



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETA' INDUSTRIALE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

# UIBM

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| <b>DOMANDA NUMERO</b>     | <b>101994900371941</b> |
| <b>Data Deposito</b>      | <b>06/06/1994</b>      |
| <b>Data Pubblicazione</b> | <b>06/12/1995</b>      |

|                |               |                    |               |                    |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| <b>Sezione</b> | <b>Classe</b> | <b>Sottoclasse</b> | <b>Gruppo</b> | <b>Sottogruppo</b> |
| H              | 04            | L                  |               |                    |

Titolo

CIRCUITO IN TECNOLOGIA CMOS PER IL PILOTAGGIO AD ALTA VELOCITA' DI SORGENTI OTTICHE.

Descrizione dell'invenzione avente per titolo:

Circuito in tecnologia CMOS per il pilotaggio ad alta velocità di sorgenti ottiche.

a nome CSELT - Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A., Via  
Guglielmo Reiss Romoli 274, 10148 Torino, nazionalità italiana.

Inventori: Valter Bella  
Paolo Pellegrino

Domanda N. TO 94A000462

Depositata il 6 GIU. 1994

CSELT  
Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A.

#### Testo della descrizione.

La presente invenzione concerne gli apparati di trasmissione per sistemi di comunicazione facenti uso di fibre ottiche e in particolare riguarda un circuito in tecnologia CMOS per il pilotaggio ad alta velocità di sorgenti ottiche.

L'utilizzo delle fibre ottiche nei sistemi di comunicazione è oramai ampiamente diffuso e consente di aumentare la velocità delle trasmissioni e di ridurre l'ingombro dei mezzi che trasportano i segnali. Tuttavia, allo stato attuale dell'arte buona parte delle elaborazioni effettuate sull'informazione trasmessa viene operata su segnali elettrici. Si ha pertanto l'esigenza di creare dei dispositivi di interfacciamento che consentano di accoppiare da un lato i generatori di informazione e dall'altro i relativi ricevitori con i tratti di fibra ottica utilizzati per il collegamento. In particolare, ai generatori vengono associati trasduttori in grado di convertire i segnali

elettrici in radiazioni ottiche da inviare in fibra, mentre ai ricevitori vengono accoppiati trasduttori in grado di convertire la radiazione ottica ricevuta in segnali elettrici. Nel primo caso si usano sorgenti optoelettroniche, quali i diodi laser o i diodi LED, mentre nel secondo caso si fa tipicamente uso di fotorivelatori. L'uso di diodi laser è particolarmente diffuso in quanto la radiazione emessa da tali dispositivi presenta caratteristiche vantaggiose dal punto di vista della trasmissione in fibra ottica: in particolare, la radiazione ottica emessa è coerente e praticamente monocromatica, con l'ulteriore vantaggio che la piccola lunghezza d'onda di tale radiazione consente l'utilizzo di cavi in fibra ottica di sezione ridotta rispetto a quella dei cavi che trasportano la radiazione emessa da altre sorgenti, come ad esempio i LED. Una volta scelta la sorgente ottica da utilizzare, si pone il problema di pilotarla per fare in modo che, tenuto conto delle caratteristiche della sorgente stessa, ai segnali elettrici emessi dal generatore corrispondano opportuni segnali ottici da inviare in fibra.

Nei diodi laser, l'emissione di radiazione ottica si verifica solo quando la corrente che fluisce attraverso il dispositivo polarizzato direttamente supera un valore minimo, detto corrente di soglia e indicato nel seguito con  $I_s$ . Tale corrente di soglia dipende in generale da vari fattori: innanzitutto, dalla tecnologia e dalla accuratezza con la quale vengono realizzati i diodi laser e, nell'ambito dei dispositivi realizzati con le stesse modalità costruttive, dalla inevitabile dispersione delle caratteristiche reali rispetto a quelle nominali. E' comunque possibile fissare grossomodo tra 5 mA e 30 mA l'intervallo di variabilità per la corrente di soglia dei diodi laser di uso più comune.

