

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901893907A1

Publication Date

20120526

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

CIRCUITO DI LETTURA PER UN SENSORE DI CAMPO MAGNETICO CON
REGOLAZIONE AUTOMATICA DI FONDO SCALA

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"CIRCUITO DI LETTURA PER UN SENSORE DI CAMPO MAGNETICO CON
REGOLAZIONE AUTOMATICA DI FONDO SCALA"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: ROMANI Carlo Alberto, POZZATI Enrico, BOTTINELLI
Fabio

* * *

La presente invenzione è relativa ad un circuito di lettura per un sensore di campo magnetico, in particolare un sensore magnetico magnetoresistivo anisotropo (AMR - "Anisotropic Magneto-Resistive"), con regolazione automatica di fondo scala.

Sensori di campo magnetico, in particolare sensori magnetici AMR, sono utilizzati in una pluralità di ambiti e sistemi, ad esempio in bussole, in sistemi di rilevamento di materiali ferrosi, nel rilevamento di correnti, e in svariate altre applicazioni, grazie alla loro capacità di rilevare campi magnetici naturali (ad esempio il campo magnetico terrestre) e campi magnetici generati da componenti elettrici (quali dispositivi elettrici o elettronici e linee percorse da corrente elettrica).

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

In modo noto, il fenomeno della magnetoresistività anisotropa si verifica all'interno di particolari materiali ferrosi, che, quando sottoposti ad un campo magnetico esterno, subiscono una variazione di resistività in funzione delle caratteristiche dello stesso campo magnetico esterno. Solitamente, tali materiali vengono applicati sotto forma di sottili strisce ("strips") in modo da formare elementi resistivi, e gli elementi resistivi così formati vengono collegati elettricamente a formare una struttura a ponte (tipicamente un ponte di Wheatstone).

È noto inoltre realizzare sensori magnetici AMR con tecniche standard di microfabbricazione dei semiconduttori, come descritto ad esempio in US 4,847,584. In particolare, ciascun elemento magnetoresistivo può essere formato da un film di materiale magnetoresistivo, quale ad esempio il Permalloy (una lega ferromagnetica contenente ferro e nichel), depositato a formare una sottile striscia su un substrato di materiale semiconduttore, ad esempio silicio.

Quando una corrente elettrica viene fatta scorrere attraverso un elemento magnetoresistivo, l'angolo θ tra la direzione di magnetizzazione di tale elemento magnetoresistivo e la direzione del flusso della corrente influenza il valore effettivo di resistività dello stesso elemento magnetoresistivo, così che, al variare del valore dell'angolo θ , varia il valore di resistenza elettrica (in

dettaglio, tale variazione segue una legge del tipo $\cos^2\theta$). Ad esempio, una direzione di magnetizzazione parallela alla direzione del flusso di corrente risulta in un valore di resistenza al passaggio di corrente attraverso l'elemento magnetoresistivo massimo, mentre una direzione di magnetizzazione ortogonale alla direzione del flusso di corrente risulta in un valore di resistenza al passaggio di corrente attraverso l'elemento magnetoresistivo minimo.

In particolare, la struttura di rilevamento a ponte di Wheatstone (che si può definire "microelettromagnetica") di un sensore magnetico AMR include elementi magnetoresistivi idealmente di pari valore di resistenza, e tali da formare coppie diagonali di elementi uguali, che reagiscono in maniera tra loro opposta ai campi magnetici esterni, come mostrato schematicamente in figura 1 (in cui I indica la corrente elettrica che fluisce negli elementi magnetoresistivi e R il valore comune di resistenza).

Applicando una tensione di alimentazione V_s in ingresso alla struttura di rilevamento a ponte (in particolare ai primi due terminali del ponte, che operano come terminali di ingresso), in presenza di un campo magnetico esterno H_e , si verifica una variazione di resistenza ΔR degli elementi magnetoresistivi ed una corrispondente variazione del valore di caduta di tensione ("voltage drop") sugli stessi elementi magnetoresistivi;

infatti, il campo magnetico esterno H_e determina una variazione della direzione di magnetizzazione degli elementi magnetoresistivi. Ne consegue uno sbilanciamento del ponte, che si manifesta come una variazione di tensione ΔV all'uscita del circuito a ponte (in particolare tra i restanti due terminali del ponte, che operano come terminali di uscita). Siccome la direzione della magnetizzazione iniziale degli elementi magnetoresistivi è nota a priori, in funzione di tale variazione di tensione ΔV risulta dunque possibile risalire alla componente del campo magnetico esterno agente lungo la direzione di sensibilità del sensore magnetico (essendo dunque possibile, utilizzando tre sensori magnetici con direzioni di sensibilità tra loro ortogonali, determinare modulo e direzione dello stesso campo magnetico esterno).

In particolare, per rilevare lo sbilanciamento del ponte di Wheatstone e generare un segnale elettrico di uscita indicativo delle caratteristiche del campo magnetico esterno da misurare, viene solitamente utilizzato un circuito (o front-end) di lettura, accoppiato all'uscita della struttura di rilevamento del sensore magnetico AMR, ed includente uno stadio di condizionamento del segnale, comprendente unità di amplificazione e filtraggio. La struttura di rilevamento e l'associato circuito di lettura formano, insieme, il sensore di campo magnetico, che

fornisce in uscita un segnale elettrico in funzione del campo magnetico rilevato, presentando una data risposta ingresso/uscita, dovuta in parte alla sensibilità della struttura di rilevamento a ponte, ed in parte al guadagno dell'associato circuito di lettura.

In molte applicazioni in cui i sensori magnetici AMR vengono solitamente utilizzati, ai segnali magnetici da rilevare sono sovrapposti campi magnetici di disturbo, solitamente noti come "stray field", il cui valore può essere anche confrontabile, se non superiore, a quello dei segnali da rilevare. Tali campi magnetici di disturbo, dovuti all'ambiente di utilizzo dei sensori magnetici, agiscono come un offset che si sovrappone al segnale utile da rilevare.

Ad esempio, i sensori magnetici AMR trovano vantaggiosa applicazione, in particolare per la realizzazione di bussole, in sistemi di telefonia mobile. In tali applicazioni, i campi magnetici di disturbo sono generati dagli stessi dispositivi elettronici di telefonia mobile in cui i sensori magnetici sono incorporati (in particolare, ad antenna di ricetrasmisione operativamente attiva), e possono essere orientati secondo la direzione di rilevamento degli stessi sensori magnetici AMR. In questo caso, il valore del campo magnetico utile da rilevare è ad esempio dell'ordine di 0,6 Gauss (campo magnetico

terrestre), mentre il campo magnetico di disturbo generato dai dispositivi elettronici di telefonia mobile può anche arrivare a valori elevati, ad esempio pari a 4 Gauss.

Ne consegue che una selezione da progetto del valore di fondo scala del sensore magnetico AMR, eseguita in funzione del segnale utile da rilevare, può portare alla saturazione dello stesso sensore (in particolare del relativo circuito elettronico di lettura), in presenza di campi magnetici di disturbo di valore elevato. Tale saturazione comporta a sua volta l'impossibilità di eseguire una corretta lettura del campo magnetico utile da rilevare.

In particolare, il circuito di lettura comprende tipicamente una parte analogica di condizionamento dei segnali (in termini di amplificazione e filtraggio), ed eventualmente una parte di conversione da analogico a digitale, che fornisce i segnali di uscita; solitamente, è proprio l'unità di conversione analogico/digitale in uscita che satura al valore di fondo scala, in presenza di componenti di disturbo (la parte analogica può essere infatti progettata per lavorare in dinamica lineare per intervalli superiori alla massima dinamica del convertitore analogico/digitale). Alternativamente, il circuito di lettura può comprendere la sola parte analogica, ed essere prevista, all'esterno, un'opportuna unità di conversione da

analogico a digitale; in tal caso, si possono comunque verificare saturazioni della catena di lettura analogica in presenza dei campi magnetici di disturbo.

