrispondente stadio generatore di tensione modulare ( $V_1...V_n$ ) alla/dalla produzione della menzionata tensione di uscita ( $V_{out}$ ) dell'alimentatore (100).
- 2) Alimentatore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ) generano tensioni fra loro identiche.
- 3) Alimentatore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di prevedere inoltre uno stadio generatore di tensione di base ( $V_0$ ), destinato a contribuire alla produzione di una componente di base di detta tensione

di alimentazione ( $V_{out}$ ), detto stadio generatore di tensione di base ( $V_0$ ) essendo elettricamente collegato in serie ai citati stadi generatori di tensione ( $V_1...V_n$ ) ed essendo mantenuto sempre attivo e collegato.

- 4) Alimentatore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto DAC di potenza (10) è del tipo accoppiato in alternata (AC, "Alternating Current") per generare a comando anche tensioni negative, e dal fatto che per ciascun citato stadio generatore di tensione modulare ( $V_1...V_n$ ) sono previsti quattro dispositivi commutatori ( $A_1...A_n$ ), ( $B_1...B_n$ ), ( $C_1...C_n$ ) e ( $D_1...D_n$ ) configurati a ponte intero, azionabili da corrispondenti segnali di attivazione/disattivazione ( $a_1...a_n$ ), ( $b_1...b_n$ ), ( $c_1...c_n$ ) e ( $d_1...d_n$ ) generati dal citato DSP (20) per inserire il relativo stadio generatore di tensione con tensione positiva o negativa, oppure per bypassare lo stesso.
- 5) Alimentatore secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre un dispositivo accumulatore di energia, elettricamente collegato a detta serie di stadi generatori di tensione modulari ( $V_0...V_n$ ), destinato ad assorbire e accumulare eccessi di produzione di detto stadio generatore di tensione di base ( $V_0$ ) durante periodi di minore richiesta di potenza da parte di detto amplificatore, e di rendere disponibile detti eccessi di produzione durante i picchi di assorbimento di detto amplificatore.
- 6) Alimentatore secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre almeno un semistadio generatore di tensione ( $V_i$ ), provvisto di due soli dispositivi commutatori ( $A_i, B_i$ ) oppure ( $C_i, D_i$ ), rispettivamente destinati ad attivare detto semistadio generatore ( $V_i$ ) con polarità diretta o inversa, oppure a escluderlo dalla serie.
- 7) Alimentatore secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che a detto DAC di potenza (10) accoppiato in alternata (AC, alternating current) è associato un generatore di tensione a banda stretta; dal fatto di prevedere la separazione della banda in una porzione più bassa, seguita da detto generatore a banda stretta, e in una porzione più alta, seguita da detto DAC di potenza (10), detta separazione di banda essendo ottenuta

per mezzo di una coppia di filtri digitali, rispettivamente di banda inferiore (LPFd) e di banda superiore (HPFd); e dal fatto di prevedere inoltre una ulteriore coppia di filtri analogici di ricostruzione di banda, rispettivamente di banda inferiore (LPFa) e di banda superiore (BPFa), disposti in uscita ai citati generatore a banda stretta (LPFa) e DAC (BPFa) di potenza (10).