Un'altra caratteristica dei diodi laser è il fatto che la potenza della radiazione ottica emessa è direttamente proporzionale all'intensità di corrente che fluisce nel dispositivo in eccesso rispetto la corrente di soglia; tale corrente in eccesso viene detta corrente di modulazione e nel seguito viene indicata con  $I_m$ . I valori tipici per  $I_m$  variano grossomodo tra 0 mA e 30 mA. Quando si tratta di trasmettere informazioni in forma digitale, è uso comune far corrispondere a un livello logico una corrente di pilotaggio del diodo laser appena superiore ad  $I_s$ . In tal modo il dispositivo è sempre acceso e quindi nel commutare da un livello logico all'altro non si introduce un ritardo dovuto alla necessità di innescarlo. All'altro livello logico si fa corrispondere una corrente data dalla somma di  $I_s$  e di un certo valore di  $I_m$ , che è proporzionale alla differenza che si vuole ottenere tra la potenza ottica associata allo "1" logico e quella associata allo "0" logico. Tale differenza viene scelta sostanzialmente operando un compromesso tra l'esigenza di aumentare il margine di immunità al rumore (il che corrisponde a valori di  $I_m$  elevati) e quella di avere commutazioni veloci (il che si ottiene riducendo  $I_m$ ). Per inciso, mantenendo il diodo laser sempre al di sopra della soglia si fa in modo che l'assenza di segnale in ingresso sia associata a uno dei due livelli logici e non dia luogo a stati "indefiniti", ai quali potrebbe corrispondere una forte dissipazione.

Il diodo laser è quindi un dispositivo controllato in corrente; tipicamente però i generatori forniscono i segnali sotto forma di tensioni a livelli logici; si ha perciò l'esigenza di realizzare dei circuiti che consentano di imporre la corrente  $I_s$  al diodo laser e di convertire le tensioni ricevute dai generatori di informazioni in opportune correnti di modulazione  $I_m$  da sovrapporre a

detta Is. Inoltre i circuiti di pilotaggio devono consentire la conversione di segnali aventi frequenza il più possibile elevata, tipicamente dell'ordine delle centinaia di MHz, riducendo al minimo le potenze dissipate.

Nella tecnica sono noti diversi circuiti di pilotaggio, realizzati sia con tecnologia su GaAs (in cui il componente elementare è il MESFET), sia su silicio (in cui il componente elementare è il BJT = Bipolar Junction Transistor). Nel primo caso si ottengono circuiti veloci e integrabili sulla stessa piastrina assieme al diodo laser, ma la tecnologia è molto costosa e non permette l'implementazione di elevate densità di componenti. Nel secondo caso la velocità di cifra e la densità di integrazione possono essere elevate, ma si ha una elevata dissipazione di potenza.

In alternativa ai due approcci suddetti si può ricorrere a un'altra tecnologia, che utilizza il silicio e che ha come componente elementare il CMOS. I circuiti in tecnologia CMOS assicurano elevata densità di integrazione, bassa dissipazione di potenza e bassi costi, ma d'altra parte hanno una frequenza operativa non molto elevata e la potenza da essi dissipata è proporzionale al quadrato della frequenza stessa. Si cita ad esempio della applicazione della tecnologia CMOS al settore dei circuiti di pilotaggio per sorgenti ottiche quanto descritto da M. Steyaert et al. nel documento dal titolo "150 Mbit/s CMOS LED-driver and PIN-receiver IC for Optical Communication", presentato alla IEEE 1992 Custom Integrated Circuits Conference. In tale pubblicazione viene presentato un circuito, integrato in un'unica piastrina, per il pilotaggio di un LED alla frequenza di 150 Mbit/s. Il circuito in questione presenta in ingresso una cascata di invertitori CMOS avente la funzione di accoppiare i circuiti CMOS o TTL a monte con lo stadio



di pilotaggio del LED. Tale stadio di pilotaggio consiste essenzialmente in un circuito "specchio di corrente" che fa circolare nel LED una corrente di polarizzazione il cui valore viene imposto "una tantum" dimensionando un resistore esterno e in un transistor che controlla la corrente di modulazione, posto in parallelo allo specchio di corrente. Questo circuito presenta alcuni svantaggi; in particolare, esso funziona male ad alte frequenze ( $>200$  MHz), dal momento che in tali condizioni si accentua il fenomeno di produzione di disturbi che hanno origine sui fronti di commutazione e si propagano dall'ingresso di gate del transistor che controlla la corrente di modulazione verso il ramo del circuito specchio di corrente che fissa la corrente di soglia. Ciò provoca una riduzione del rapporto segnale-rumore dell'uscita del diodo laser, in quanto i picchi di corrente causati dai disturbi suddetti vanno a ridurre la dinamica del segnale ottico. Inoltre, si rileva l'impossibilità di regolare la corrente di modulazione, mentre la corrente di polarizzazione nominale resta fissata rigidamente tramite il resistore esterno.

