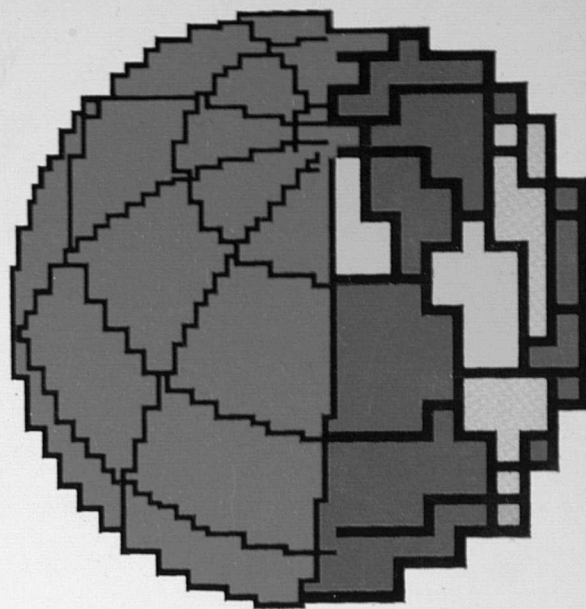


**Istituto Nazionale
di Geofisica**



Semplice strategia per il trasferimento di segnali
analogici su fibra ottica e per la loro
digitalizzazione

G. Romeo,

Pubblicazione n. 530

ESPERIMENTO DI
... PER LA LORO

Semplice strategia per il trasferimento di segnali analogici su fibra ottica e per la loro digitalizzazione

G. Romeo,

Istituto Nazionale di Geofisica
Via di Villa Ricotti 42
00161 Roma



Settembre 1991

SEMPLICE STRATEGIA PER IL TRASFERIMENTO DI SEGNALI ANALOGICI SU FIBRA OTTICA E PER LA LORO DIGITALIZZAZIONE

G. ROMEO

Istituto Nazionale di Geofisica

RIASSUNTO

In questa nota si descrive un sistema per la trasmissione di uno o più segnali analogici su una fibra ottica. Il dispositivo pensato, di estrema semplicità, è basato sull' utilizzazione di un modulatore "quasi-delta" e sul relativo demodulatore. La realizzazione di un decodificatore digitale (filtro IIR ad un polo, [4]), anch' esso relativamente semplice, consente di ottenere il segnale all' uscita del demodulatore in forma numerica.

INTRODUZIONE

La cattiva linearità dei trasduttori elettro-ottici utilizzabili per il pilotaggio delle fibre ottiche rende difficile, se non impossibile, la trasduzione diretta di un segnale analogico. In compenso i trasduttori offrono notevoli caratteristiche di velocità, rendendo possibile la trasmissione di segnali digitalizzati. La trasmissione digitale offre inoltre la possibilità di utilizzare la stessa fibra per la trasmissione a tempo ripartito di più segnali. Naturalmente le operazioni di digitalizzazione trasmissione e riconversione in analogico possono essere effettuate più tradizionalmente con parti (convertitori A/D e D/A) direttamente reperibili sul mercato. Piuttosto che sul risultato circuitale, l' attenzione del lettore dovrebbe focalizzarsi sul principio di funzionamento e sugli sviluppi possibili. La tecnica utilizzata ricorda la modulazione di larghezza di impulso (PWM, [3]) dove, come è noto, il segnale può essere ricostruito utilizzando un circuito "passa basso". Principi analoghi sono utilizzati nella costruzione di convertitori A/D ad alta risoluzione a sovracampionamento [1] [2].

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il sistema si basa sull' uso di una coppia modulatore-demodulatore. La fig 1 illustra lo schema di principio del modulatore. Si tratta di un circuito a reazione negativa, con il blocco di reazione non lineare. Un dispositivo reazionato (stabile) si comporta in modo da rendere nulla la differenza tra gli ingressi del blocco sommatore, a prescindere dal contenuto del blocco di reazione. Questo significa che, in qualche modo, la tensione sul condensatore assumerà il valore della tensione di ingresso (a meno di un errore calcolabile). Naturalmente all' ingresso del circuito RC il segnale può assumere solo due valori di tensione, in corrispondenza agli stati assunti dal flip-flop. L' uscita del flip-flop contiene l' informazione del segnale analogico di ingresso, in forma digitale facilmente trasportabile. La fig 2 mostra come questo trasporto sia

possibile, utilizzando componenti identici a quelli usati nel circuito di reazione del modulatore. Il segnale presente all' uscita dell' "one bit DAC" del modulatore viene riproposto allo stesso modo all' uscita dell' "one bit DAC" del ricevitore. Ad entrambi i segnali viene applicata la stessa funzione di trasferimento (di reazione nel modulatore e di uscita nel demodulatore). Il segnale all' uscita del demodulatore è identico a quello dell' ingresso negato del sommatore di ingresso, che segue l' andamento del segnale analogico di ingresso. Questo rende possibile valutare l' errore introdotto dal sistema come la differenza tra l' uscita del blocco di reazione ed il segnale di ingresso. È da notare che l' uso di un quasi integratore nel circuito di reazione non è l' approssimazione di un integratore reale (come in un tradizionale delta-modulatore) ma è stato scelto appositamente per evitare l' uso di un integratore nel blocco di ricezione; un integratore, presentando un guadagno in continua infinito, può soffrire di un errore di uscita dovuto all' integrazione di un errato valore di zero. In un quasi-integratore, con un guadagno in continua finito, questo non può mai verificarsi.

VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEL DISPOSITIVO

La bontà della conversione ottenibile è legata, oltre che alla qualità dei componenti, alla scelta opportuna della frequenza di campionamento e dei valori del circuito RC. Il sistema approssima la tensione di ingresso utilizzando una serie di rami di esponenziale, di durata costante (la durata è imposta dal clock del sistema), ma di pendenza diversa, a seconda di quale posizione la curva venga ad assumere nell' intervallo di tensione definito dalle uscite dell' "one bit dac", e del segno della derivata prima del segnale. Supponendo (ipotesi realistica) di avere le due uscite dell' "one bit dac" alle tensioni $+V_{ref}$ e $-V_{ref}$, l' ampiezza dei rami di esponenziale è data dalla formula :

$$(V_{ref} - V_x)(1 - e^{-\frac{\Delta t}{RC}})$$

L' andamento dell' ampiezza dei rami di esponenziale è lineare con la tensione, come mostrato in fig 3. L' ampiezza di questi rami è importante per definire le caratteristiche del sistema. Esponenziali di piccola ampiezza approssimano meglio il segnale, ma impiegano più tempo per farlo. Ampiezze maggiori offrono approssimazioni più grossolane ma più veloci. Cercando di definire una zona di lavoro di buona qualità nella fig 3 sceglieremo di far funzionare il dispositivo adeguatamente lontano dai valori $\pm V_{ref}$, (eventualmente modificando il valore del riferimento) dove l' ampiezza dei segmenti di esponenziale si annulla.

Il parametro "tempo di conversione", comune ai tradizionali convertitori A/D, può essere, in questo caso, associato al tempo impiegato dal circuito di reazione ad uguagliare il valore della tensione di ingresso. È ovvio che questo dipende dalla tensione presente ai capi del condensatore al momento della presentazione del nuovo dato. Per questo è opportuno sostituire questo parametro con la massima frequenza armonica in grado di attraversare indistorta il sistema (posta ovviamente all' interno della zona di lavoro, fig 3). La frequenza massima è quella il cui punto di maggior pendenza (il passaggio per lo zero) è ancora meno ripido dell' esponenziale approssimante

$$\Delta t \frac{\delta}{\delta t} \frac{V_{ref}}{2} \sin(2\pi f_{max} t) = \frac{V_{ref}}{2} (1 - e^{-\frac{\Delta t}{RC}}) \quad (\text{per } t = 0)$$

ossia :

$$f_{max} = \frac{1}{2\pi\Delta t(1 - e^{-\frac{\Delta t}{RC}})}$$

In questo caso è stato scelto un intervallo di funzionamento pari a $\pm V_{ref}/2$.

Un ulteriore parametro che generalmente caratterizza ogni ADC è la risoluzione generalmente espressa in bit. In questo caso essa può essere definita come il rapporto tra l'ampiezza dell'esponenziale approssimante ed il range della tensione di lavoro:

$$ris(\text{ bits }) = \frac{\log\left(\frac{2}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{RC}}}\right)}{\log 2}$$

In realtà questo tipo di approssimazione sottovaluta le reali possibilità del dispositivo per quanto riguarda la precisione. Se supponiamo Δt molto più piccolo del periodo del segnale di ingresso (ipotesi più che verosimile), il segnale in uscita del convertitore conterrà il segnale convertito, più un rumore con frequenza più alta del segnale che potrà essere ridotto con un ulteriore filtraggio.

RISULTATI

La strategia descritta è stata verificata costruendo un prototipo in grado di trasportare su fibra ottica quattro segnali provenienti da sensori sismici. Il vantaggio del trasporto su fibra deriva dalla grande immunità ai disturbi elettromagnetici, alla mancanza di accoppiamenti indesiderati tra i canali, alla semplicità di maneggiare più canali su un'unica linea ottica. Il sistema funziona a tempo ripartito con una frequenza di campionamento di 100 kHz, e con un RC di $4.7 \cdot 10^{-3}$. La tensione di riferimento, ottenuta con una piccola sorgente termostata è stata fissata a ± 4 Volt.

trascurando le caratteristiche dei componenti (data la qualità dei componenti scelti possiamo farlo tranquillamente alle precisioni richieste) otteniamo :

$$\Delta t = \frac{1}{100 \text{ kHz}} = 10^{-5} \text{ s}$$

$$f_{max} \simeq 33 \text{ Hz}$$

$$ris \simeq 10 \text{ bits}$$

La fig 4 illustra il codice temporale utilizzato nella trasmissione dei dati a tempo ripartito sulla fibra. Nelle tavole da 1, 2, 3 sono riportati gli schemi elettrici relativi alla realizzazione pratica del dispositivo. Il collegamento ottico utilizzato, connesso opportunamente ai segnali di ingresso e uscita digitale del trasmettitore e del ricevitore è stato effettuato con un kit Hewlett-Packard HFBR-0010. Le figg 5a, 5b, 6a, 6b, 7a, 7b illustrano i risultati delle prove effettuate sul prototipo, mettendo in luce come la qualità del trasferimento sia superiore a quella calcolata, qualora l'uscita venga ulteriormente filtrata (in questo caso il filtro era rappresentato dall'anti-aliasing dell'analizzatore di spettro utilizzato).

ULTERIORI SVILUPPI

Il segnale presente sulla linea digitale può essere direttamente acquisito e trattato da una macchina digitale. Si tratta di simulare numericamente il comportamento di un circuito RC e di includerlo nel programma di acquisizione [4].

La relazione che governa il comportamento di un circuito RC è :

$$\frac{V_{inp}(t) - V_c(t)}{R} = C \frac{\delta V_c(t)}{\delta t}$$

passando dal continuo al discreto :

$$[V_{inp}(t) - V_c(t)]\Delta t = RC\Delta V_c$$

dove $\Delta V_c = V_c(t+1) - V_c(t)$. Le sequenze che compaiono sono del tipo $S(n\Delta t)$, con n intero e Δt pari ad un intervallo di campionamento. La tensione in uscita (o sequenza di uscita dell' RC) è:

$$V_c(t+1) = \frac{\Delta t}{RC} [V_{inp}(t) - V_c(t)] + V_c(t)$$

Un programma di calcolo che realizzi questa funzione è di estrema semplicità, e necessita di una somma e di un prodotto per intervallo di tempo. Il segnale $V(t+1)$ o, meglio, la variabile $V(t+1)$ contiene l'informazione in forma numerica, pronta per essere utilizzata da altre parti dell' algoritmo di calcolo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Principles of Sigma-Delta modulations", bollettino tecnico Motorola
- [2] "Audio engineering Handbook" K. Blair Benson, McGraw-Hill
- [3] "The art of electronics" P. Horowitz and W. Hill, Cambridge University press
- [4] "Elaborazione numerica dei segnali" A.V. Oppenheim, R.W. Schafer, Franco Angeli editore

