

UNA STORIA SULLA LINEA DI RITARDO MAGNETOSTRITTIVA

Era l'anno 1962 e fui assunto alla Ing. C.Olivetti & C a Borgolombardo (Mi), e dopo un corso interno di tre mesi in elettronica tenuto dall'Ing Schreiner, fui trasferito nel nuovissimo Laboratorio di Ricerche Elettroniche Olivetti (LRE) di Pregnana Milanese nel reparto memorie, il cui responsabile era il Dr. Filippazzi.

Era il momento in cui si studiavano le memorie a nuclei di ferrite, ma c'era la necessità di trovare una soluzione poco costosa, poco ingombrante per una memoria che potesse servire ad un piccolo calcolatore programmabile elettronico da tavolo allo studio dall'ing. Perotto.

Da pochi mesi si erano iniziati degli studi sui fenomeni magnetostrittivi e la possibilità del loro impiego in elettronica.

A due diplomati, allora giovanotti di freschi studi e primo pelo, Bruno Visentin e il sottoscritto Carlo Passarella fu affidato il compito di sviluppare il tema cercando di studiare a fondo tali fenomeni e la possibilità di utilizzo per creare una memoria di basso costo.

La letteratura e le notizie tecniche sull'argomento erano estremamente scarse; ci fu messo a disposizione un piccolo laboratorio con della strumentazione di base adeguata e tra le mani una scatola proveniente dall'Inghilterra che serviva a creare del riverbero sonoro (ritardo) basato sulla propagazione di un'onda meccanica attraverso una molla di acciaio armonico e,tanto studio, inventiva e fantasia !

Iniziammo così a conoscere meglio il fenomeno magnetostrittivo, la sua generazione, la sua propagazione e la sua riconversione in segnale elettrico digitale.

Avendo ritrovato dei vecchi appunti e ricordando in parte il lavoro svolto, nelle pagine seguenti proverò a descrivere questo tipo di memoria che ha avuto una importanza determinante al successo della prima macchina elettronica da tavolo programmabile della OLIVETTI che sarà chiamata in seguito "PROGRAMMA 101" o confidenzialmente PEROTTINA.


Carlo Passarella

LINEE DI RITARDO MAGNETOSTRITTIVE

-Introduzione

Le linee di ritardo magnetostrittive sono elementi atti a ritardare un impulso elettrico. Esse sfruttano il principio della magnetostrizione per il quale, in determinati materiali immersi in un campo magnetico si crea una deformazione meccanica e questa viceversa, alterando un campo magnetico preesistente, lo riconverte in segnale elettrico. Sfruttano contemporaneamente anche i criteri di propagazione acustica nei metalli.

Si possono distinguere tre punti nel funzionamento di una linea di ritardo magnetostrittiva:

- 1) la trasformazione di un impulso elettrico in uno meccanico
- 2) la sua propagazione attraverso un mezzo elastico che limiti il più possibile le distorsioni e le attenuazioni
- 3) la riconversione dell'onda acustica meccanica in impulso elettrico

L'impulso generato è rallentato per effetto della sua propagazione acustica e il ritardo dipende dalla lunghezza del mezzo di trasporto e dalla velocità del suono nel materiale che lo trasmette.

-Fenomeni magnetostrittivi

Alcuni materiali ferromagnetici hanno la proprietà di modificare le proprie dimensioni fisiche quando sono assoggettati ad un campo magnetico (effetto Joule magnetostrittivo); essi hanno anche la proprietà inversa, e cioè se essi sono sollecitati meccanicamente mentre sono immersi in un campo magnetico, alterano la loro permeabilità (effetto Villari).

1) Effetto Joule magnetostrittivo

Un materiale magnetostrittivo sottoposto ad un campo magnetico subisce una deformazione fisica nella stessa direzione del campo che la provoca. Se la direzione del campo coincide con l'asse geometrico del materiale, l'alterazione è una variazione di lunghezza.

Avremo una magnetostrizione positiva se il materiale si allunga e una magnetostrizione negativa se il materiale si contrae.

Il fenomeno della magnetostrizione è funzione della intensità di campo (H) a cui è sottoposto e quando la magnetizzazione raggiunge la saturazione, anche la magnetostrizione raggiunge il suo limite, questo valore è chiamato magnetostrizione di saturazione.

I materiali presi in esame furono:

- Permalloy 45
- Ferro
- Cobalto
- Nichel
- Vacoflux 50

Si decise di adottare il nickel come materiale magnetostrittivo (a magnetostrizione negativa) avendo una discreta variazione dimensionale che però aumenta più di due volte se sottoposto a trattamento termico a parità di intensità di campo.