Ovvio ai suddetti inconvenienti il circuito oggetto della presente invenzione, il quale permette il pilotaggio di sorgenti ottiche, in particolare diodi laser. Tale circuito opera efficientemente a velocità adeguate alle esigenze imposte dai sistemi di comunicazione in fibra ottica evitando l'interferenza tra il segnale di pilotaggio in tensione e quello in corrente nella sorgente ottica. Sono possibili la regolazione della corrente di polarizzazione, in modo da consentire il pilotaggio di sorgenti aventi correnti di soglia differenti tra loro, e la regolazione della corrente di

modulazione. Grazie all'uso della tecnologia CMOS, il circuito presenta una bassa dissipazione di potenza e risulta conveniente sul piano economico.

Il circuito in tecnologia CMOS per il pilotaggio ad alta velocità di sorgenti ottiche secondo la presente invenzione comprende:

- un generatore di corrente di polarizzazione;
- un generatore di corrente di modulazione;
- una cascata di stadi invertitori CMOS che pilota in tensione il generatore di corrente di modulazione e riceve in ingresso segnali in forma logica;

ed è caratterizzato dal fatto che il generatore della corrente di polarizzazione è un transistor CMOS, MP o MP', che ha il source collegato a uno dei terminali di alimentazione, il gate collegato a un terminale P di controllo della corrente di polarizzazione e il drain collegato a uno dei terminali della sorgente ottica da pilotare, mentre il generatore della corrente di modulazione è una coppia di transistori CMOS, MM e MS o MS' e MM', posti in serie, di cui uno, MS o MS', ha il drain collegato a detto terminale della sorgente ottica, il gate all'uscita di detta cascata di stadi invertitori e il source al drain del secondo transistor della coppia, MM o MM', che ha il source collegato a detto terminale di alimentazione e il gate collegato a un terminale M di controllo della modulazione, i valori di dette correnti dipendendo solo dalle tensioni imposte dall'esterno sui rispettivi terminali di controllo.

Le caratteristiche della presente invenzione risulteranno più evidenti dalla descrizione che segue e dai disegni allegati relativi ad un esempio di realizzazione a carattere non limitativo in cui:

Le Figure 1 e 2 rappresentano due esempi duali di realizzazione in forma integrata del circuito di pilotaggio secondo la presente invenzione;

La Figura 3 rappresenta il "diagramma ad occhio" relativo allo schema rappresentato in Figura 1.

In Figura 1 una sorgente dati non rappresentata pilota in tensione l'ingresso I del primo stadio di una cascata di invertitori realizzati secondo la tecnologia CMOS ed accoppiati in continua. Ogni stadio di tale cascata è costituito da due transistori CMOS, uno di tipo p e uno di tipo n, che hanno i gate e i drain in comune e i source collegati rispettivamente al terminale positivo di alimentazione Vdd e a massa. In condizioni statiche, un transistorore è in saturazione mentre l'altro è interdetto, per cui non circola corrente tra Vdd e massa e la dissipazione di potenza è nulla. Quando si verifica una transizione da un livello logico all'altro, entrambi i transistori possono condurre ma il fenomeno è molto rapido e quindi la potenza dissipata è esigua. L'uscita dell'ultimo stadio di tale cascata è connessa al gate di un transistorore CMOS MS, di tipo p. Tale transistorore ha il drain collegato a un terminale L, al quale può essere connesso l'anodo di una sorgente ottica da pilotare, ad esempio un diodo laser con catodo a massa; il source di MS è invece collegato al drain di un transistorore MM, che a sua volta ha il gate connesso a un terminale esterno M il quale riceve una tensione di controllo della corrente di modulazione, e il source connesso al terminale di alimentazione Vdd. Tra Vdd ed L è interposto anche un transistorore MP di tipo p, il cui gate è connesso al terminale esterno P che riceve la tensione di controllo della corrente di polarizzazione.

Le dimensioni dei transistori utilizzati nei vari stadi della cascata di invertitori sono crescenti via via che si avanza verso lo stadio finale. Le capacità parassite all'ingresso di tali stadi invertitori e le correnti di uscita che essi possono fornire o assorbire sono direttamente proporzionali alle aree dei transistori utilizzati. Procedendo dal primo stadio verso l'ultimo, quindi, aumenta la capacità d'ingresso dello stadio invertitore, ma aumenta anche la corrente di uscita disponibile. In generale, il tempo di carica o scarica della capacità di ingresso di uno stadio "pilotato", inversamente proporzionale alla velocità di commutazione della tensione di ingresso, si riduce all'aumentare della corrente di uscita rispettivamente fornita o assorbita dallo stadio "pilotante".