Quasi-delta modulator principle

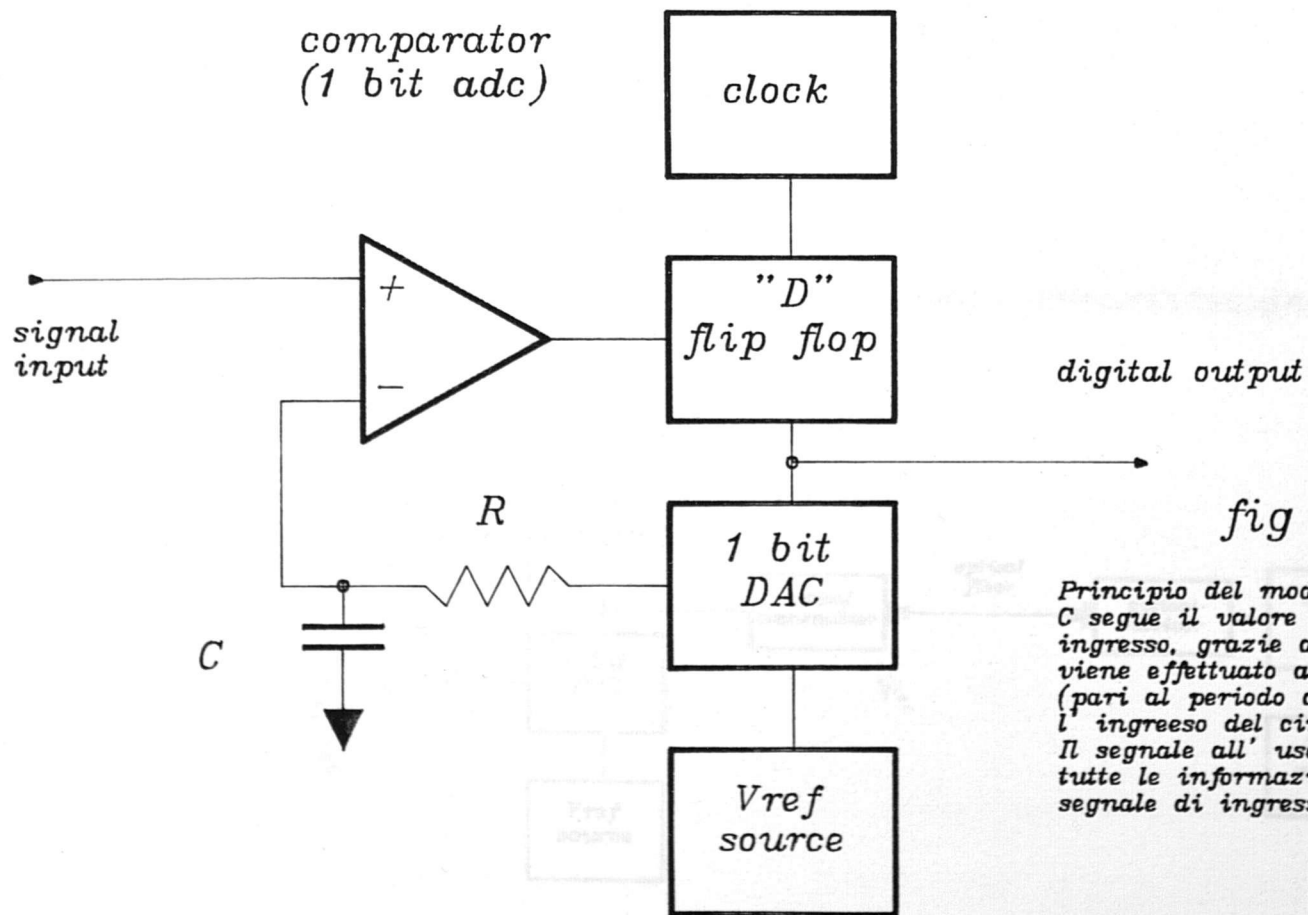


fig 1

Principio del modulatore. la tensione sul condensatore C segue il valore della tensione del segnale di ingresso, grazie al circuito di reazione. Questo viene effettuato ad intervalli discreti di tempo (pari al periodo dell' orologio), connettendo l' ingresso del circuito RC alla tensione di riferimento. Il segnale all' uscita del flip-flop 'D' contiene tutte le informazioni per la ricostruzione del segnale di ingresso.

fig 2

La trasmissione di un segnale analogico usando una coppia modulatore-demodulatore. Da notare che il demodulatore ripropone esattamente una parte dell' anello di reazione del modulatore. In sostanza se la tensione sul condensatore del modulatore riproduce (entro i limiti dell' errore) il segnale di ingresso, il condensatore del demodulatore si comporterà allo stesso modo perché è connesso allo stesso segnale, anche se trasferito attraverso il link ottico.