La magnetostrizione varia con la temperatura e si annulla al punto di Curie, che per il nickel è di circa 360 °C.,

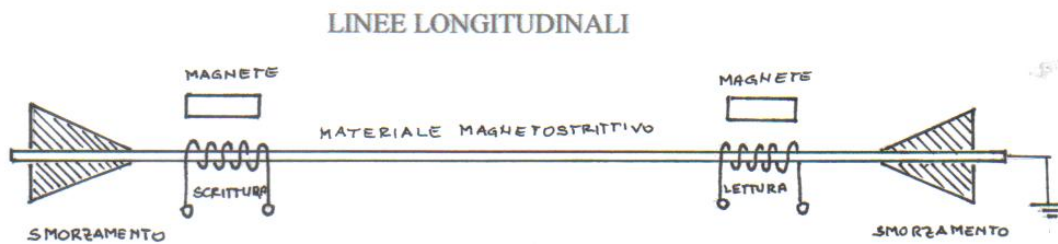
2) Effetto Villari

Quando un materiale magnetostrittivo è sottoposto a uno sforzo, variazione meccanica o vibrazione, esso altera le proprie caratteristiche magnetiche. Se sottoposto quindi ad un'onda meccanica altera la propria permeabilità.

Tale fenomeno sarà utilizzato per convertire l'onda meccanica in impulso elettrico.

3) Conclusione

Nelle linee di ritardo magnetostrittive si sfrutta l'effetto magnetostrittivo Joule per la generazione degli impulsi meccanici e l'effetto Villari per la riconversione in impulsi elettrici.



Una linea di ritardo magnetostrittiva longitudinale si può schematizzare come in figura. Essa è costituita essenzialmente da due trasduttori (scrittura e lettura) comprendono di bobina e magneti di polarizzazione, da due smorzatori meccanici e dalla linea vera e propria di materiale magnetostrittivo in fili, tubicini o bandelle; normalmente si usano queste ultime poiché i trasduttori potevano essere uguali anche per quelle torsionali.

Il materiale magnetostrittivo è trattato termicamente solo nella zona interessata dalle bobinette dei trasduttori allo scopo di esaltare al massimo le caratteristiche magnetostrittive senza alterare il modulo di elasticità della parte che propaga l'onda meccanica.

Solo per le linee longitudinali è indispensabile il magnetino di polarizzazione del trasduttore di lettura, mentre quello per quello di scrittura è facoltativo.

Esso ha lo scopo di ottenere il massimo segnale sfruttando la zona di massima pendenza della caratteristica magnetostrittiva del metallo, la sua assenza comunque non pregiudica il funzionamento della linea.

Gli smorzatori hanno essenzialmente il compito di eliminare le riflessioni meccaniche e hanno la stessa funzione di chiusura di impedenza (Z_0) per una linea elettromagnetica di tipo L/C.

Lo smorzatore è costituito da elementi in gomma siliconica che tramite un coperchio metallico e delle viti comprimono le bandelle magnetostrittive alle estremità, assorbendo e smorzando così le onde meccaniche generate dal trasduttore di scrittura evitando riflessioni.

Si adottò la gomma siliconica perché soddisfa a tre requisiti essenziali:

- E' inalterabile nel tempo e da altri agenti (umidità, UV, ecc).
- Mantiene pressoché inalterate le sue caratteristiche entro un campo di temperatura di impiego (0-80 °C)
- Ha la durezza richiesta che deve essere compresa tra i 35 e 40 shore A

Si sono trovate inoltre le dimensioni ottimali degli smorzatori e, l'aggiunta di olio di lino essiccativo (o materiale analogo) alle estremità libere delle bandelle, aumenta ulteriormente l'effetto smorzante e di conseguenza migliora anche il rapporto segnale disturbo .

VANTAGGI e SVANTAGGI delle LINEE LONGITUDINALI

I vantaggi derivanti da questa tipologia di Linee di Ritardo sono i seguenti:

- Possibilità di inserire un numero elevato di stazioni intermedie senza produrre perdite e alterare il rapporto segnale / disturbo;
- Possibilità di effettuare ampie e continue regolazioni sul ritardo;
- Con linee brevi è possibile raggiungere le più elevate frequenze per questa tecnologia (maggiori di 2 Mhz.)