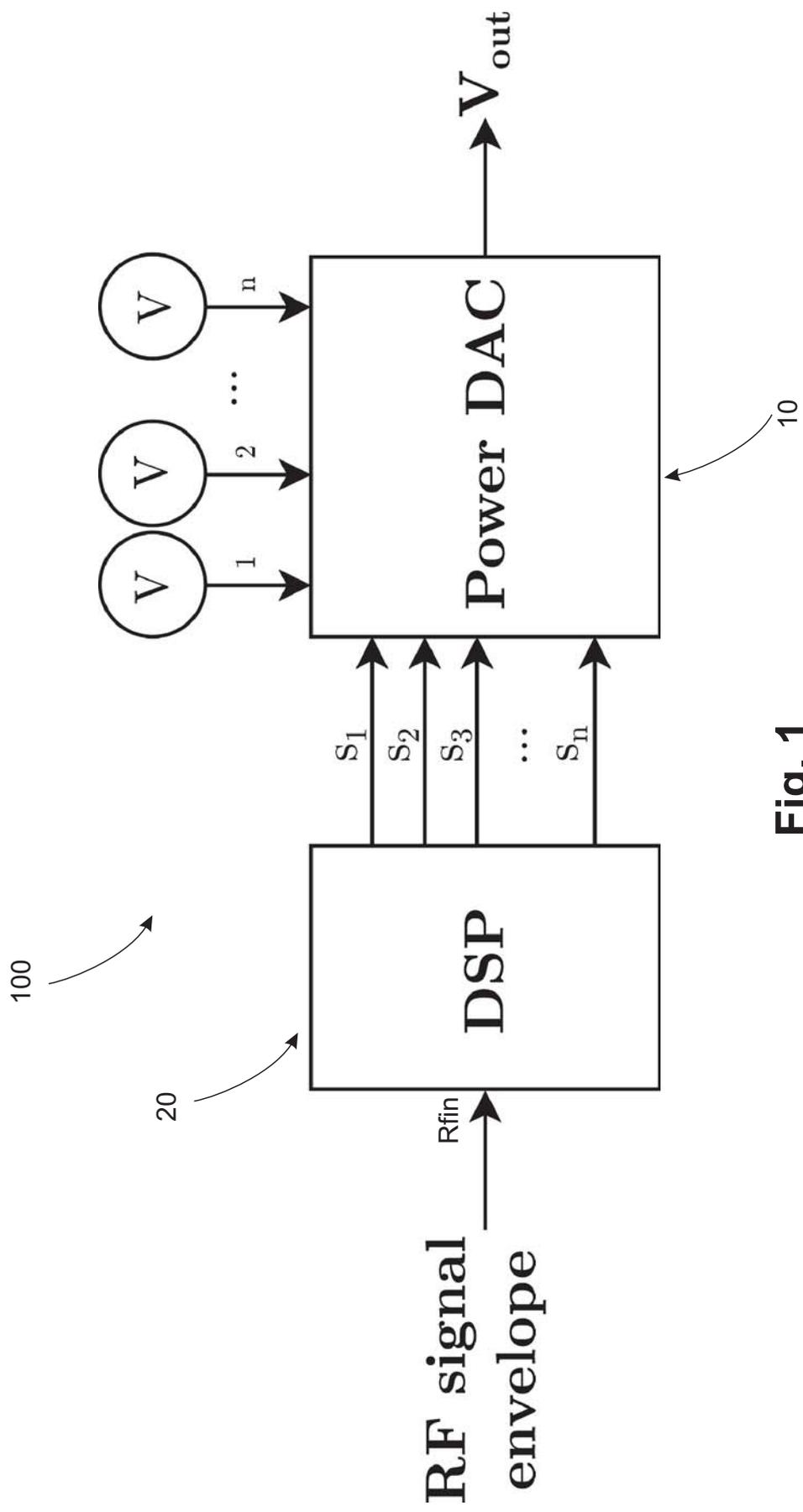
- 8) Alimentatore secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detto generatore a banda stretta comprende un convertitore di tipo "buck".
- 9) Metodo per la gestione di un alimentatore a inseguimento di involuppo, del tipo provvisto di un convertitore digitale-analogico (DAC) di potenza (10) atto a generare in uscita una tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ) regolabile, detto alimentatore (100) essendo destinato ad alimentare un amplificatore di potenza in radiofrequenza a larga banda e comprendente: detto DAC (10); una pluralità di stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ), attivabili da detto DAC per contribuire alla produzione di detta tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ); un elaboratore digitale di segnale (DSP) (20), destinato a generare segnali di attivazione ( $S_1...S_n$ ) e di bypass ( $\underline{S}_1...S_n$ ) per detti stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ) per ottenere in uscita valori quantizzati di detta tensione di alimentazione ( $V_{out}$ ) atti ad approssimare l'andamento di un segnale di involuppo (SE), ricevuto da detto DSP (20) in un proprio ingresso ( $RF_{in}$ ), indicativo della richiesta istantanea di potenza da parte del citato amplificatore a radiofrequenza; detto DAC comprendente inoltre, per ciascuno di detti stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ), corrispondenti dispositivi commutatori di attivazione ( $H_1...H_n$ ) e dispositivi commutatori di bypass ( $L_1...L_n$ ), che detti generatori di tensione modulari sono elettricamente fra loro collegati in serie, e che ciascuno di detti dispositivi commutatori di attivazione ( $H_1...H_n$ ) e di bypass ( $L_1...L_n$ ) è rispettivamente attivabile dal proprio citato segnale di attivazione ( $S_1...S_n$ ) e di bypass ( $\underline{S}_1...S_n$ ) per sommare o escludere il corrispondente stadio generatore di tensione modulare ( $V_1...V_n$ ) alla/dalla produzione della menzionata tensione di uscita ( $V_{out}$ ); detto metodo di gestione essendo, caratterizzato dal fatto che la logica operativa di detto DSP (20) prevede

una verifica periodica dell'ampiezza istantanea del citato segnale di inviluppo (RF) e, in corrispondenza di una variazione di detta ampiezza maggiore di un valore predefinito, comanda l'attivazione dello stadio generatore di tensione modulare ( $V_x$ ) inattivo da maggior tempo in caso di variazione positiva, e comanda invece la disattivazione dello stadio generatore di tensione modulare ( $V_y$ ) attivo da maggior tempo in caso di variazione negativa.