Analog data transmission

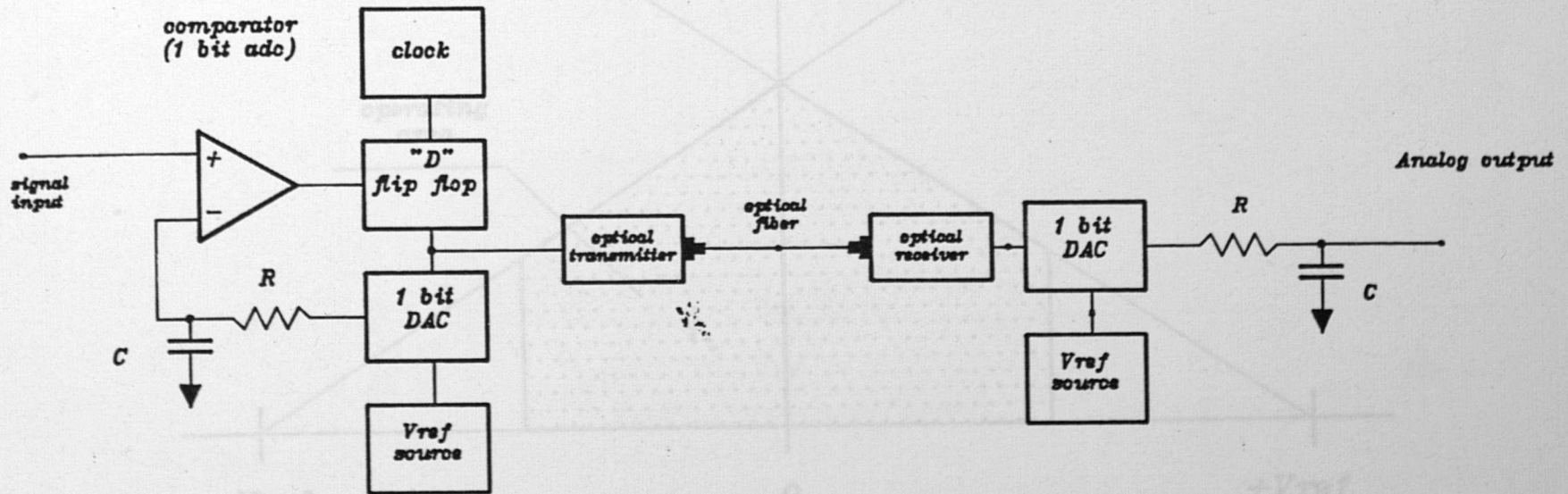


fig 3

Scelta dell' intervallo di lavoro del segnale di ingresso (vedi testo)

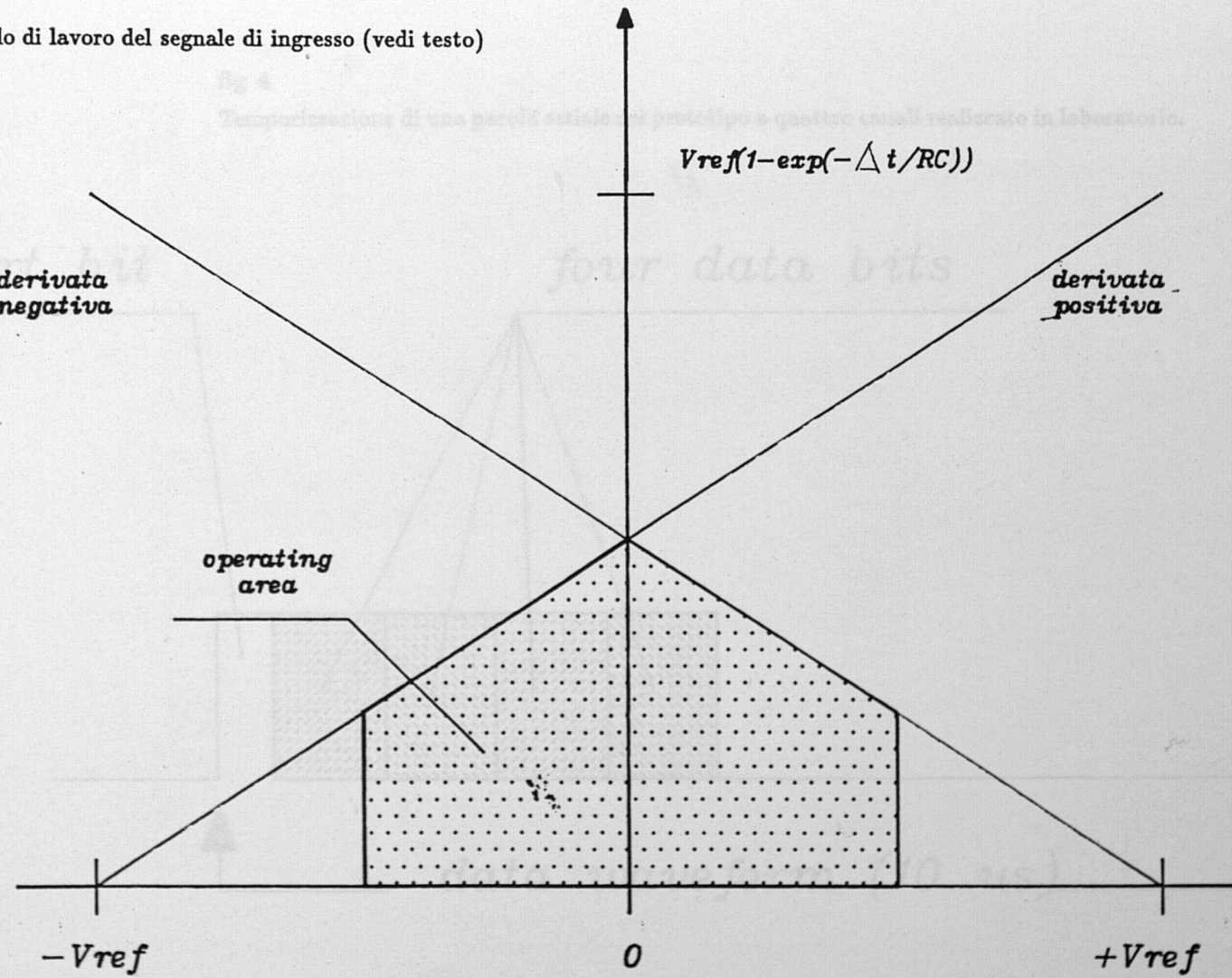
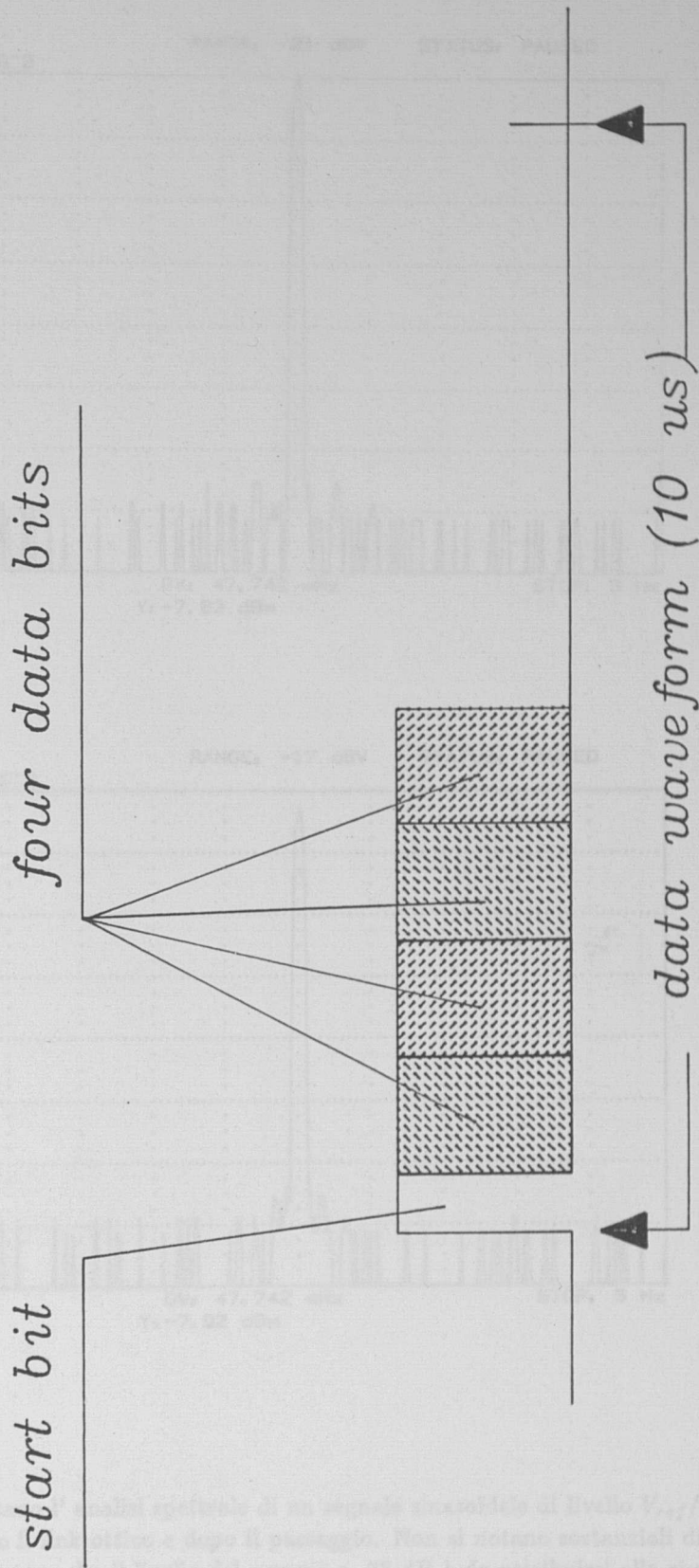