Gli svantaggi:

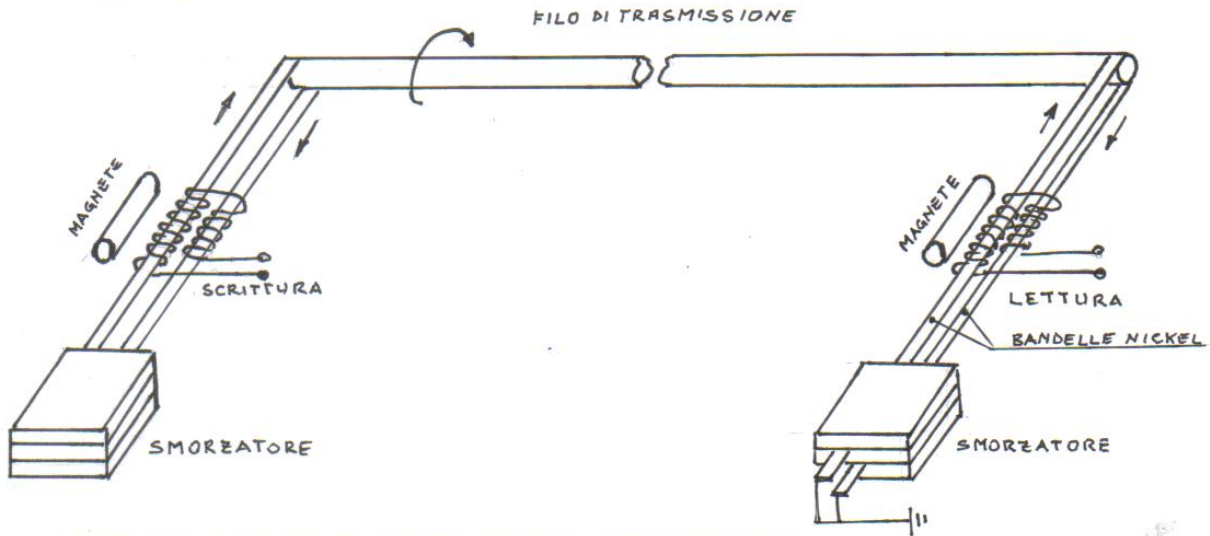
- Limitata lunghezza (ritardo) a causa delle maggiori dispersioni del segnale e dalla maggiore attenuazione dell'onda meccanica dovuta all'impiego di soli materiali magnetostrittivi .
In genere non si superano ritardi di 100 µsec a 1Mhz
- Ingombri notevoli per ritardi maggiori: non è conveniente disporre a spirale una longitudinale poiché si dovrebbero adottare raggi di curvatura piuttosto grandi
- Impossibilità di ottenere una compensazione termica

Quanto studiato e sperimentato con questa tipologia di linee di ritardo, non era sufficiente a soddisfare le esigenze della capienza della memoria del progetto, e si è intrapresa una nuova strada cercando di aumentare sensibilmente il ritardo, diminuire gli ingombri e compensare termicamente. La strada intrapresa fu quella di tentare di utilizzare le linee TORSIONALI, ma le difficoltà aumentavano a causa anche dell'accuratezza di lavorazioni meccaniche si dovevano sperimentare e dalla scarsissima letteratura da cui attingere notizie .

Furono fatte delle accurate ricerche sulle microtecnologie di saldatura di metalli, sui materiali di trasmissione compensabili in temperatura, sui sottilissimi fili di rame destinati alla costruzione dei trasduttori di lettura e scrittura, sulle resine e gomme destinate a sostenere fisicamente i materiali e sui magnetini indispensabili ai trasduttori sia di scrittura che di lettura.

LINEE TORSIONALI

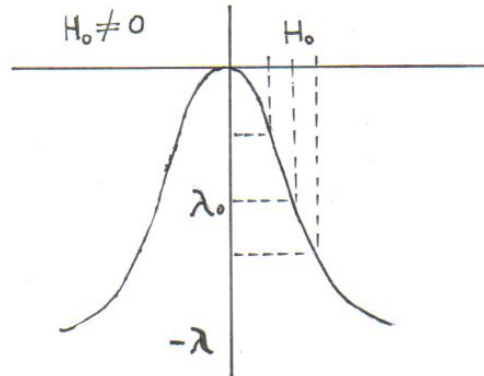
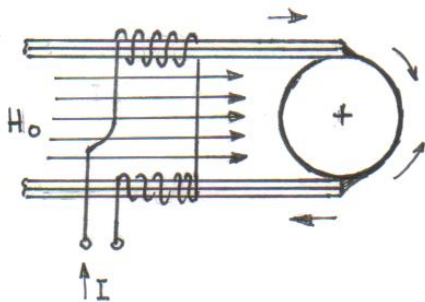
Generalità



Lo schema di principio di una linea torsionale è tracciato in figura.