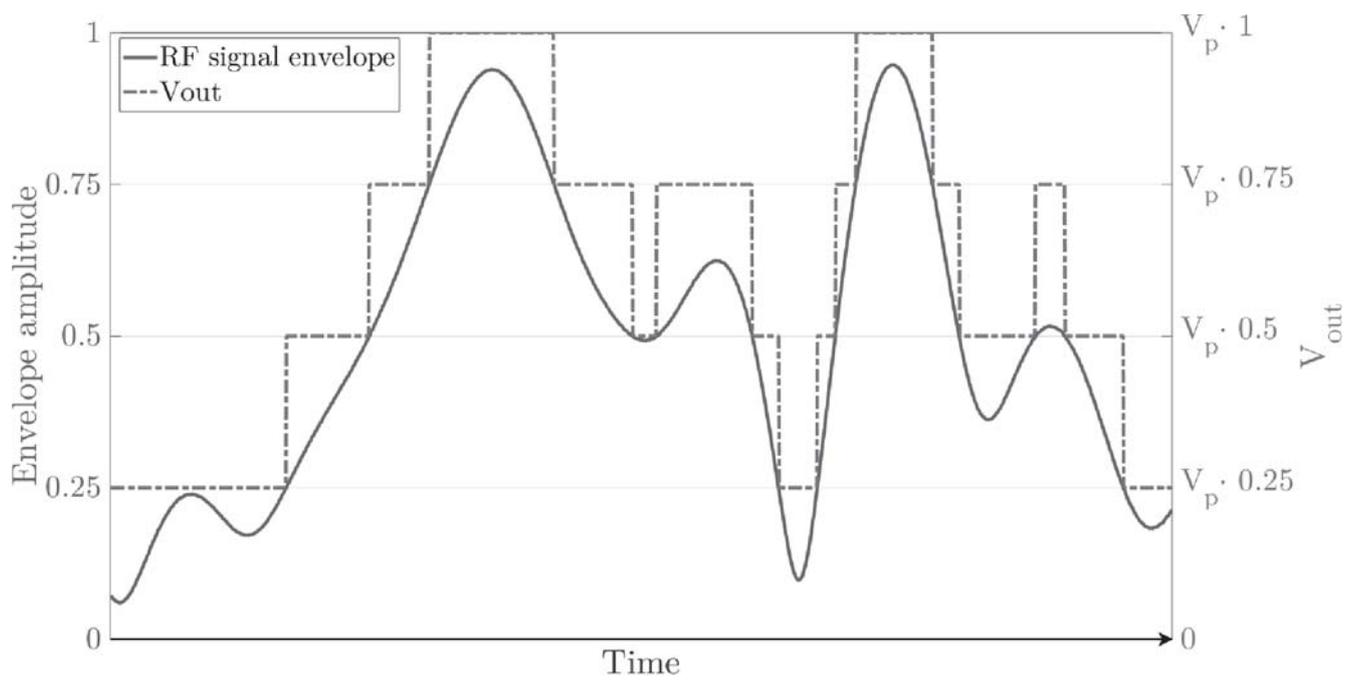
- 10) Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che l'attivazione di ciascuno stadio citato generatore di tensione modulare ( $V_x$ ) viene attuata commutando il relativo citato commutatore di attivazione ( $H_x$ ) in condizione ON e commutando il relativo citato commutatore di bypass ( $S_x$ ) in condizione OFF.
- 11) Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che la disattivazione di ciascun citato stadio generatore di tensione modulare ( $V_y$ ) viene attuata commutando il relativo citato commutatore di attivazione ( $H_y$ ) in condizione OFF e commutando il relativo citato commutatore di bypass ( $S_y$ ) in condizione ON.
- 12) Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che l'attivazione e la disattivazione dei citati stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ) da parte di detto DSP (20) avviene su base unaria, vale a dire che a ciascuno di detti stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ) viene attribuito il medesimo peso.
- 13) Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che le valutazioni in merito all'attivazione o alla disattivazione di detti stadi generatori di tensione modulari ( $V_1...V_n$ ) vengono effettuate da detto DSP (20) a partire da un valore di tensione di uscita ( $V_{out}$ ) uguale al valore di tensione prodotto da uno stadio generatore di tensione di base ( $V_0$ ) continuamente attivo.

Bologna, 26 Marzo 2020

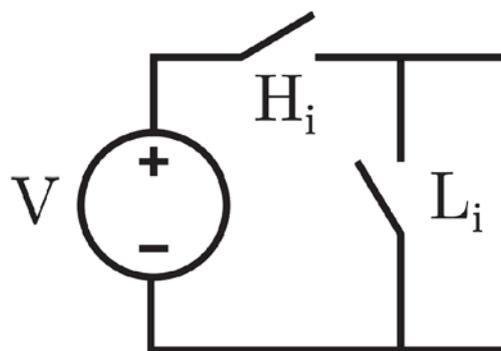
Il Mandatario  
Ing. Giammario Ruzzu  
(Albo Prot. N. 956BM)