fig 4
Temporizzazione di una parola seriale nel prototipo a quattro canali realizzato in laboratorio.



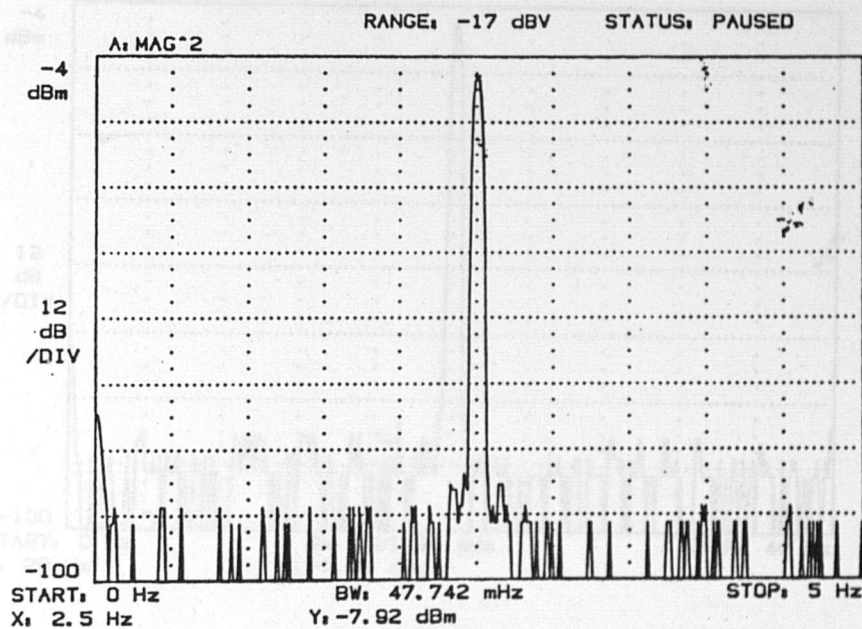
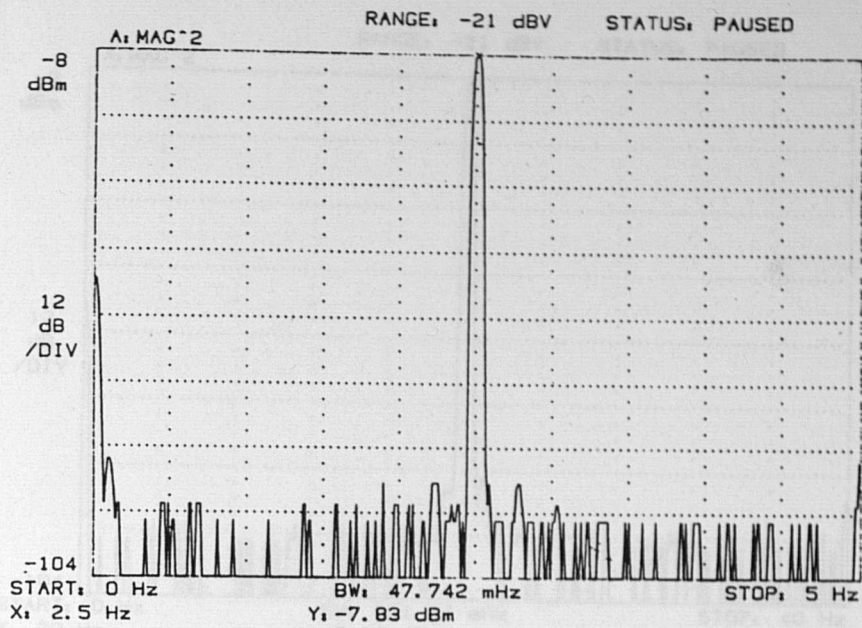


fig 5 a e b

Le figure rappresentano l'analisi spettrale di un segnale sinusoidale di livello $V_{ref}/2$ prima del passaggio attraverso il link ottico e dopo il passaggio. Non si notano sostanziali differenze tra i due segnali. Da notare che il livello del rumore a -78 dB è da attribuirsi alla risoluzione dell'analizzatore FFT utilizzato, di 13 bit.