I trasduttori sono costituiti da due bobine uguali, con filo di rame smaltato di 0,03 mm. collegate in controfase e dal magnetino di polarizzazione.

La polarizzazione alla scrittura è ora indispensabile per ottenere due impulsi meccanici di segno opposto sul materiale magnetostrittivo, in modo da imprimere una coppia torsionale al filo di acciaio di trasmissione dell'onda meccanica.



Come si vede in figura, sfruttando la simmetria della caratteristica di magnetostrizione in presenza di un campo magnetico, si generano due deformazioni di segno opposto che imprimevano una vibrazione torsionale al filo, sul quale sono saldate le bandelle di nickel generatrici delle onde meccaniche che si propagheranno lungo tutto il filo.

Alla lettura, nelle due bobine del trasduttore, si ottengono segnali elettrici di segno opposto che mediante il collegamento in controfase ne realizzano la somma.

La linea può essere disposta a spirale piana o verticale e si può sviluppare per notevoli lunghezze (ritardi) con ingombri minimi.

Il filo che trasmette l'onda torsionale non deve essere necessariamente di materiale magnetostrittivo; fu scelto un materiale con un buon coefficiente di magnetostrizione per la generazione dell'impulso meccanico (bandelle di nickel ricotto) saldate ad un filo di diametro di 0,6 – 0,7 mm. in base a caratteristiche di ottima propagazione acustica (modulo di elasticità), e di buona compensazione termica.

Il raggio di curvatura della spirale non deve essere troppo stretto per evitare di diminuire troppo il rapporto segnale disturbo e con l'avvertenza di avere il raggio di curvatura naturale infinito.

A questo proposito il filo che generalmente veniva fornito in matasse, doveva essere trattato termicamente per renderlo rettilineo.

Fu adottato a questo scopo un processo termico in ambiente azotato. Questo processo (Nitrurazione) aumentava il modulo di elasticità superficiale del materiale diminuendo le attenuazioni di trasmissione, rendendo così possibili ritardi maggiori a parità di ingombro.

Per questo progetto fu utilizzato per il filo di trasmissione una lega, il NISPAN C (nickel, ferro, cromo), che pur avendo il modulo di elasticità inferiore a quello dell'acciaio armonico permetteva una ottima compensazione termica del ritardo.

La massima frequenza di funzionamento dipende dalla lunghezza della linea, in genere non si superano i 2 Mhz (R.Z.) anche con linee brevi, mentre si possono raggiungere capacità di circa 5.000 bits, che ad una frequenza di 1 Mhz. corrisponde ad un ritardo di 5 msec.

Ad un ulteriore aumento della sua lunghezza (ritardo) corrisponde una diminuzione della frequenza di funzionamento.

Il valore richiesto dal progetto per la Programma 101 era di poter immagazzinare circa 2500 bits ad una frequenza di 1Mhz, valore che fu ampiamente raggiunto.

Tale obiettivo fu raggiunto e superato dagli studi e dall'accuratezza delle lavorazioni meccaniche e dai componenti che globalmente costituivano il progetto quali:

- Trasduttori di scrittura e lettura
- Magneti permanenti di polarizzazione (intensità di campo di circa 50 Oersteds)
- Supporti per sostenere il filo armonico sistemato a spirale verticale doppia
- Smorzatori meccanici (equivalenti alla impedenza caratteristica delle linee L/C
- Circuiti di scrittura e lettura