Per ovviare a tale inconveniente, si possono dunque utilizzare valori di fondo scala più elevati, in modo da evitare saturazioni in lettura, a scapito però dell'ottenimento di valori di risoluzione generalmente minori nel rilevamento dei campi magnetici. Infatti, in modo noto, il fondo scala di tali sensori, oltre ad indicare un valore massimo del campo magnetico rilevabile, è in genere associato alla risoluzione di misura, essendo fissa la dinamica di un relativo segnale di uscita. In altri termini, un aumento del fondo scala è da considerarsi equivalente ad una diminuzione della risoluzione del sensore (ad esempio, nel caso digitale, ciò è dovuto alla presenza di un full scale più ampio, a parità di livelli di quantizzazione del convertitore analogico/digitale). Tale diminuzione delle prestazioni elettriche dei sensori può tuttavia non essere accettabile, in particolare in quelle applicazioni che richiedono una misura accurata del campo magnetico da rilevare, come ad esempio nei magnetometri.

Inoltre, data la variabilità dei campi magnetici di disturbo che possono sovrapporsi al segnale utile durante le effettive condizioni di utilizzo dell'associato dispositivo elettronico (ad esempio il suddetto dispositivo

di telefonia mobile), non risulta in ogni caso agevole selezionare a priori, ad esempio in fase di progetto, un valore di fondo scala adeguato per il sensore magnetico AMR, né assicurare, in tutte le possibili condizioni di utilizzo, l'assenza di saturazione del relativo circuito elettronico di lettura.

I sensori magnetici AMR che sono stati sino ad oggi proposti non risultano dunque del tutto soddisfacenti ed ottimizzati per quanto riguarda la selezione del valore di fondo scala, e spesso non sono in grado di assicurare i risultati desiderati in termini delle relative prestazioni elettriche.

Scopo della presente invenzione è pertanto quello di fornire un sensore di campo magnetico, che risulti esente dagli svantaggi dell'arte nota, precedentemente evidenziati.

Secondo la presente invenzione vengono forniti un circuito di lettura per un sensore di campo magnetico, ed un relativo sensore di campo magnetico, come definiti nelle rivendicazioni allegate.

Per una migliore comprensione della presente invenzione, ne vengono ora descritte forme di realizzazione preferite, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra uno schema elettrico equivalente

semplificato di una struttura di rilevamento di un sensore magnetico AMR, di tipo noto;

- la figura 2 mostra uno schema semplificato di un circuito di lettura di un sensore di campo magnetico, in particolare un sensore magnetico AMR, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 3 e 4 mostrano diagrammi di flusso relativi a varianti realizzative di un algoritmo implementato da uno stadio di controllo di fondo-scala nel circuito di lettura di figura 2; e

- la figura 5 mostra uno schema a blocchi semplificato di un dispositivo elettronico includente il sensore di campo magnetico di figura 2.

Un aspetto della presente invenzione si applica ad un sensore di campo magnetico, in particolare un sensore magnetico AMR avente una struttura di rilevamento del tipo descritto con riferimento alla figura 1, e prevede di implementare un circuito di lettura, associato alla stessa struttura di rilevamento, che comprende uno specifico stadio di controllo di fondo scala, in grado di regolare automaticamente il valore di fondo scala implementato dallo stesso circuito di lettura, selezionandone un valore opportuno in funzione delle condizioni effettive di utilizzo, così da evitarne la saturazione in uscita.

In dettaglio, la figura 2 mostra schematicamente un

sensore di campo magnetico (in particolare un sensore magnetico AMR) secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, indicato nel suo complesso con 1, includente una struttura di rilevamento, indicata con 2 e schematizzata mediante il suo circuito equivalente a ponte di Wheatstone, ed un circuito (o front-end) di lettura 3, associato alla struttura di rilevamento 2.

Convenientemente, la struttura di rilevamento 2 ed il relativo circuito di lettura 3 possono essere realizzati, con le tecniche di microfabbricazione dei semiconduttori, all'interno di rispettive piastrine (die) di materiale semiconduttore, ad esempio silicio (il circuito di lettura 3 essendo realizzato come ASIC - Application Specific Integrated Circuit), ed integrate all'interno di uno stesso package (in modo da formare il sensore di campo magnetico 1 in un unico chip). La struttura di rilevamento 2 può eventualmente essere realizzata in due o più piastrine di materiale semiconduttore, ad esempio ciascuna integrante una parte sensibile ad una rispettiva direzione di rilevamento (nel caso di sensori a più assi di misura).

In particolare, la struttura di rilevamento 2, in configurazione a ponte di Wheatstone, comprende quattro elementi magnetoresistivi 2a-2d, ad esempio costituiti da strisce di un film sottile di materiale magnetoresistivo, quale il Permalloy, aventi uno stesso valore di resistenza

a riposo R (in assenza di campi magnetici esterni), ed atti a subire a coppie una stessa variazione ΔR in presenza di un campo magnetico esterno H_e (le coppie sono formate dagli elementi affacciati in diagonale nel ponte, vale a dire una prima coppia è formata dagli elementi magnetoresistivi 2a e 2c, ed una seconda coppia dagli elementi magnetoresistivi 2b e 2d).

La struttura di rilevamento 2 presenta un primo terminale di ingresso In_1 , atto ad essere collegato al polo positivo di una sorgente di alimentazione 4, fornente una tensione di alimentazione V_s , ed un secondo terminale di ingresso In_2 , atto ad essere collegato al polo negativo della stessa sorgente di alimentazione 4 (ad esempio coincidente con un terminale di massa del circuito di lettura 3). La struttura di rilevamento 2 presenta inoltre un primo ed un secondo terminale di uscita Out_1 , Out_2 , tra cui è presente il segnale elettrico di sbilanciamento (ovvero la variazione di tensione ΔV), che è funzione, in particolare, delle caratteristiche del campo magnetico esterno H_e che deve essere rilevato (e su cui è eventualmente sovrapposto un campo magnetico di disturbo, agente sostanzialmente come un offset).

Il circuito di lettura 3 comprende uno stadio di condizionamento 6, accoppiato elettricamente all'uscita della struttura di rilevamento 2 ed includente, nella forma

di realizzazione illustrata schematicamente in figura 2, opportune unità di amplificazione e filtraggio 7, 8 per il condizionamento del segnale di variazione di tensione ΔV che riceve tra suoi due ingressi 6a, 6b, collegati rispettivamente al primo ed al secondo terminale di uscita Out_1 , Out_2 .

Lo stadio di condizionamento 6 comprende inoltre in uscita un'unità di conversione analogico/digitale (ADC - Analog to Digital Converter) 9, che fornisce su un'uscita 6c un segnale di uscita V_{out} , in questo caso di tipo digitale, il cui valore risulta funzione della variazione di tensione ΔV generata dalla struttura di rilevamento 2 (in maniera non illustrata, lo stadio di condizionamento 6 potrebbe in alternativa essere di tipo "fully differential", ovvero avere una coppia di uscite differenziali tra cui è presente il segnale di uscita V_{out}).

L'uscita 6c dello stadio di condizionamento 6 rappresenta inoltre l'uscita del sensore di campo magnetico 1 nei confronti dell'ambiente esterno, ad esempio per il collegamento ad un'unità elettronica esterna di gestione, qui non illustrata, di un dispositivo elettronico che incorpora lo stesso sensore di campo magnetico 1. In modo non illustrato, il circuito di lettura 3 può inoltre fornire in uscita all'esterno del sensore di campo

magnetico 1, un segnale analogico, in alternativa o in aggiunta al segnale di uscita Vout di tipo digitale.

