

Mestre, 9 febbraio 1995

Formo la presente per proporre alla Vs. attenzione un mio progetto, relativo ad una bussola magnetica a flux-gate. Ritengo si tratti di un progetto originale che potrebbe interessare molti lettori della rivista Nuova Elettronica se proposto come KIT. Si tratta infatti di un apparato di costo relativamente modesto e destinato a suscitare una discreta curiosità, specialmente se corredato di un articolo che descriva il principio di funzionamento del flux-gate; si inserisce inoltre nell'attuale interesse della rivista nei microcontrollori della serie ST6.

Qui mi limito a fornire una breve descrizione dell'apparato e del suo principio di funzionamento, restando disponibile, previo accordo, a:

- inviarVi in visione il prototipo;
- produrre un articolo che descriva il progetto in modo più dettagliato, o collaborare alla stesura;
- produrre un articolo che descriva il software del microcontrollore, qualora lo si ritenesse di pubblico interesse;
- effettuare ritocchi/migliorie al circuito utili a garantirne il sicuro funzionamento quando riprodotto: e qui mi riferisco in particolare al nucleo toroidale che costituisce il cuore del dispositivo, per il quale potrebbe valere la pena di provare vari modelli, per ragioni di reperibilità e per ottimizzare le prestazioni.

Non ritengo invece utile una pubblicazione quale "progetto in sintonia", per l'ampio spazio richiesto dai listati dei programmi (ST6 e PC) e per la difficoltà di realizzazione da parte di un lettore inesperto.

#### Caratteristiche

L'apparato proposto consente la misurazione di campi magnetici deboli quali quello terrestre (e fino a circa 10 volte più intensi), con visualizzazione diretta su led della direzione del Nord. Direzione e intensità del campo sono leggibili mediante interfacciamento con la porta parallela di un PC: in questa configurazione l'apparato non è solo una bussola, ma un magnetometro. I led utilizzati per la visualizzazione diretta per semplicità sono solo 8 disposti in cerchio, ma con una risoluzione equivalente a 32 (circa 12 gradi), perché l'indicazione è fornita da due led contigui con modulazione continua dell'intensità di luce. L'interfaccia col PC consente una risoluzione superiore ma, almeno col

seniore (nucleo toroidale) utilizzato in questo prototipo, non c'è da attendersi troppa precisione: al massimo qualche grado, che però ritengo un risultato più che sufficiente per una realizzazione hobbistica.

### Principio di funzionamento

Come già detto, il sensore utilizzato è un flux-gate, dispositivo che consente la misura di un campo magnetico statico come quello terrestre utilizzando un artificio per trasformarlo in un campo variabile; una volta reso variabile questo può eccitare un solenoide (ovvero due disposti ortogonalmente per rilevare direzione e intensità del campo su un piano), che produce una f.e.m. direttamente proporzionale all'intensità del campo originale e alla velocità della variazione imposta. L'artificio adottato consiste nell'utilizzo di un nucleo toroidale ad alta permeabilità magnetica, periodicamente saturato alimentando con un segnale opportuno un avvolgimento disposto lungo il nucleo (ossia nel modo convenzionale): quando il nucleo satura la sua permeabilità si riduce a poco più di quella del vuoto. Visto dall'esterno, il nucleo si comporta come un pezzo di ferrite a permeabilità variabile, perché il campo eccitante è ottimamente schermato dal nucleo toroidale, che ha una dispersione di flusso molto bassa (se avvolto a regola d'arte!). Perciò due avvolgimenti disposti ortogonalmente tra loro sopra il nucleo come in figura 1 sono in grado di leggere la f.e.m. di cui sopra.

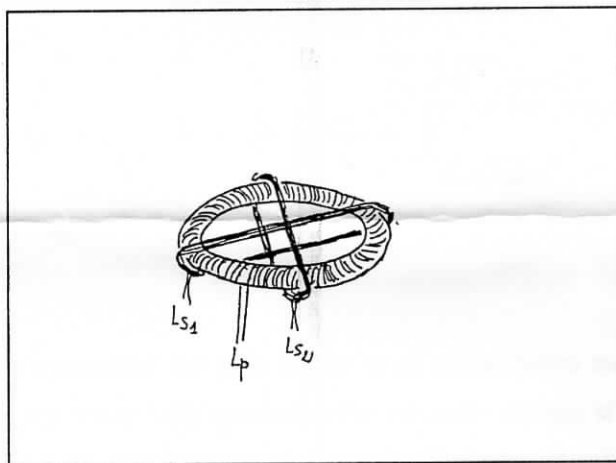


fig. 1

In pratica il segnale misurato contiene una componente del campo eccitante che agisce da disturbo, per cui non è sufficiente misurare l'ampiezza del segnale indotto, ma è necessario un campionamento sincrono seguito da un filtraggio passa-basso. Nel nostro caso il segnale di eccitazione è un'onda quadra (in tensione) di circa 700 Hz di frequenza e con un'ampiezza picco-picco di 7-9 V. La corrente ha andamento triangolare con alte cuspidi in corrispondenza ai fronti