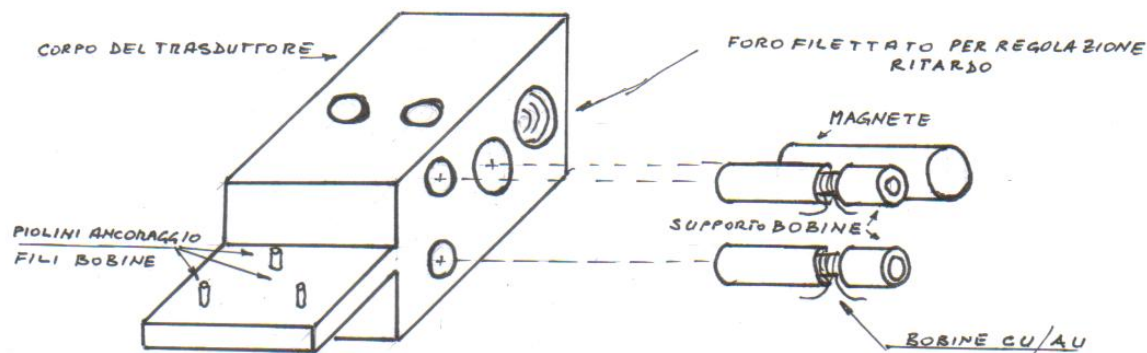
TRASDUTTORE

Un trasduttore magnetostrittivo è un dispositivo che trasforma una energia elettrica in energia meccanica e viceversa.

Trattandosi di fenomeni molecolari e, a differenza di altri dispositivi che hanno una funzione analoga (motori elettrici, altoparlanti, ecc.), le masse in gioco sono piccolissime e le frequenze molto più elevate.

Determinanti furono le dimensioni dei supporti delle bobine, i parametri elettrici, l'accuratezza delle lavorazioni meccaniche ed elettriche e nella precisione della stratificazione del filo (filo smaltato in lega rame/argento del diametro di 0.03 mm).

La scelta del numero di spire fu fatta con criteri diversi a secondo che si trattasse del trasduttore di scrittura o di lettura.



Nel primo caso l'induttanza non doveva essere eccessiva per non creare difficoltà nella realizzazione del circuito di pilotaggio in corrente, nel secondo il limite era nell'impedenza di ingresso dell'amplificatore di lettura.

La bobina di scrittura doveva sopportare impulsi di corrente di 300 mA ad una frequenza di 1 Mhz., con fronti di salita e discesa pari a $\frac{1}{4}$ della durata dell'impulso stesso in modo da ottenere il massimo trasferimento di energia dell'impulso elettrico in energia meccanica sul materiale magnetostrittivo.

Altri parametri importanti furono le dimensioni alle prestazioni magnetiche del magnetino di polarizzazione oltre suo posizionamento rispetto alle bandelle magnetostrittive; furono scelti i seguenti valori:

- Diametro : 3 mm
- Lunghezza:..... 10 mm
- Induzione residua:..... 5800 / 6800 Gauss
- Forza coercitiva..... 1300 / 1500 Oersted

Esso doveva creare nel materiale magnetostrittivo una intensità di campo dell'ordine di 50 Oersted che si raggiungevano spostando il magnete in modo assiale.

Per il corpo del trasduttore e per i supporti degli avvolgimenti si è usato il Mekrolon, una resina termoplastica con buone doti di elasticità atta anche ad essere stampata.

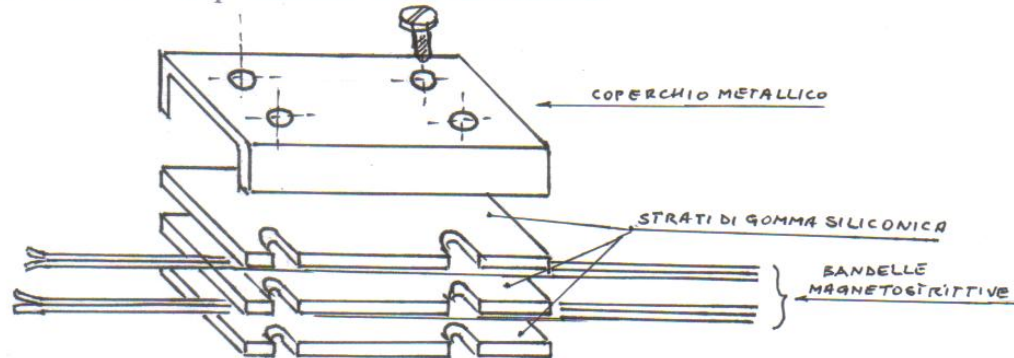
Per una regolazione fine del ritardo, esso era dotato di un foro filettato, nel quale una vite micrometrica accessibile dall'esterno del contenitore lo calibrava. L'intervallo di regolazione possibile era di $4/5 \mu\text{sec}$.

SMORZATORI (Impedenza Caratteristica Meccanica)

Lo smorzatore è essenziale per evitare le riflessioni meccaniche ed avere un buon rapporto S/D. Era costituito da tre elementi in gomma siliconica in modo da tenere separate le bandelle

magnetostrittive e un coperchio metallico e delle viti, destinato a comprimere le bandelle magnetostrittive nella loro parte terminale.