Secondo un aspetto della presente invenzione, il circuito di lettura 3 comprende inoltre uno stadio di controllo di fondo scala 10, accoppiato operativamente allo stadio di condizionamento 6, per variarne un valore di fondo scala e dunque le condizioni di rilevamento del campo magnetico. In particolare, lo stadio di controllo di fondo scala 10 genera un opportuno segnale di comando FS, che viene fornito allo stadio di condizionamento 6 per regolarne il valore di fondo scala.

Il segnale di comando FS può ad esempio agire su un fattore di guadagno dell'unità di amplificazione 7 interna allo stadio di condizionamento 6 (tipicamente costituente un primo blocco di ingresso dello stesso stadio di condizionamento 6); l'unità di amplificazione 7 presenta dunque a tal fine guadagno variabile e selezionabile, ad esempio comprendendo una rete resistiva con resistenza selezionabile, o una rete capacitiva con capacità selezionabile (in modo di per sé noto, qui non descritto in dettaglio).

A seconda delle esigenze e delle differenti applicazioni e condizioni di utilizzo, tramite il segnale di comando FS, lo stadio di controllo di fondo scala 10 è dunque in grado di variare il valore di fondo scala dello

stadio di condizionamento 6, variandone di conseguenza la risoluzione, tra un valore minimo, ad esempio pari a 1 Gauss, ed un valore massimo, ad esempio pari a 8 Gauss; la variazione tra il valore minimo ed il valore massimo può ad esempio avvenire a passi di valore prefissato, costanti o variabili tra loro.

Lo stadio di controllo di fondo scala 10, ad esempio includente un microprocessore, un microcontrollore, una unità logica programmabile, o un analogo strumento di calcolo, presenta un primo ingresso collegato all'uscita 6c dello stadio di condizionamento 6 e ricevente il segnale di uscita Vout (in questo caso di tipo digitale), ed un secondo ingresso ricevente un'informazione di abilitazione EN dall'ambiente esterno (sotto forma di un opportuno segnale o dato di ingresso); lo stadio di controllo di fondo scala 10 presente inoltre un'uscita collegata allo stadio di condizionamento 6 e fornente il suddetto segnale di comando FS.

In particolare, lo stadio di controllo di fondo scala 10 è configurato in modo da eseguire un opportuno algoritmo per selezionare autonomamente, tramite il segnale di comando FS, il valore di fondo scala più opportuno per lo stadio di condizionamento 6, tale da non causarne la saturazione ed al contempo assicurare prestazioni elettriche (in termini di fondo scala e risoluzione del

rilevamento) adeguate alle effettive condizioni di utilizzo. In particolare, lo stadio di controllo di fondo scala 10 opera in maniera automatica nella determinazione del suddetto valore di fondo scala, senza necessità di selezione da parte dell'utente del dispositivo elettronico a cui il sensore di campo magnetico 1 è associato; il valore di fondo scala ottimizzato può essere in particolare il minimo valore di fondo scala, tra quelli selezionabili, in grado di non causare la saturazione del circuito di lettura 3.

A seconda delle specifiche applicazioni ed esigenze, il suddetto algoritmo può essere eseguito autonomamente dallo stadio di controllo di fondo scala 10, ad esempio ad ogni accensione del dispositivo elettronico incorporante il sensore di campo magnetico 1, oppure può essere eseguito in funzione del valore dell'informazione di abilitazione EN ricevuta dall'ambiente esterno (ad esempio dall'unità di gestione dello stesso dispositivo elettronico). Vantaggiosamente, qualora abilitato, lo stadio di controllo può attivare automaticamente l'algoritmo in caso verifichi una saturazione in uscita, eventualmente comunicando all'esterno che una saturazione è avvenuta e che è stato di conseguenza cambiato il valore di fondo scala (comunicando inoltre il nuovo valore di fondo scala selezionato). Ancora, la procedura di selezione del valore ottimizzato di

fondo scala può essere eseguita "on demand", ovvero in seguito ad una richiesta impartita dall'utente del dispositivo elettronico (che si traduce, per il tramite dell'unità di gestione dello stesso dispositivo elettronico, nell'invio dell'informazione di abilitazione EN allo stadio di controllo di fondo scala 10); ciò può avvenire ad esempio nel caso in cui sia l'utente ad accorgersi della presenza di saturazione in uscita.

In una forma di realizzazione, descritta in dettaglio in seguito, l'algoritmo può operare inoltre in modo continuo, verificando continuativamente nel tempo, con una data cadenza (in termini di "output data rate"), l'eventuale presenza di saturazione, e determinando di volta in volta il valore di fondo scala ottimizzato.

In una forma di realizzazione, l'algoritmo eseguito dallo stadio di controllo di fondo scala 10 per la selezione del valore di fondo scala ottimizzato prevede di partire da un primo valore di fondo scala dello stadio di condizionamento 6, e di aumentare progressivamente (ad esempio a passi predefiniti) tale valore di fondo scala, fino a che il segnale magnetico (comprendente il campo magnetico utile da rilevare ed il campo magnetico di disturbo) non venga rilevato senza saturazione del circuito di lettura 3. In tal modo, risulta possibile determinare il valore minimo di fondo scala che consente di evitare

saturazioni e di leggere con adeguate caratteristiche elettriche i segnali magnetici.

In maggiore dettaglio, e come illustrato in figura 3, l'algoritmo di selezione del valore ottimizzato di fondo scala per il sensore di campo magnetico 1 prevede le seguenti operazioni, che vengono eseguite all'interno dello stadio di controllo di fondo scala 10. Le operazioni vengono eseguite in maniera iterativa, variando di volta in volta il valore di fondo scala dello stadio di condizionamento 6, tramite una corrispondente variazione del segnale di comando FS, fino a raggiungere il valore di fondo scala ottimizzato.

In una fase iniziale dell'algoritmo, che è indicato nel suo insieme con 20, si avviano, secondo le modalità precedentemente indicate, le operazioni di selezione del valore di fondo scala ottimizzato per il circuito di lettura 3 (e per il relativo stadio di condizionamento 6). In particolare, inizialmente viene selezionato, tramite un primo valore del segnale di comando FS, un primo valore di fondo scala, ad esempio: un minimo valore tra quelli selezionabili ed implementabili nello stadio di condizionamento 6; oppure, vantaggiosamente, un valore di fondo scala "di default", che da progetto sia ritenuto idoneo per le normali condizioni di funzionamento del sensore (ovvero, in assenza di campi magnetici di

disturbo); o, ancora, si imposta come primo valore un valore corrente del fondo scala.

Successivamente, fase 21, lo stadio di controllo di fondo scala 10 controlla l'esecuzione di una misura del segnale di uscita Vout fornito dal circuito di lettura 3 accoppiato alla struttura di rilevamento 2 del sensore di campo magnetico 1; in particolare, il segnale di uscita Vout è funzione del campo magnetico complessivo rilevato dalla struttura di rilevamento 2, e dunque dipende dalle effettive condizioni di utilizzo e dall'eventuale presenza di campi magnetici di disturbo. Si noti che, nell'implementazione digitale qui descritta, viene in tale fase acquisito un primo campione del suddetto segnale di uscita Vout.