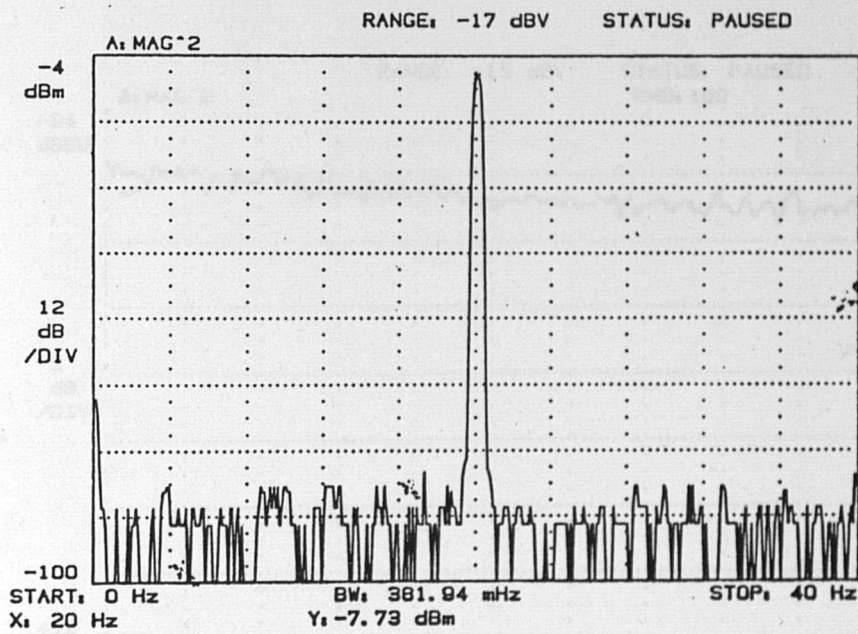
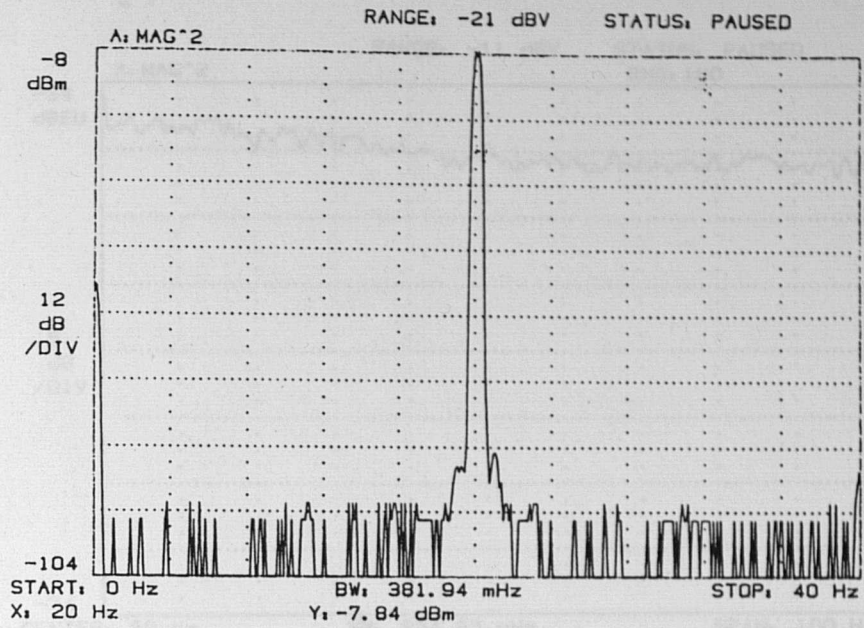


fig 6 a e b

Lo stesso che in fig 5, ma in un diverso range di frequenza.

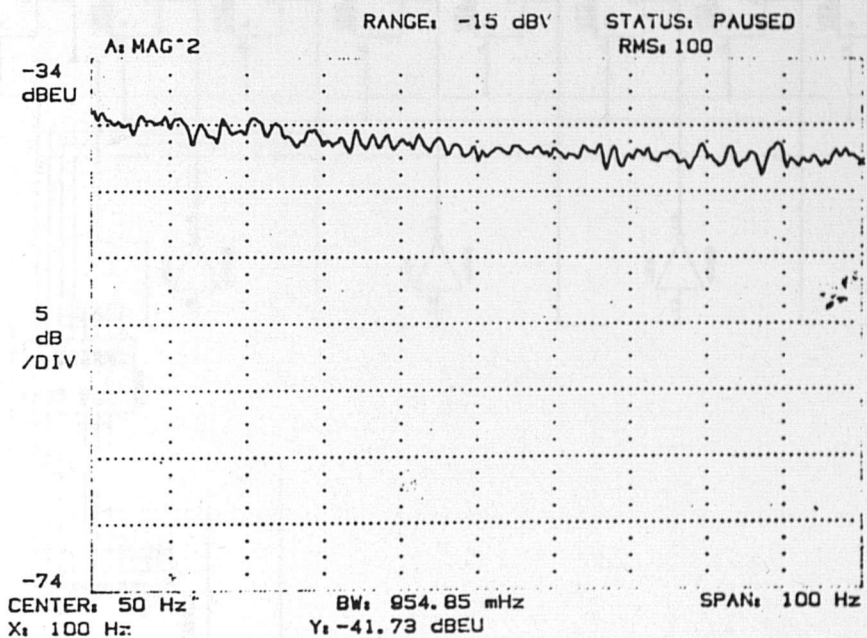
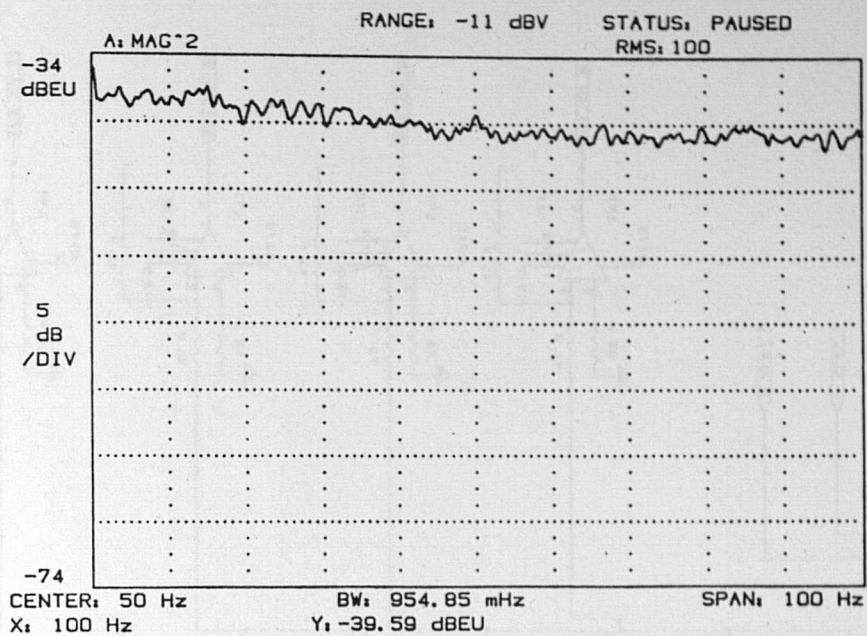