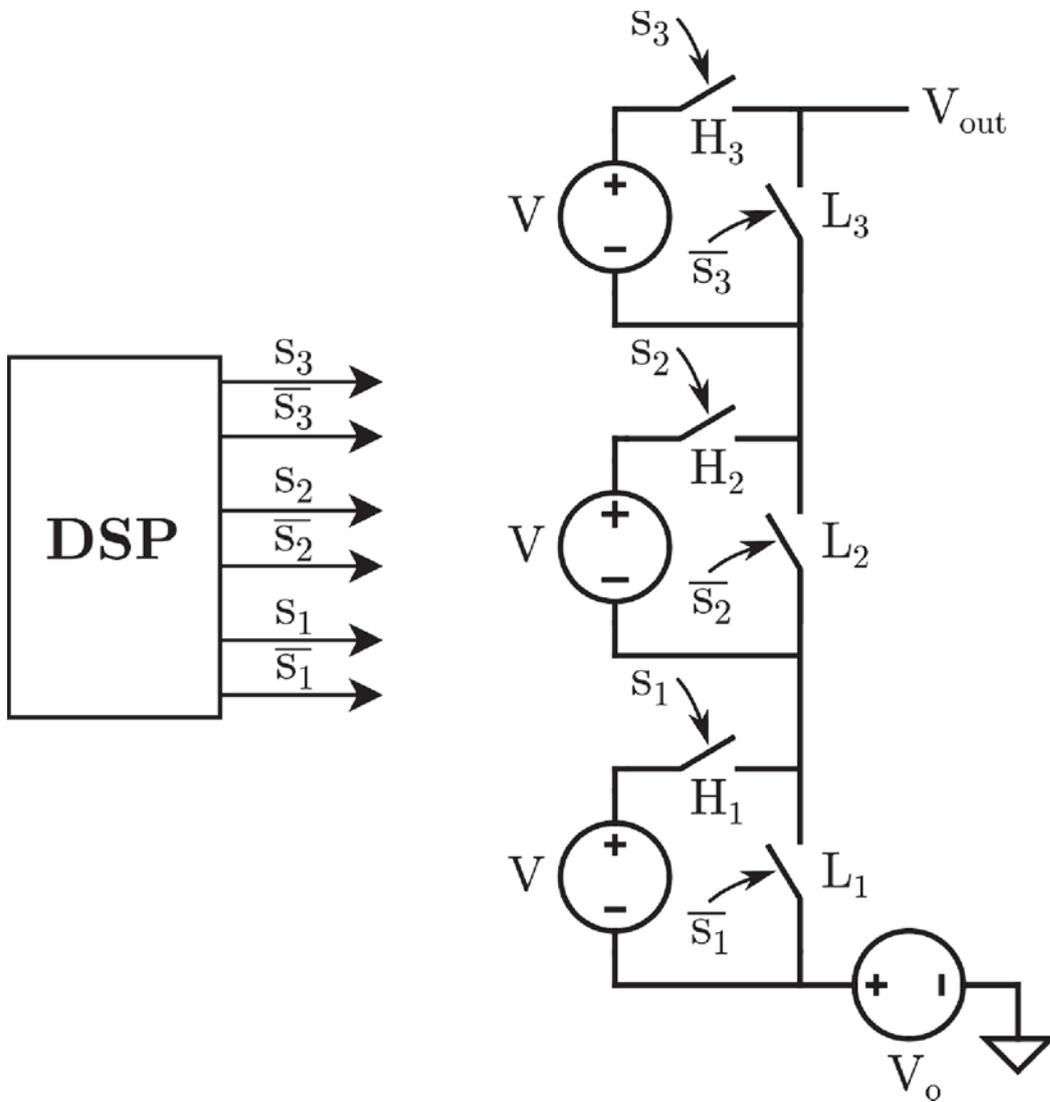
**Fig. 1**



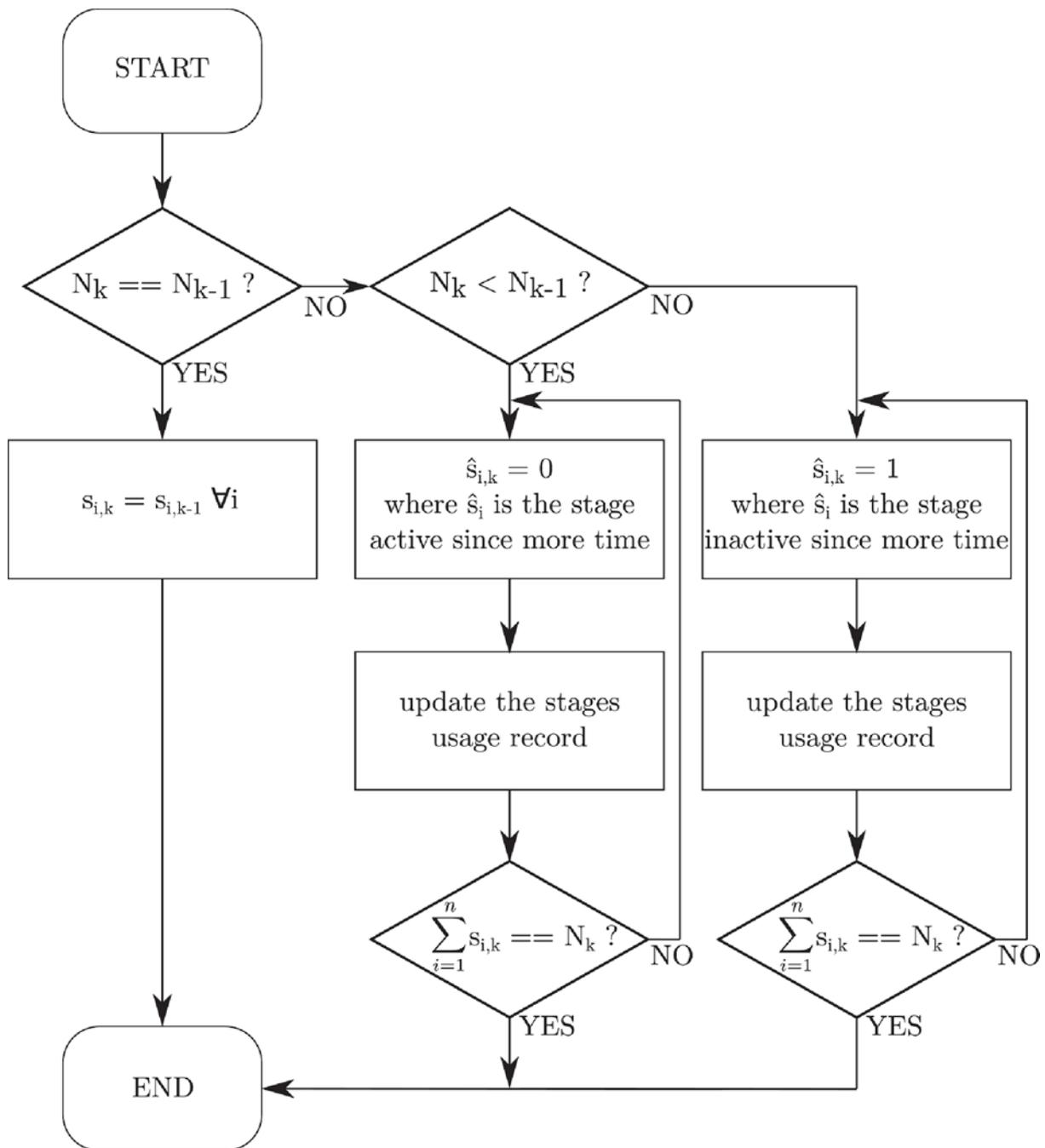
**Fig. 2**



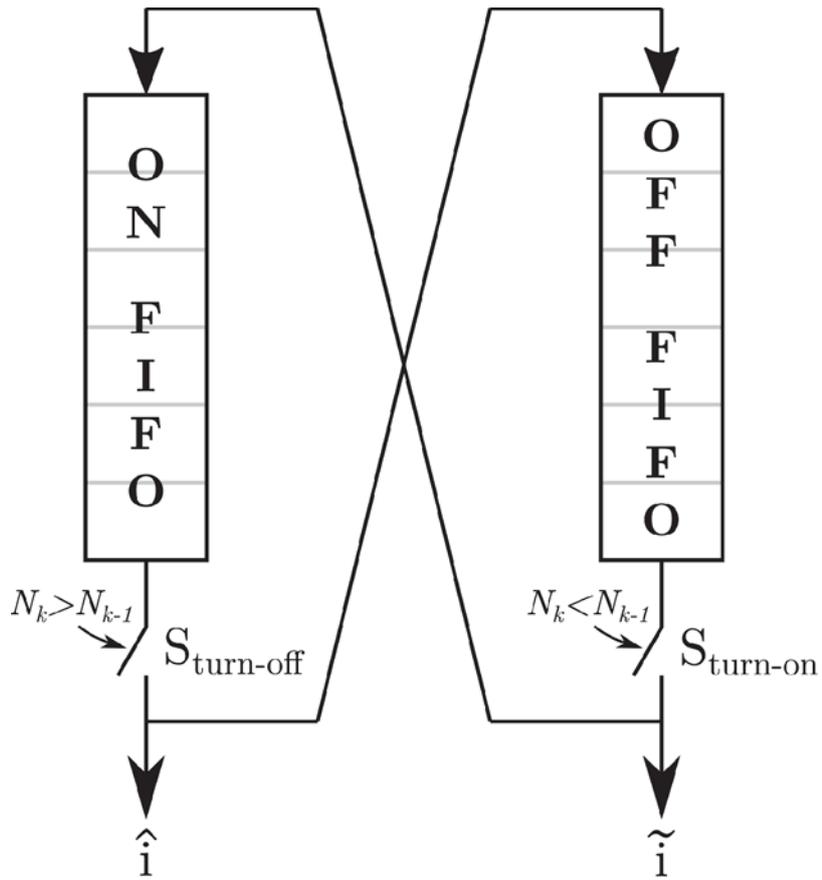
**Fig. 3**



**Fig. 4**



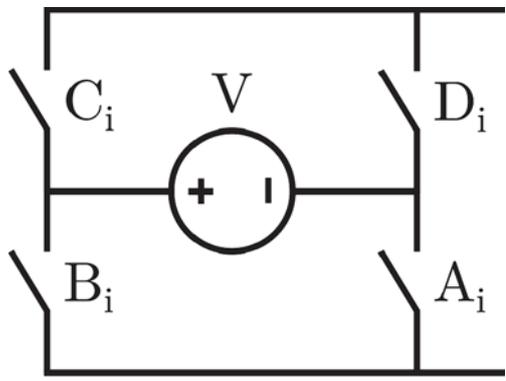
**Fig. 5**



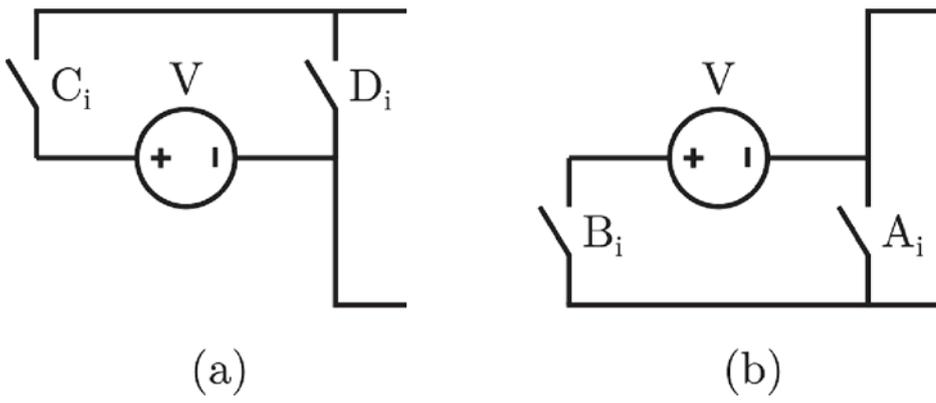
**Fig. 6**

$N_k$	1	2	1	2	3	1	3	2	2	1
$V_{out,k}$	$1 \cdot V_{PS}$	$2 \cdot V_{PS}$	$1 \cdot V_{PS}$	$2 \cdot V_{PS}$	$3 \cdot V_{PS}$	$1 \cdot V_{PS}$	$3 \cdot V_{PS}$	$2 \cdot V_{PS}$	$2 \cdot V_{PS}$	$1 \cdot V_{PS}$
$S_1$	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
$S_2$	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
$S_3$	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0