In seguito, fase 22, lo stadio di controllo di fondo scala 10 verifica che il circuito di lettura 3 non saturi, ad esempio verificando che il segnale di uscita Vout fornito dallo stadio di condizionamento 6 non corrisponda ad un valore saturato (ad esempio coincidente con un valore corrispondente ad un valore digitale massimo ottenibile con il numero di bit utilizzato nella conversione da analogico a digitale, ovvero un numero digitale in cui tutti i bit hanno valore "1", o ad un valore digitale minimo, ovvero un numero digitale in cui tutti i bit hanno valore "0"). Più in generale, si può verificare che il segnale di uscita

Vout non superi una soglia predefinita, decisa a priori come indicativa di saturazione.

Nel caso in cui verifichi l'assenza di saturazione, fase 23, lo stadio di controllo di fondo scala 10 determina che è stato selezionato il valore ottimizzato di fondo scala, ed interrompe le operazioni.

Altrimenti, nel caso in cui verifichi la presenza di saturazione, fase 24, lo stadio di controllo di fondo scala 10 comanda la selezione di un differente valore di fondo scala per lo stadio di condizionamento 6 del circuito di lettura 3, generando ed inviando allo stesso stadio di condizionamento 6 un segnale di comando FS di valore opportunamente modificato rispetto alla fase precedente dell'algoritmo iterativo. In particolare, si determina in tale fase la selezione di un valore maggiore di fondo scala, incrementato, rispetto al valore precedente, della quantità consentita dalla configurazione di guadagno variabile dell'unità di amplificazione 7 dello stadio di condizionamento 6.

L'algoritmo ritorna dunque alla fase 21, per l'esecuzione di un nuovo passo dell'algoritmo iterativo, ed in particolare per l'esecuzione di una nuova misura del segnale di uscita Vout, in presenza del nuovo valore di fondo scala precedentemente selezionato. L'algoritmo procede così in maniera iterativa, e per approssimazioni

successive, fino alla determinazione e selezione del valore ottimizzato di fondo scala, che consenta l'esecuzione delle misure di campo magnetico senza saturazione del circuito di lettura 3.

La figura 4 mostra una diversa forma di realizzazione dell'algoritmo eseguito dallo stadio di controllo di fondo scala 10, che prevede un continuo monitoraggio del campo magnetico e delle misure effettuate, al fine di verificare la presenza di saturazione e provvedere di conseguenza alla selezione di un valore di fondo scala ottimizzato; tale algoritmo prevede inoltre il ritorno ad una condizione di misura di default, una volta che si verifichi il venir meno delle condizioni atipiche che hanno portato alla saturazione.

L'algoritmo prevede di eseguire, in maniera continuativa nel tempo, una misura del campo magnetico con una certa cadenza (o "data rate"), fase 30, controllando il valore del segnale di uscita Vout.

Nel caso in cui si verifichi la presenza di saturazione, in una fase 31 successiva alla fase 30, l'algoritmo prevede dapprima una fase preliminare di verifica di fattibilità della selezione automatica di fondo scala, tale da consentire, vantaggiosamente, di risparmiare tempo di esecuzione ed evitare false letture.

In particolare, viene impostato il massimo valore di

fondo scala, fase 32, ed eseguita una nuova misura del campo magnetico, fase 33, ottenendo un corrispondente segnale di uscita Vout.

Se tale misura provoca una saturazione dell'uscita, come verificato nella fase 34 successiva alla fase 33, l'algoritmo determina l'impossibilità di procedere con la selezione di un fondo scala ottimale (dato che non è risultata possibile la lettura, senza saturazione, neanche al valore massimo di fondo scala implementabile). L'algoritmo può prevedere, fase 35, l'invio di un segnale opportuno all'esterno (ad esempio, sotto forma di flag o interrupt), in modo da evidenziare l'impossibilità di eseguire misure corrette di campo magnetico.

Al contrario, se nella fase 34 non si verifica la presenza di saturazione in uscita, si procede con la determinazione di un valore di fondo scala ottimizzato per le attuali condizioni di misura. A tal fine, può essere eseguito l'algoritmo 20 di selezione del fondo scala ottimizzato, precedentemente illustrato con riferimento alla figura 3. In alternativa, lo stadio di controllo di fondo scala 10 può essere configurato in modo tale da essere in grado, in funzione del valore del campo misurato, di selezionare direttamente un valore di fondo scala opportuno tra quelli implementabili nello stadio di condizionamento 6, ad esempio selezionando il valore di

fondo scala maggiore del, e più prossimo al, valore del campo misurato.

Se invece, alla fase 31, non si verifica la presenza di saturazione, l'algoritmo prevede ancora di verificare se il campo rilevato è ritornato in condizioni "normali", ovvero risulta inferiore al valore di fondo scala di default previsto da progetto, fase 36 successiva alla fase 31.

Nel caso in cui si verifichi tale condizione, lo stadio di controllo di fondo scala 10 provvede, fase 37, a modificare nuovamente il segnale di comando FS, in modo tale da variare il fondo scala dello stadio di condizionamento 6, riportandolo al valore di default. In questo modo, le prestazioni elettriche del circuito di lettura 3, in termini di risoluzione e sensibilità, vengono vantaggiosamente riportate ai valori ottimizzati previsti da progetto per le condizioni usuali di misura.

Altrimenti, nel caso in cui il campo rilevato non risulti inferiore al valore di fondo scala di default previsto da progetto, l'algoritmo prevede, fase 38 successiva alla fase 36, di lasciare immutato il fondo scala corrente, che risulta ancora adeguato alle attuali condizioni di misura (essendo ad esempio il risultato di una precedente selezione che ha risolto una situazione di saturazione).

In ogni caso, l'algoritmo ritorna alla fase 30, per l'esecuzione, secondo la cadenza di monitoraggio prevista, di una nuova misura del campo magnetico, così da monitorare e selezionare in maniera continuativa il fondo scala ottimizzato per le attuali, ed eventualmente mutate, condizioni di misura. L'uscita dall'algoritmo può essere in tal caso determinata mediante un opportuno segnale di interruzione proveniente dall'esterno.

La figura 5 mostra schematicamente un dispositivo elettronico 40, ad esempio un telefono cellulare o un analogo dispositivo elettronico portatile, in cui il sensore di campo magnetico 1, ed in particolare la relativa struttura di rilevamento 2 ed il relativo circuito di lettura 3, sono impiegati, ad esempio come bussola.

Il dispositivo elettronico 40 comprende un'unità di gestione (ad esempio includente un microprocessore) 42, collegata al circuito di lettura 3 del sensore di campo magnetico 1, in particolare per controllare le operazioni dello stesso circuito di lettura 3 (ed eventualmente, tramite l'informazione di abilitazione EN, attivare la procedura di selezione del valore di fondo scala ottimizzato), e per acquisire ed eventualmente elaborare ulteriormente il segnale di uscita Vout fornito (in formato analogico o digitale) dal circuito di lettura 3, una volta sia stato selezionato l'opportuno valore di fondo scala

dello stadio di condizionamento 6. In modo non illustrato, l'unità di gestione 42 può inoltre essere configurata in modo da cooperare con un'interfaccia utente del dispositivo elettronico 30, tra l'altro per ricevere dallo stesso utente, la richiesta di attivare la procedura di selezione del valore di fondo scala ottimizzato.

Il dispositivo elettronico 40 comprende inoltre una memoria 44 (opzionale), ed una sorgente di alimentazione 46, collegata al sensore di campo magnetico 1, all'unità di gestione 42, ed alla memoria 44, per fornire l'alimentazione necessaria al loro funzionamento; la sorgente di alimentazione 46 può comprendere, ad esempio, una batteria fornente la suddetta tensione di alimentazione V_s per il sensore di campo magnetico 1.