dell'onda quadra, a causa di saturazione e de-saturazione del nucleo. La corrente di picco è circa 200 mA rispetto ad un valore RMS di pochi mA; una saturazione così netta è necessaria per abbassare adeguatamente la permeabilità della ferrite del nucleo. Il campionamento sincrono è effettuato sul solo ciclo di de-saturazione, per un tempo di 40 microsecondi: questo per semplicità, in quanto il segnale utile relativo alla de-saturazione inizia esattamente all'inversione del campo eccitante, mentre la posizione di quello relativo alla saturazione dipende dall'ampiezza dell'eccitazione (vedi figura 2). Inoltre i due segnali sono di segno opposto, per cui utilizzarli entrambi richiederebbe un maggior numero di componenti...

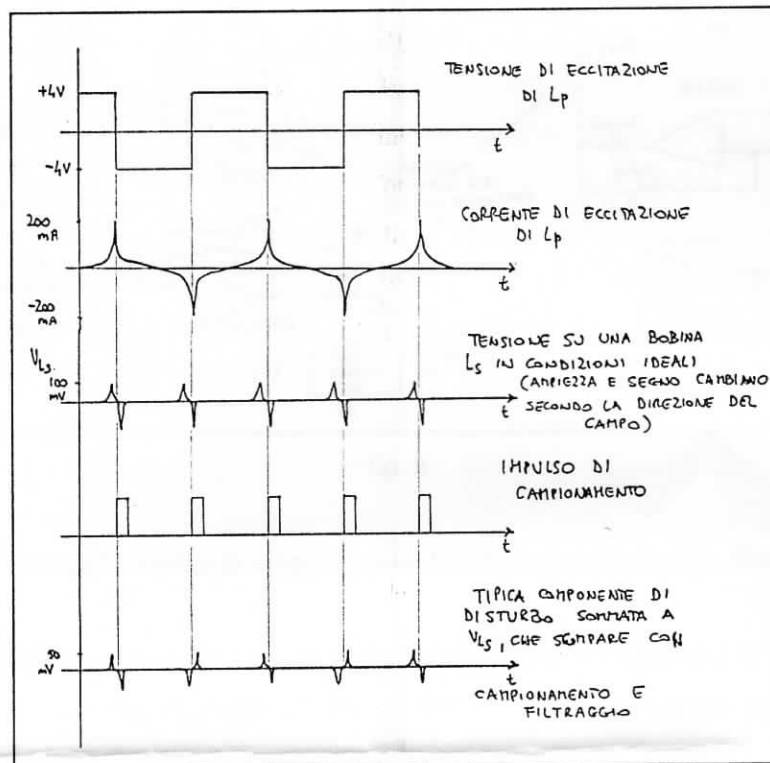


fig. 2

Il nucleo utilizzato è stato recuperato dal filtro di rete di un alimentatore switching. Dalle dimensioni (14x9x5 mm), dal colore arancio e dalle caratteristiche misurate ritengo si tratti del modello Philips 37110 in ferrite 3E25 o di un componente equivalente. Tuttavia varrebbe senz'altro la pena di valutare campioni di altri tipi, purché sempre in ferrite (facile da saturare) e ad alta permeabilità. Si tenga presente che, a parità di permeabilità, un nucleo di maggiori dimensioni migliorerebbe la qualità delle misure, ma richiederebbe una maggiore corrente di pilotaggio.

Il numero di spire dell'avvolgimento di eccitazione (circa 300) è stato pensato per lavorare tra 9 e 12 V con una frequenza di eccitazione di 700-1000 Hz. Gli avvolgimenti di misura, invece, sono stati fatti senza pensarci troppo (50 spire), e ritengo si potrebbe almeno raddoppiare il numero di spire a tutto beneficio del resto del circuito.

Lo schema elettrico del prototipo è riportato in figura 3.