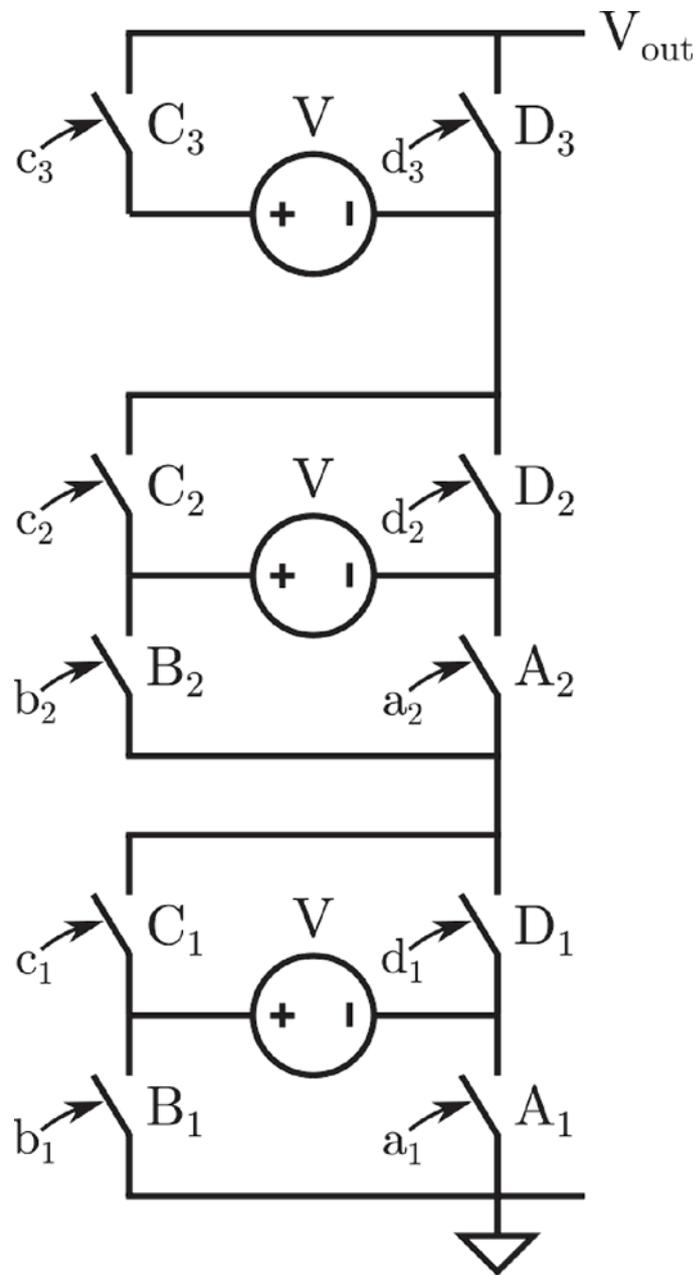
**Fig. 7**



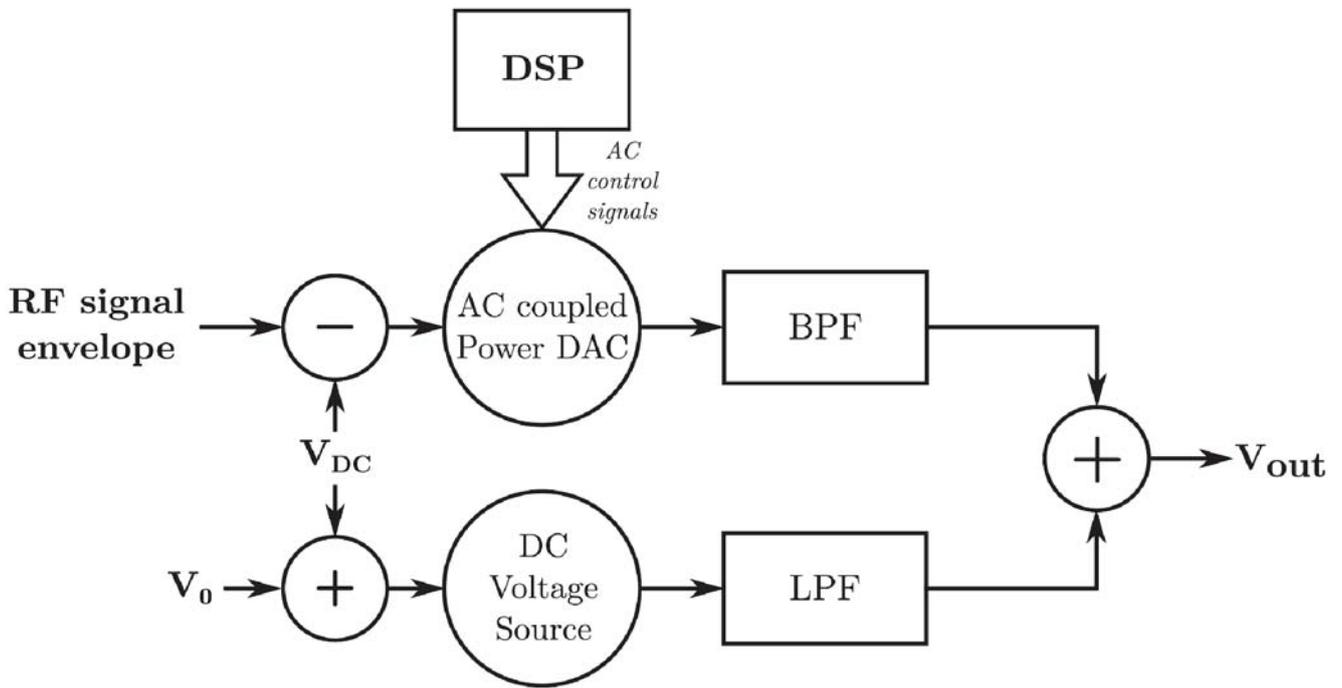