In modo non illustrato, il dispositivo elettronico 40 può comprendere ulteriori sensori di campo magnetico 1, e relativi circuiti di lettura 3, al fine di realizzare un rilevamento lungo più assi di misura, ad esempio gli assi di una terna di assi cartesiani x , y , z , per realizzare un sistema di rilevamento triassiale di campi magnetici esterni. In modo noto, tre sensori di campo magnetico 1 sono sufficienti a identificare tre componenti spaziali di un campo magnetico esterno H_e , identificandone univocamente la direzione e l'intensità. In tal caso, il dispositivo elettronico 40 può comprendere inoltre un sistema di

rilevamento posizione, ad esempio includente un accelerometro, configurato per rilevare l'orientamento del dispositivo elettronico stesso rispetto alla superficie terrestre.

I vantaggi del circuito di lettura secondo la presente invenzione, e del relativo sensore di campo magnetico, emergono in maniera evidente dalla descrizione precedente.

In particolare, la presenza dello stadio di controllo di fondo scala 10 integrato nel circuito di lettura 3 del sensore di campo magnetico 1 consente di selezionare in modo automatico il valore ottimizzato di fondo scala per il rilevamento e la lettura dei segnali di campo magnetico, evitando saturazioni del circuito di lettura 3 ed al contempo assicurando prestazioni elettriche ottimizzate in funzione delle condizioni di rilevamento (ed in particolare dei campi magnetici di disturbo presenti nell'ambiente di misura ed agenti da offset sovrapposto al segnale utile). Tale selezione viene eseguita vantaggiosamente all'interno dello stesso sensore di campo magnetico 1 (a livello dell'ASIC, ovvero nel circuito integrato associato, nello stesso package, alla struttura di rilevamento 2 del sensore di campo magnetico 1), senza che siano richieste ulteriori elaborazioni da parte di un'unità elettronica esterna.

La procedura di selezione del valore di fondo scala ottimizzato può essere convenientemente eseguita senza

alcun intervento esterno da parte di un utente (a cui in particolare non si richiedono né la selezione del valore di fondo scala da utilizzare per il rilevamento, né alcuna misura del campo magnetico di disturbo presente nell'ambiente di misura). Inoltre, l'algoritmo di ottimizzazione del valore di fondo scala può essere convenientemente eseguito "on demand", ogni qual volta sia richiesto dall'utente, oppure in maniera continuativa, durante il funzionamento del dispositivo elettronico incorporante il sensore di campo magnetico.

Risulta infine chiaro che a quanto qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti, senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, è evidente che la realizzazione circuitale dello stadio di condizionamento 6, e l'effettiva implementazione della variazione del fondo scala di misura, possono variare rispetto a quanto descritto ed illustrato. In particolare, il circuito di lettura 3, in una forma di realizzazione alternativa, può non comprendere l'unità di conversione analogico/digitale 9; in tal caso, il segnale di uscita V_{out} è un segnale di tipo analogico e la conversione in digitale può eventualmente essere eseguita esternamente al sensore di campo magnetico 1. Lo stadio di controllo 10 verifica in questo caso la saturazione del

segnale di uscita V_{out} , in modo di per sé noto, ad esempio verificando l'avvicinarsi dello stesso segnale alla tensione di alimentazione del circuito di lettura 3 (o il superamento di una data soglia di saturazione da parte dello stesso segnale di uscita).

Lo stesso algoritmo di selezione del valore di fondo scala ottimizzato può differire da quanto descritto ed illustrato; ad esempio, l'algoritmo può prevedere l'utilizzo di una tecnica dicotomica (di tipo per sé noto) per individuare, per approssimazioni successive, il valore ottimizzato di fondo scala; oppure, lo stesso algoritmo può prevedere l'utilizzo, all'avvio, di un valore di fondo scala massimo, per poi diminuire tale valore di fondo scala a passi di decremento successivi, fino alla determinazione di un valore tale da provocare la saturazione del circuito di lettura 3 (a quel punto selezionando per la misura il valore di fondo scala determinato al passo precedente dall'algoritmo iterativo).

Il circuito secondo la presente invenzione può inoltre essere utilizzato per ulteriori sensori di campo magnetico comprendenti elementi magnetoresistivi (o almeno un elemento magnetoresistivo) in una configurazione diversa da quella descritta, oppure elementi di rilevamento di campo magnetico di altro genere, in generale per la realizzazione di sensori magnetici, bussole e magnetometri.

RIVENDICAZIONI

1. Circuito di lettura (3) per un sensore di campo magnetico (1), detto sensore di campo magnetico (1) comprendendo una struttura di rilevamento (2) configurata in modo da generare una grandezza elettrica di rilevamento (ΔV) in funzione di un campo magnetico esterno, e detto circuito di lettura (3) comprendendo uno stadio di condizionamento di segnale (6), atto ad essere accoppiato elettricamente a detta struttura di rilevamento (2) e configurato in modo da generare un segnale di uscita (V_{out}) in funzione di detta grandezza elettrica di rilevamento,

caratterizzato dal fatto di comprendere uno stadio di controllo di fondo scala (10), operativamente accoppiato a detto stadio di condizionamento di segnale (6), e configurato in modo da selezionare automaticamente un valore di fondo scala ottimizzato di detto stadio di condizionamento di segnale (6) sulla base del valore di detto campo magnetico esterno, tale da evitare la saturazione di detto stadio di condizionamento di segnale.

2. Circuito secondo la rivendicazione 1, in cui detto stadio di controllo di fondo scala (10) è integrato con detto stadio di condizionamento di segnale (6) in una prima piastrina di materiale semiconduttore, ed è configurato in modo da generare, ed inviare a detto stadio di condizionamento di segnale (6), un segnale di comando (FS)

tale da selezionare detto valore di fondo scala di detto stadio di condizionamento di segnale (6).

3. Circuito secondo la rivendicazione 2, in cui detto stadio di condizionamento di segnale (6) comprende un'unità di amplificazione (7) con guadagno di amplificazione variabile e selezionabile elettronicamente, e detto segnale di comando (FS) generato da detto stadio di controllo di fondo scala (10) è atto a variare un valore di detto guadagno di amplificazione al fine di selezionare detto valore di fondo scala; detto valore di fondo scala ottimizzato essendo un valore minimo selezionabile, tale da evitare la saturazione di detto stadio di condizionamento di segnale (6).

4. Circuito secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto stadio di controllo di fondo scala (10) è configurato in modo da implementare un algoritmo iterativo che prevede di verificare la eventuale presenza di saturazione di detto segnale di uscita (Vout), e di modificare, a passi successive, il valore di detto fondo scala di detto stadio di condizionamento di segnale (6), fino a determinare una condizione di assenza di saturazione di detto segnale di uscita (Vout), condizione a cui corrisponde detto valore di fondo scala ottimizzato.

5. Circuito secondo la rivendicazione 4, in cui detto algoritmo iterativo, atto ad essere implementato da detto

stadio di controllo di fondo scala (10), prevede di: acquisire detto segnale di uscita (Vout) generato da detto stadio di condizionamento di segnale (6), in presenza di un primo valore di fondo scala; nel caso in cui detto stadio di controllo di fondo scala (10) verifichi una saturazione di detto segnale di uscita (Vout), incrementare il valore di detto fondo scala; ripetere iterativamente le operazioni di acquisizione di detto segnale di uscita (Vout) e di incremento di detto valore di fondo scala fino alla determinazione di detta condizione di assenza di saturazione, a cui corrisponde detto valore di fondo scala ottimizzato.

6. Circuito secondo la rivendicazione 5, in cui detto primo valore corrisponde ad un valore minimo implementabile, oppure ad un valore di progetto, di detto fondo scala di detto stadio di condizionamento di segnale (6).