La durezza della gomma per quelle frequenze, deve essere compresa tra 35 e 40 Shore A e le dimensioni fisiche calibrate sulla potenza delle vibrazioni meccaniche.



SUPPORTO DEL FILO DI TRASMISSIONE

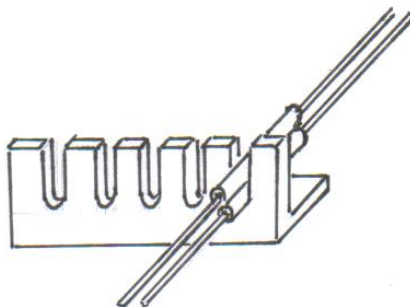
I supporti del filo sono la causa mai completamente eliminabile delle deformazioni del segnale, esse influiscono maggiormente nelle linee lunghe e impongono limitazioni nel ritardo e nelle frequenze, determinando anche le dimensioni minime del raggio di curvatura del filo.

Se un filo avente un raggio di curvatura naturale infinito è curvato secondo una spirale, nei punti di contatto sui supporti si ha una perdita di energia meccanica per la pressione di contatto esercitata in ciascun punto.

Se in ciascun punto di contatto la pressione è notevole (materiale del supporto con durezza elevata), parte dell'energia dell'onda acustica viene ceduta e restituita elasticamente, esaltando le risonanze meccaniche che rendono poco discriminabile il segnale vero.

Se la pressione è lieve (materiale a bassa durezza), il segnale non sarà seguito da oscillazioni, ma di ampiezza minore poiché l'onda acustica è assorbita in parte dai supporti della spirale.

Si è trovato un compromesso tra lunghezza della linea, dimensioni meccaniche, numero di supporti e deriva termica adottando gomma siliconica con campo di durezza compreso tra 45 e 90 Shore A.

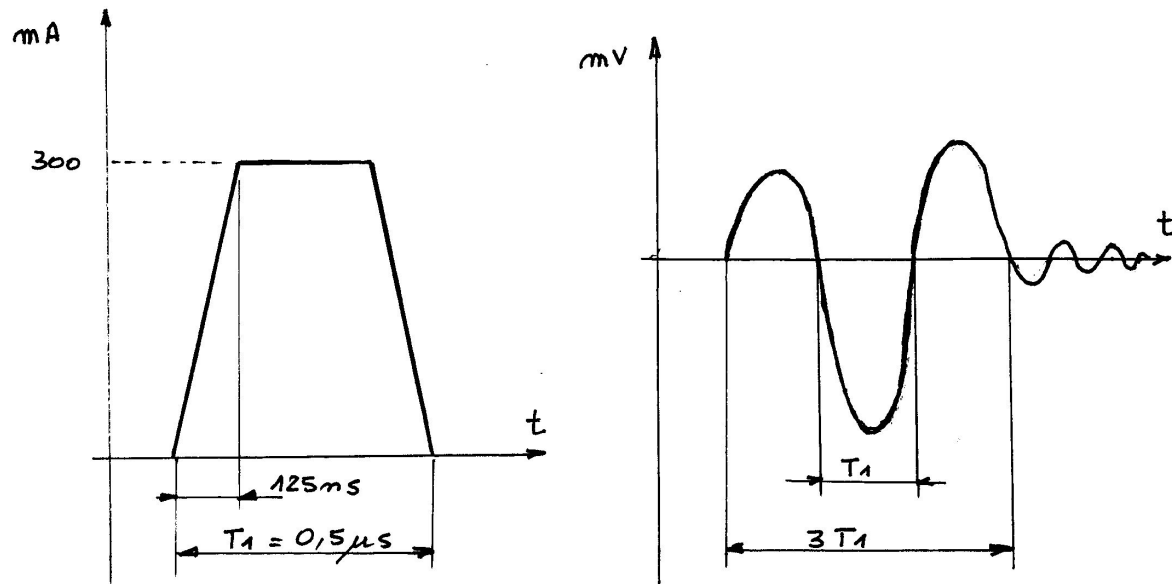


SUPPORTO PER SPIRALE
PIANA



SUPPORTO PER SPIRALE
ELICOIDALE

IMPULSO ELETTRICO SCRITTURA/LETTURA



L'impulso elettrico della corrente nel trasduttore di scrittura determina una forma di segnale in quello di lettura come mostrato in figura. L'impulso elettrico negativo, era poi squadrato per renderlo compatibile con la logica digitale a transistor (NOR) delle gloriosa PROGRAMMA 101.

Carlo Passarella, Aprile 2012.-