**Fig. 8**



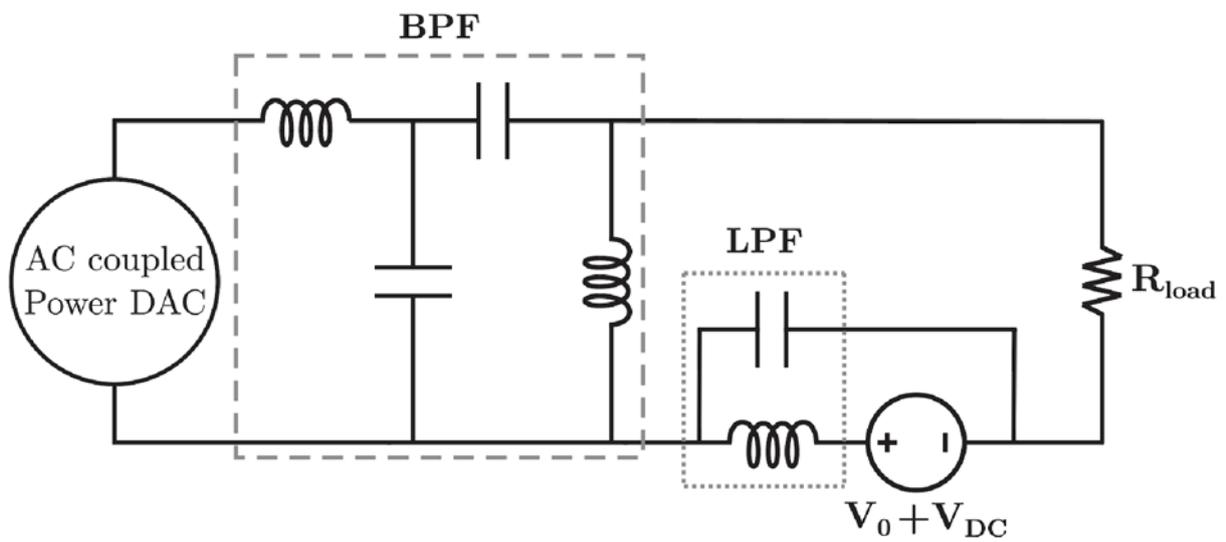
**Fig. 9**



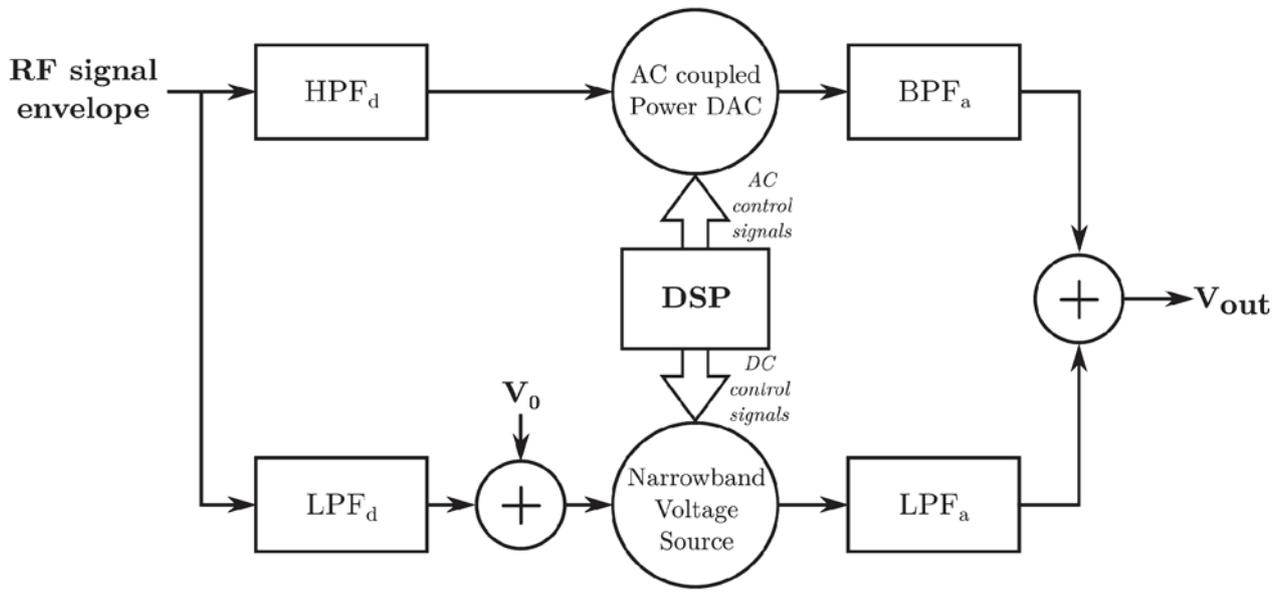