7. Circuito secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto stadio di controllo di fondo scala (10) è configurato in modo da: monitorare ripetutamente il valore di detto segnale di uscita (Vout); al rilevamento di una condizione di saturazione di detto segnale di uscita (Vout), verificare, in una fase preliminare, la possibilità di eseguire la selezione di detto valore di fondo scala ottimizzato, verificando che il segnale di uscita (Vout) di

detto stadio di condizionamento di segnale (6) non saturi in presenza di un valore massimo impostabile di detto fondo scala; e, nel caso di verifica positiva di detta possibilità, selezionare detto valore di fondo scala ottimizzato di detto stadio di condizionamento di segnale (6).

8. Circuito secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto stadio di controllo di fondo scala (10) è configurato in modo da: monitorare ripetutamente il valore di detto segnale di uscita (Vout); rilevare una condizione in cui detto segnale di uscita (Vout) è minore di un valore di fondo scala di progetto di detto stadio di condizionamento di segnale (6); e, al rilevamento di detta condizione, assegnare al fondo scala di detto stadio di condizionamento di segnale (6) detto valore di fondo scala di progetto.

9. Circuito secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto stadio di controllo di fondo scala (10) presenta un ingresso di abilitazione, atto a ricevere un'informazione di abilitazione (EN), ed è inoltre configurato in modo da implementare la selezione automatica di detto valore di fondo scala ottimizzato, al ricevimento di detta informazione di abilitazione (EN) avente un dato valore di abilitazione.

10. Circuito secondo una qualsiasi delle

rivendicazioni precedenti, in cui detto campo magnetico esterno è destinato a comprendere, in determinate condizioni operative: una componente utile che deve essere rilevata; e una componente di disturbo, tale da causare detta saturazione di detto stadio di condizionamento di segnale (6).

11. Sensore di campo magnetico (1) comprendente una struttura di rilevamento (2) configurata in modo da generare una grandezza elettrica di rilevamento (ΔV) in funzione di un campo magnetico esterno, ed il circuito di lettura (3) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti.

12. Sensore secondo la rivendicazione 11, in cui detta struttura di rilevamento (2) comprende elementi magnetoresistivi (2a-2d) disposti a formare una struttura di rilevamento a ponte; in cui detta grandezza elettrica di rilevamento (ΔV) è un segnale di sbilanciamento di detta struttura di rilevamento a ponte.

13. Sensore secondo la rivendicazione 11 o 12, in cui detta struttura di rilevamento (2) è realizzata in almeno una seconda piastrina di materiale semiconduttore, disposta con detta prima piastrina all'interno di un unico package, a realizzare un chip di detto sensore di campo magnetico (1).

14. Dispositivo elettronico (40) comprendente un

sensore di campo magnetico (1), secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 11-13; detto dispositivo elettronico (40) comprendendo inoltre un'unità di gestione (42) accoppiata a detto circuito di lettura (3) di detto sensore di campo magnetico (1) per ricevere detto segnale di uscita (Vout).

15. Dispositivo secondo la rivendicazione 14, in cui detto stadio di controllo di fondo scala (10) presenta un ingresso di abilitazione, atto a ricevere un'informazione di abilitazione (EN), ed è inoltre configurato in modo da implementare la selezione automatica di detto valore di fondo scala ottimizzato in funzione del valore di detta informazione di abilitazione (EN); ed in cui detta unità di gestione (42) è configurata in modo da inviare detta informazione di abilitazione (EN) a detto stadio di controllo di fondo scala (10) di detto circuito di lettura (3).

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Elena CERBARO

CLAIMS

1. A reading circuit (3) for a magnetic-field sensor (1), said magnetic-field sensor (1) comprising a detection structure (2), configured to generate an electrical detection quantity (ΔV) as a function of an external magnetic field, and said reading circuit (3) comprising a signal processing stage (6), designed to be electrically coupled to said detection structure (2) and configured to generate an output signal (V_{out}) as a function of said electrical detection quantity,

characterized by comprising a full-scale control stage (10), operatively coupled to said signal processing stage (6) and configured to automatically select an optimized full-scale value of said signal processing stage (6) based on the value of said external magnetic field, such as to prevent saturation of said signal processing stage.

2. The circuit according to claim 1, wherein said full-scale control stage (10) is integrated with said signal processing stage (6) in a first die of semiconductor material, and is configured to generate and send to said signal processing stage (6) a command signal (FS) such as to select said full-scale value of said signal processing stage (6).

3. The circuit according to claim 2, wherein said signal processing stage (6) comprises an amplification unit

(7) with electronically variable and selectable amplification gain, and said command signal (FS) generated by said full-scale control stage (10) is designed to vary a value of said amplification gain in order to select said full-scale value; said optimized full-scale value being a minimum selectable value, such as to prevent saturation of said signal processing stage (6).

4. The circuit according to any one of the preceding claims, wherein said full-scale control stage (10) is configured to run an iterative algorithm that envisages verifying the possible presence of saturation of said output signal (Vout), and modifying, in successive steps, the full-scale value of said signal processing stage (6), until a condition of absence of saturation of said output signal (Vout) is determined, a condition to which said optimized full-scale value corresponds.

5. The circuit according to claim 4, wherein said iterative algorithm, designed to be run by said full-scale control stage (10), envisages: acquiring said output signal (Vout) generated by said signal processing stage (6), in the presence of a first full-scale value; in the case where said full-scale control stage (10) verifies a saturation of said output signal (Vout), incrementing the value of said full scale; repeating iteratively the operations of acquiring said output signal (Vout) and incrementing the

value of said full scale until said condition of absence of saturation is determined, to which said optimized full-scale value corresponds.

6. The circuit according to claim 5, wherein said first value corresponds to a minimum implementable value, or else to a design value, of said full scale of said signal processing stage (6).

7. The circuit according to any one of the preceding claims, wherein said full-scale control stage (10) is configured to: monitor repeatedly the value of said output signal (Vout); upon detection of a condition of saturation of said output signal (Vout), verifying, in a preliminary step, the possibility of selecting said optimized full-scale value, by verifying that the output signal (Vout) of said signal processing stage (6) will not saturate in the presence of a maximum settable value of said full scale; and, in the case of positive outcome of the verification of said possibility, selecting said optimized full-scale value of said signal processing stage (6).

8. The circuit according to any one of the preceding claims, wherein said full-scale control stage (10) is configured to: monitor repeatedly the value of said output signal (Vout); detect a condition in which said output signal (Vout) is lower than a design full-scale value of said signal processing stage (6); and, upon detection of

said condition, assign to the full scale of said signal processing stage (6) said design full-scale value.

9. The circuit according to any one of the preceding claims, wherein said full-scale control stage (10) has an enabling input, designed to receive an enable information (EN), and is moreover configured to carry out the automatic selection of said optimized full-scale value upon reception of said enabling information (EN) having a given enabling value.

10. The circuit according to any one of the preceding claims, wherein said external magnetic field is to comprise, in given operating conditions: a useful component that is to be detected; and a component of disturbance, such as to cause said saturation of said signal processing stage (6).

11. A magnetic-field sensor (1), comprising a detection structure (2) configured to generate an electrical detection quantity (ΔV) as a function of an external magnetic field, and the reading circuit (3) according to any one of the preceding claims.

12. A sensor according to claim 11, wherein said detection structure (2) comprises magnetoresistive elements (2a-2d) arranged to form a bridge detection structure; wherein said electrical detection quantity (ΔV) is a unbalancing signal of said bridge detection structure.

13. The sensor according to claim 11 or 12, wherein said detection structure (2) is made in at least one second die made of semiconductor material, arranged with said first die inside a single package, to provide a chip of said magnetic-field sensor (1).

14. An electronic device (40) comprising a magnetic-field sensor (1) according to any one of claims 11-13; said electronic device (40) further comprising a management unit (42), coupled to said reading circuit (3) of said magnetic-field sensor (1) for receiving said output signal (Vout).