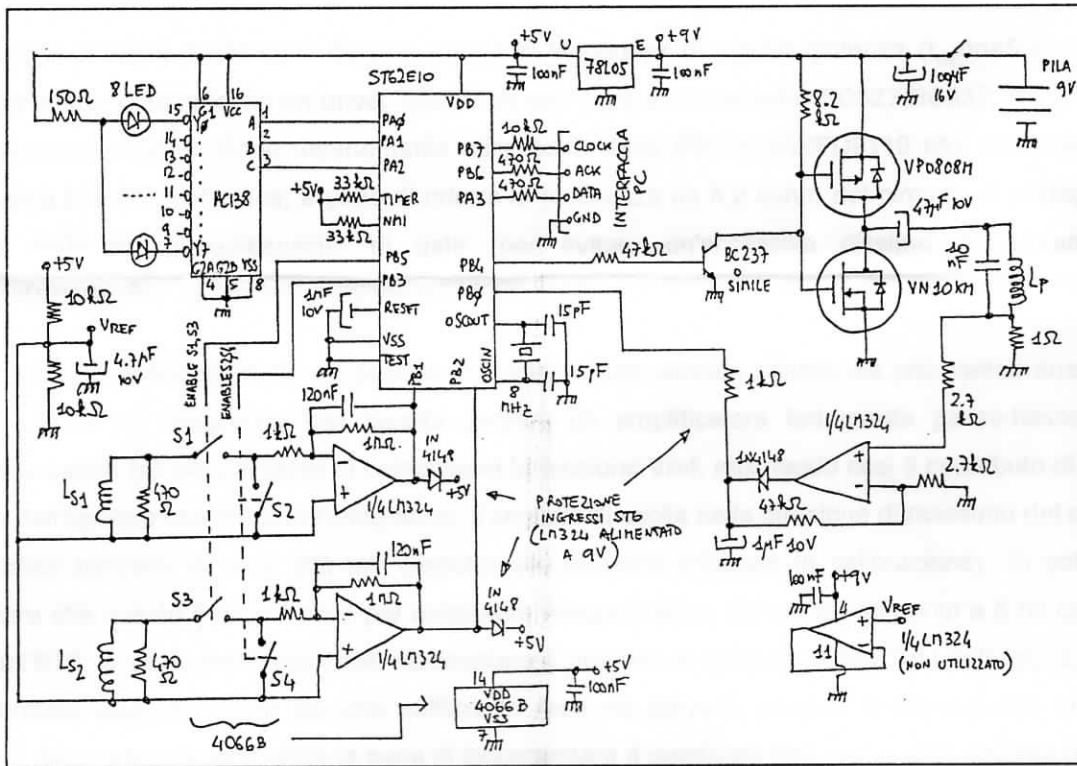


fig. 3

Il microcontrollore ST62E10 svolge la maggior parte delle funzioni del circuito. Esso infatti:

- genera l'onda quadra necessaria al pilotaggio della bobina di eccitazione  $L_p$ ;
- genera l'impulso di  $40\text{ }\mu\text{s}$  necessario al campionamento sincrono, con cui comanda gli switch  $s_1$  ed  $s_3$  (o  $s_2$  ed  $s_4$ , vedi oltre);
- acquisisce i segnali di intensità delle due componenti del campo;
- calcola la direzione del campo e pilota i led con modulazione di luminosità per aumentare la risoluzione;
- gestisce le comunicazioni col PC, al quale fornisce le due componenti misurate;
- provvede all'adattamento della frequenza di lavoro per stabilizzare la corrente di picco sulla bobina  $L_p$  sul valore richiesto di  $200\text{ mA}$  al variare della tensione di alimentazione;
- effettua un'autocalibrazione iniziale del circuito, per compensare tensione di offset e corrente di bias degli operazionali che effettuano il condizionamento del segnale misurato. Questa funzione è realizzata chiudendo gli switch  $s_2$ - $s_4$  al posto di  $s_1$ - $s_3$  per circa un secondo dopo l'accensione (il tempo di mandare a regime sia la frequenza operativa mediante il controllo di corrente, sia gli integratori). I valori di tensione misurati sui due canali al termine dell'autocalibrazione sono in

seguito sottratti alle misure. Il circuito è in grado di funzionare correttamente anche nei casi peggiori di offset e bias riportati nel data-sheet dell'LM324.

Il driver di potenza è costituito da una coppia di Mospower di piccola potenza ( $r_{ds\text{on}}=5\text{ ohm}$ ). Ho sperimentato in precedenza un driver basato su una coppia di transistor BC327/BC337, più o meno con gli stessi risultati. Sono naturalmente utilizzabili i Mos IRFD1Z3/IRFD9110 che sembrano più familiari a Nuova Elettronica, a patto di ridurre la resistenza da 8.2 kohm nel circuito di pilotaggio a causa della maggiore capacità di gate (per evitare un'eccessiva dissipazione durante la commutazione dovuta alla connessione a CMOS).