**Fig. 10**



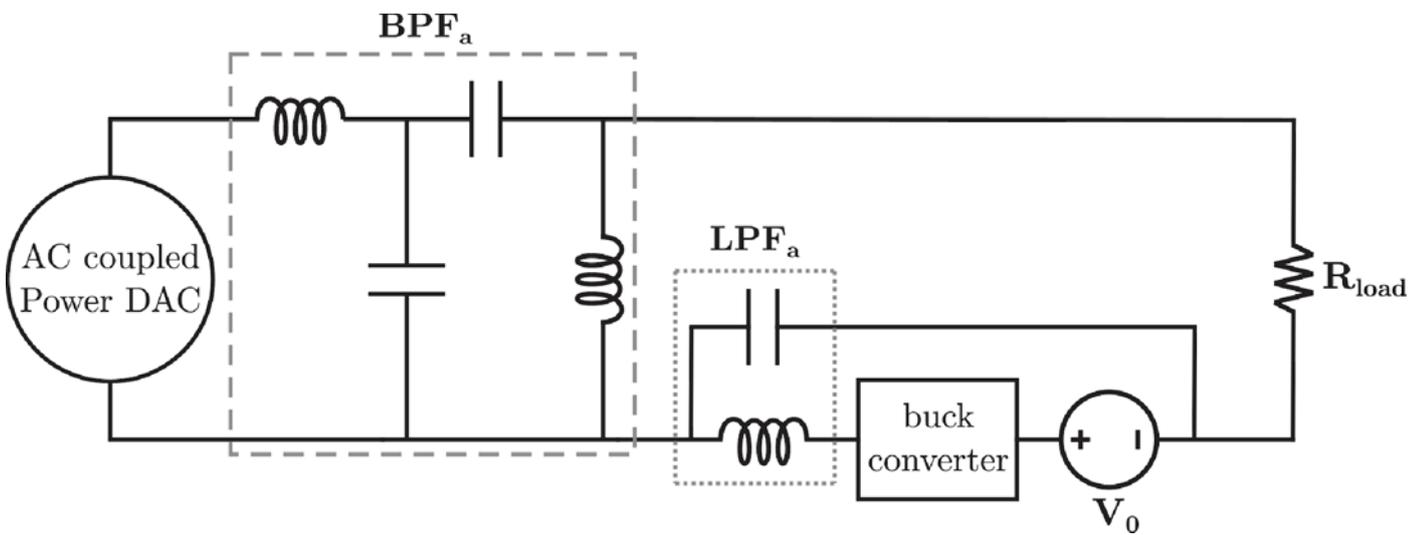
**Fig. 11**



**Fig. 12**



**Fig. 13**



**Fig. 14**