15. The device according to claim 14, wherein said full-scale control stage (10) has an enabling input, designed to receive an enabling information (EN), and is further configured to carry out the automatic selection of said optimized full-scale value based on the value of said enabling information (EN); and wherein said management unit (42) is configured to send said enabling information (EN) to said full-scale control stage (10) of said reading circuit (3).

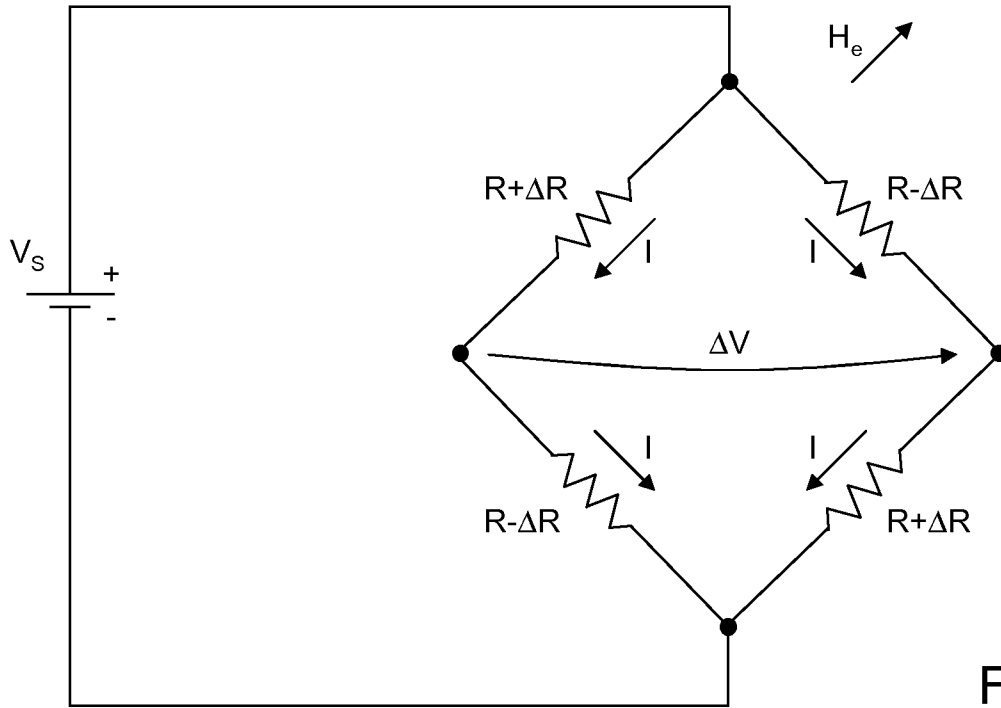


FIG. 1

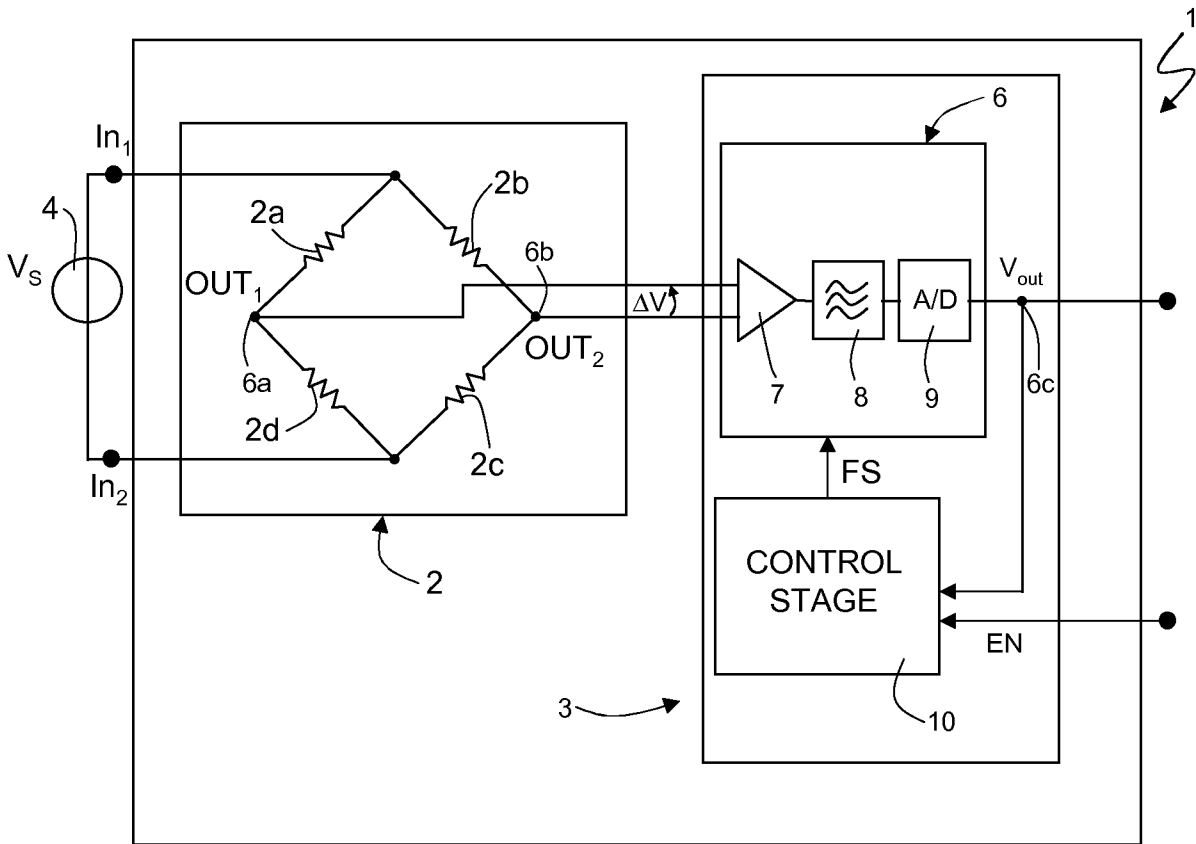


FIG. 2

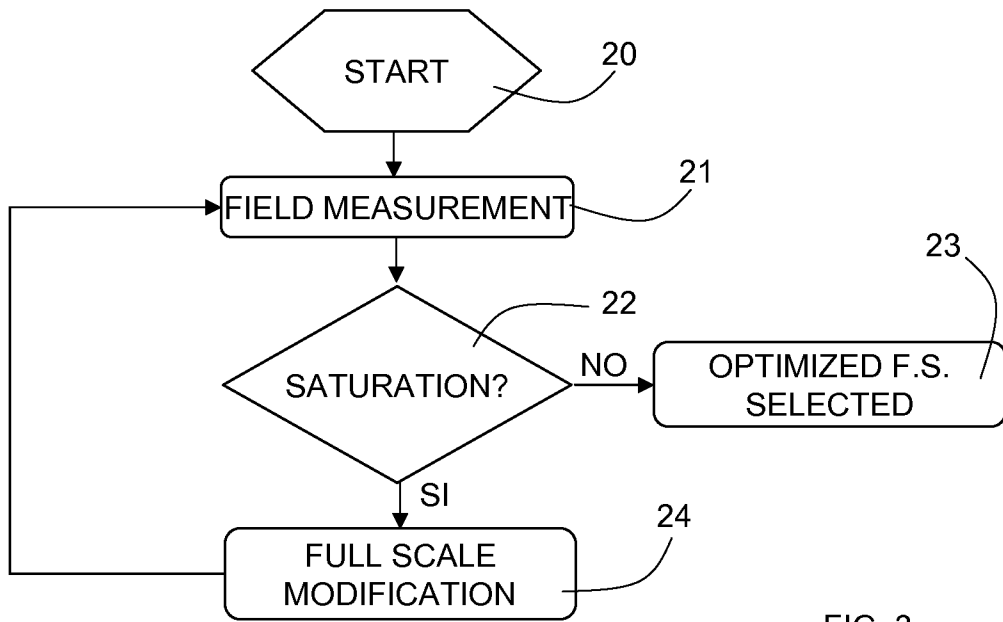


FIG. 3

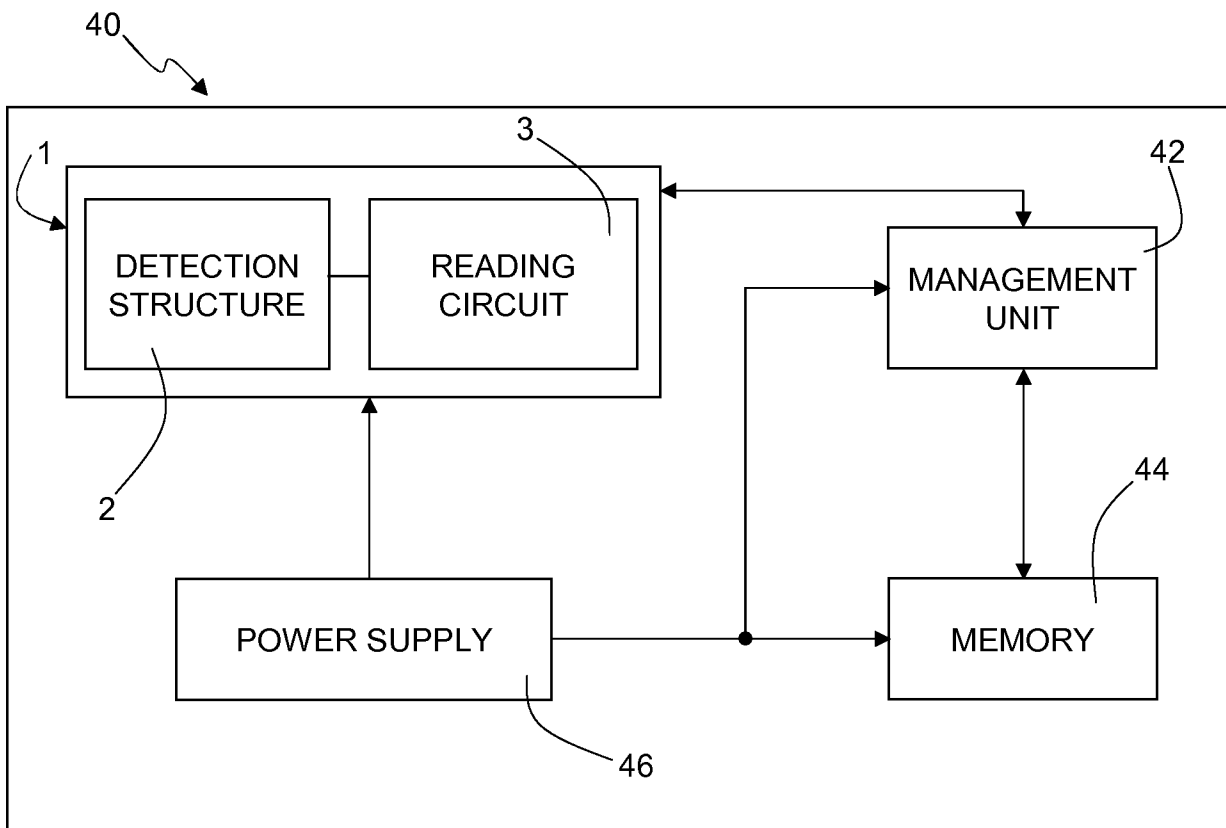


FIG. 5

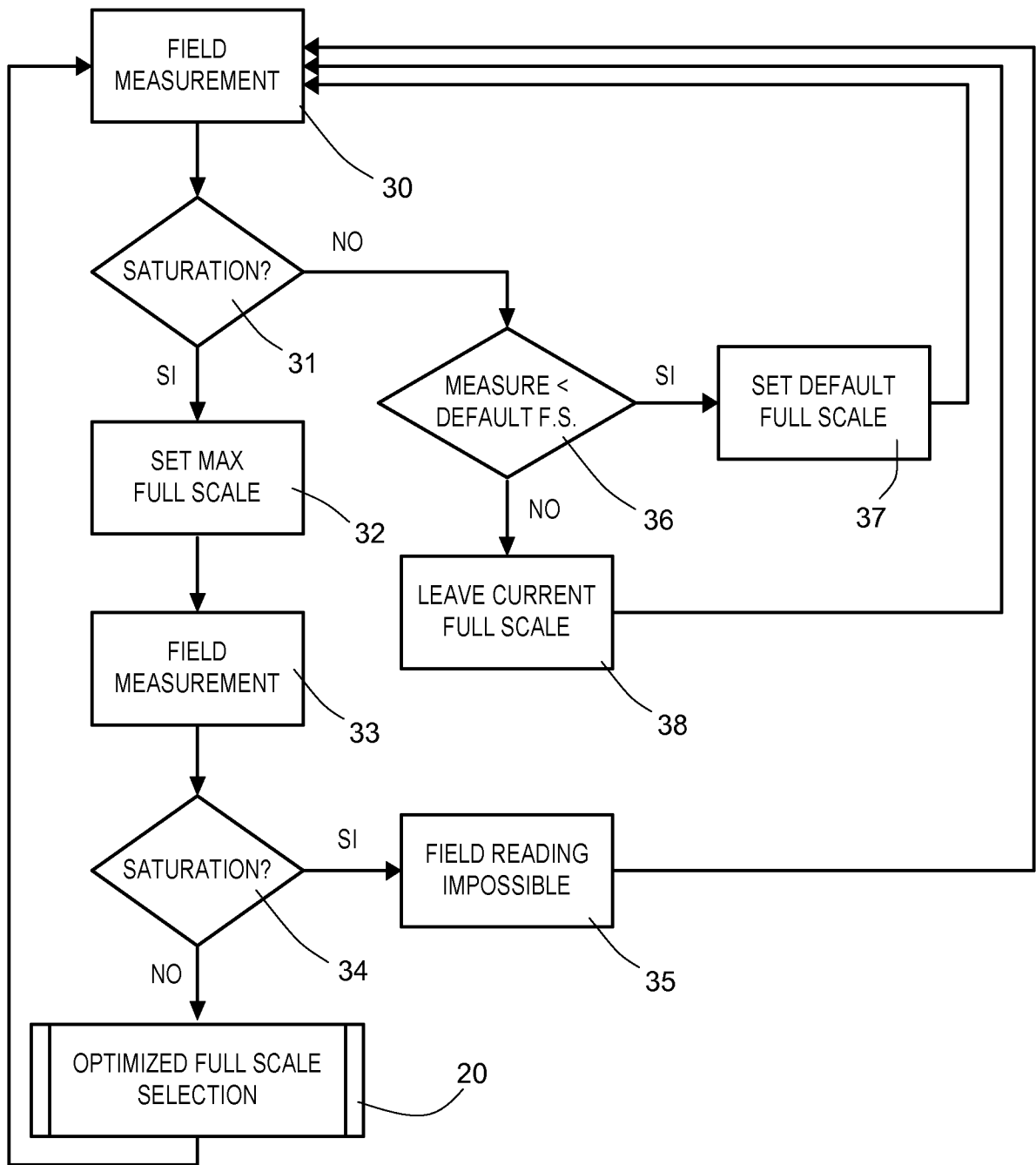


FIG. 4