fig 7 a e b

Analisi spettrale del dispositivo eccitato con rumore bianco. Sono riprodotti lo spettro del rumore utilizzato, e quello del rumore dopo il trasferimento.

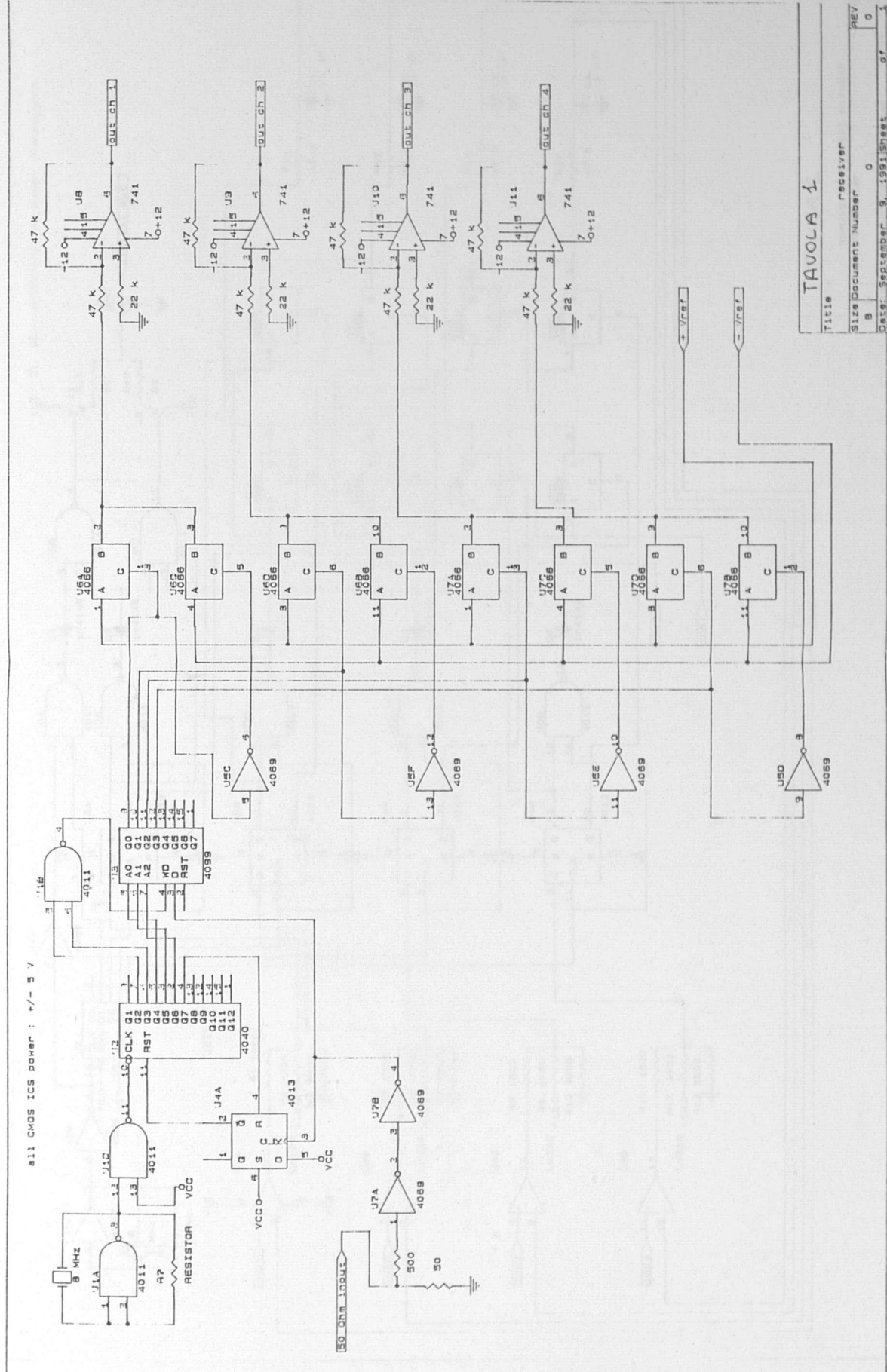


TAVOLA 1

Title	Receiver
Size Document Number	0
REV	0
Date	September 9, 1991
Sheet	07

Q1. Q2: switching low power transistors

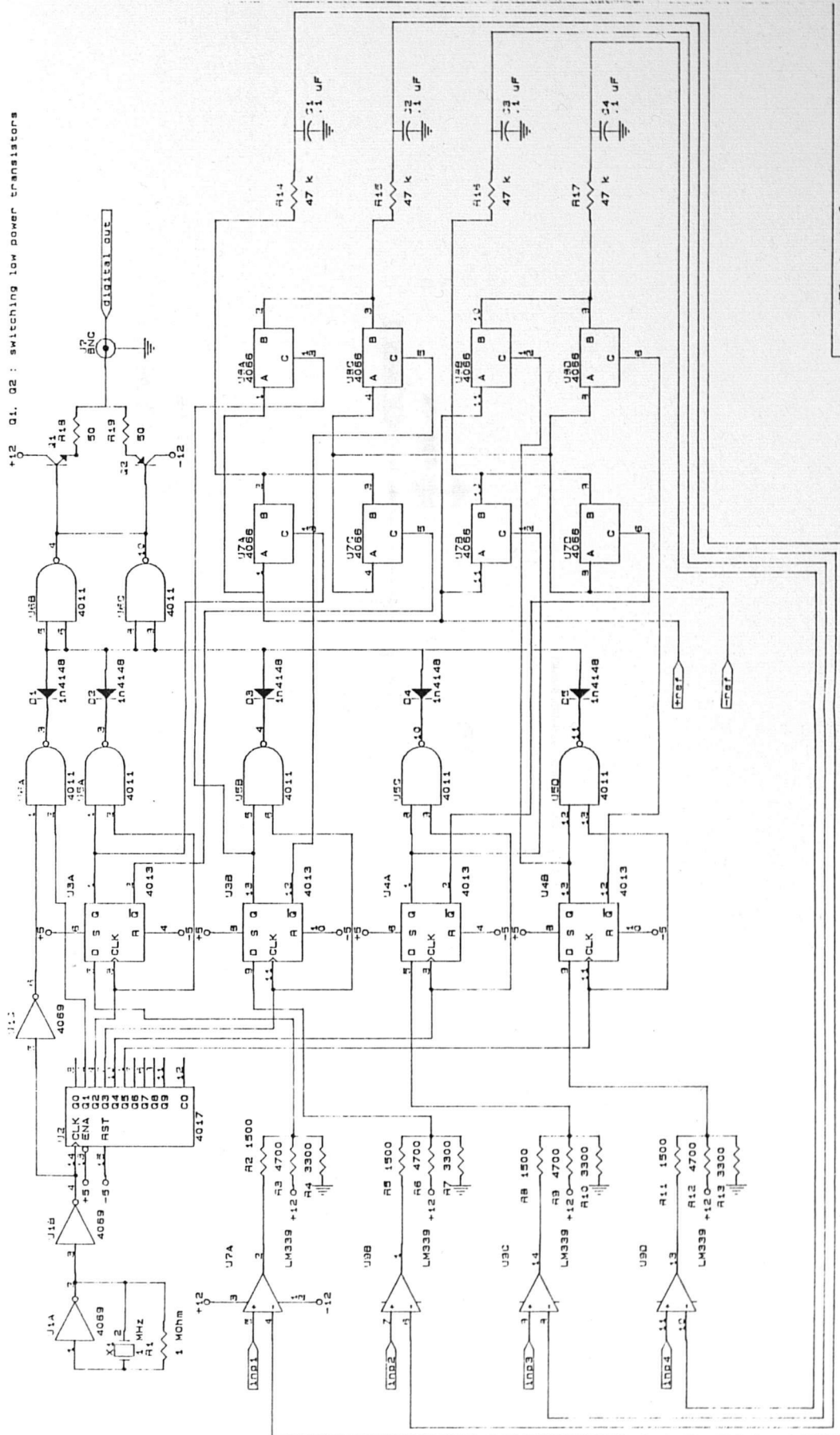