Il circuito di condizionamento del segnale è costituito, per ciascun canale, da uno switch analogico (s1-s3) e da un integratore con perdita (ovvero un amplificatore fortemente passa-basso). Un secondo switch (s2-s4) consente di campionare la tensione  $V_{ref}$ , misurando così il contributo di offset e bias dell'op-amp che realizza l'integratore. Il segnale di uscita nella direzione di massimo del campo magnetico terrestre è circa 300 mV (rispetto alla tensione misurata in calibrazione). Si potrebbe obiettare che questo è un po' poco per consentire misure precise col campionamento a 8 bit con 5 V f.s. dell'ST6: è vero, ma credo basti raddoppiare il numero di spire degli avvolgimenti  $L_{s1}$ ,  $L_{s2}$  per raggiungere una precisione più che sufficiente (non ho provato, avendo a disposizione un solo nucleo). Non credo invece valga la pena di incrementare il guadagno (già molto alto) dell'integratore: ciò richiederebbe l'aggiunta di uno stadio amplificatore. Non credo inoltre convenga aumentare troppo l'ampiezza del segnale, perché si perderebbe la possibilità di misurare campi più intensi di quello terrestre (es. quello di una calamita). A meno che non si vogliano prevedere due portate di misura ...

La tensione di riferimento è di 2.5 V, fornita da un semplice partitore resistivo a partire dai 5 V che alimentano l'ST6. Non è critica grazie all'autocalibrazione.

Il misuratore della corrente di picco di  $L_p$  è un semplice raddrizzatore a singola semionda. Esso sfrutta la capacità dell'LM324 di lavorare con gli ingressi allo stesso potenziale del negativo di alimentazione. Lo stadio non è per niente critico. La tensione prodotta in uscita è di circa 3.5 V, con sovrapposto un notevole ripple dovuto al jitter nel segnale di pilotaggio a  $L_p$ . Tale jitter (qualche  $\mu\text{s}$ ) è dovuto al tempo di risposta all'interrupt del processore ed è purtroppo inevitabile: tuttavia non dà particolari problemi.

Il pilotaggio dei led è effettuato in multiplex mediante un 74HC138, utilizzato con una corrente di uscita insolitamente alta di circa 18 mA (comunque lontana dall'absolute maximum rating di 25 mA). Una sola resistenza limita la corrente per tutti i led, in quanto c'è sempre uno ed un solo led acceso, nonostante l'apparenza.

L'interfaccia col PC è realizzata mediante 3 linee della porta parallela di questo, ed è di tipo seriale sincrono: il PC invia un segnale di clock, cui l'ST6 risponde con un bit di dati e un segnale di acknowledge. Il pacchetto complessivamente trasferito è di 24 bit, comprendenti 18 bit di dati (9 per canale) più 3 bit di identificazione e 3 di checksum. Non si è scelta un'interfaccia seriale RS-232 per l'estrema difficoltà di implementazione sull'ST6, essendo l'unico timer esistente già impegnato ad alta velocità. La connessione hardware col PC è stata realizzata con 3 resistenze allo scopo di proteggere l'ST6 senza complicare troppo il circuito: in una versione definitiva sarebbe probabilmente meglio utilizzare dei buffer (es. 74HC14), ma nella basetta del prototipo non c'era abbastanza spazio...

L'assorbimento complessivo è di circa 30 mA (di cui 18 destinati ai led), non poco anche per una pila alcalina da 9 V. Lo si potrebbe ridurre utilizzando led ad alta luminosità e ottimizzando il driver di Lp, in ogni caso difficilmente andando sotto ai 20 mA.

Il circuito non richiede tarature, purché non si cambino le caratteristiche del nucleo toroidale e dell'avvolgimento Lp. L'autocalibrazione consente di compensare la maggior parte delle cause di errore, e il circuito di misura della corrente non è critico (come non è critico il valore misurato).

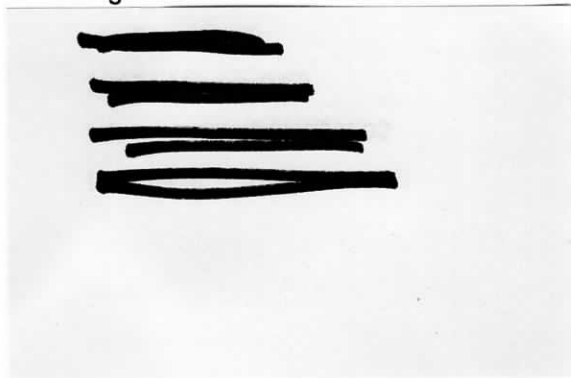
L'unico oggetto delicato ai fini del successo nella realizzazione è il nucleo toroidale. Questo dovrebbe essere fornito già avvolto in KIT, per lo meno per quanto riguarda l'avvolgimento Lp. Gli altri due avvolgimenti sono abbastanza facili da realizzare a mano e probabilmente difficili da chiedere ad una ditta per la produzione in serie... ma ho poca esperienza in questo campo.

Sperando di essere stato sufficientemente chiaro e di avere attratto la Vs. attenzione, rimango in attesa di un Vs. parere su quanto illustrato.

Distinti saluti

A rectangular box containing a redacted signature, represented by several thick, horizontal black bars.

Ing. Roberto VISENTIN

A rectangular box containing redacted contact information, represented by several thick, horizontal black bars.