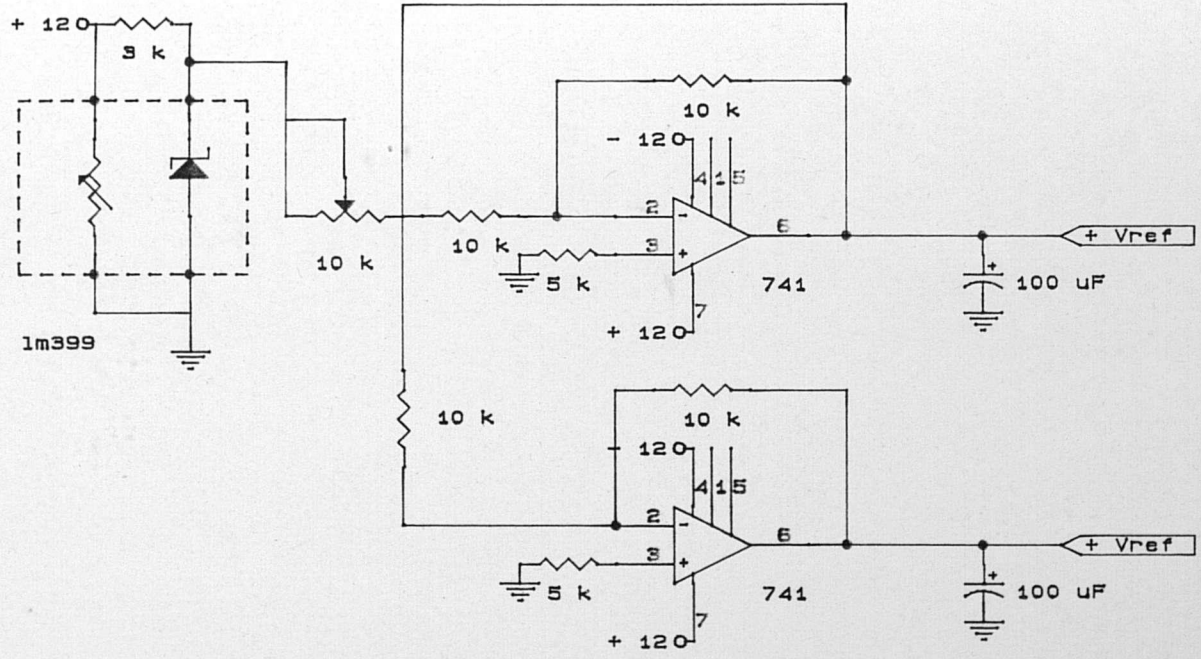


TAVOLA 2

Title	analog to digital encoder
Size Document Number	B
REV	1
DATE	SEPTEMBER 19, 1991 SHEET 2 OF 2



metal film precision resistors
 same circuit used for trasmitter and receiver

TAVOLA 3		
Title		
reference voltage generator		
Size	Document Number	REV
A		
Date: September 9, 1991		Sheet of