Quindi la cascata di invertitori aventi le caratteristiche di dimensionamento dei transistori descritte sopra consente di pilotare a velocità sufficiente la capacità di ingresso del transistor MS, la cui area è relativamente grande proprio per consentirgli di fornire variazioni di corrente abbastanza veloci sul carico. Il problema di pilotare in modo analogo i gate dei transistori MM ed MP, entrambi di area paragonabile a quella di MS, non si pone, dal momento che essi sono soggetti a tensioni costanti una volta che sono state regolate al valore desiderato.

Per fare in modo che quando all'ingresso I è presente un segnale a livello logico basso il diodo laser si trovi in condizioni di minima emissione ottica, il numero di stadi invertitori è dispari. In tal modo, quando la tensione su I è al livello logico basso il gate di MS è al livello logico alto e il transistor, essendo di tipo p, risulta interdetto, per cui verso il terminale L può fluire la sola corrente di polarizzazione fornita da MP; viceversa,



quando la tensione su I è al livello logico alto il gate di MS è al livello logico basso e il transistor si trova in saturazione, cioè si comporta come un interruttore chiuso, e quindi la corrente che può andare verso il terminale L è data dalla somma della corrente di polarizzazione e della corrente di modulazione fornita da MM. Le due correnti di cui sopra dipendono dalle tensioni alle quali sono soggetti i terminali M e P. Tali tensioni vengono ottenute con circuiti esterni non rappresentati: in particolare, sia la tensione su M che quella su P possono essere regolate indipendentemente l'una dall'altra, ad esempio collegando ad ogni terminale il cursore di un potenziometro multigiri connesso tra l'alimentazione e la massa e variando le posizioni di tali cursori a seconda delle tensioni che si vogliono imporre.

La Figura 2 rappresenta un circuito simile a quello descritto sopra, adatto a pilotare una sorgente ottica con terminali isolati dal contenitore. Il segnale fornito da una sorgente di informazioni non rappresentata viene fornito all'ingresso I di una cascata di invertitori, che pilota il gate di un transistor CMOS di tipo n, indicato con MS'. Questo transistor, che agisce da interruttore per la corrente di modulazione, è collegato tramite il terminale L al catodo di una sorgente ottica. Un transistor CMOS di tipo n, indicato con MM', è posto in serie al transistor MS' ed ha il source a massa e il gate collegato a un terminale M. La tensione su M è regolabile dall'esterno, ad esempio tramite un potenziometro, e da essa dipende il valore massimo della corrente di modulazione. Un transistor CMOS di tipo n MP' ha il gate collegato a un terminale P, il source collegato a massa e il drain al terminale L. Impostando dall'esterno la tensione sul terminale P, può essere controllata la corrente di polarizzazione che fluisce nella sorgente ottica. Si noti che la

caduta di tensione sulla sorgente ottica non influisce sui valori delle tensioni tra gate e source dei transistori MM', MP' ed MS'.

In questo caso viene usato un numero pari di stadi nella cascata di invertitori: a un livello logico alto in ingresso alla cascata di invertitori si fa corrispondere un livello logico alto sul gate di MS', il quale si trova così in saturazione e lascia circolare verso massa la corrente di modulazione fornita da MM'. In tale condizione di funzionamento, nella sorgente ottica fluisce una corrente data dalla somma della corrente di modulazione e di quella di polarizzazione. Viceversa, quando in ingresso alla cascata di invertitori si ha un livello logico basso, il gate di MS' si trova anch'esso a livello logico basso e quel transistor è interdetto, per cui dalla sorgente ottica viene drenata la sola corrente di polarizzazione.

La Fig. 3 rappresenta il "diagramma ad occhio" relativo allo schema di Figura 1 per un flusso dati di 622 Mbit/s, dove sulle ascisse è riportato il tempo (625 ps/divisione) e sulle ordinate l'ampiezza del segnale (100 mV/divisione). Da questo diagramma risulta che il rumore è limitato e l'errore di intersimbolo è praticamente assente. Ciò significa che la tensione che determina il valore della corrente di polarizzazione e la tensione che determina la corrente di modulazione non risentono delle variazioni di tensione sul gate del transistor interruttore della corrente di modulazione anche per frequenze di cifra elevate.

E' evidente che all'esempio di realizzazione precedentemente descritto a titolo illustrativo e non limitativo potranno essere apportate modificazioni, adattamenti, integrazioni, varianti e sostituzioni di elementi con altri funzionalmente equivalenti senza peraltro uscire dall'ambito di protezione

delle seguenti rivendicazioni; in particolare, nulla vieta di realizzare a componenti discreti il circuito sopra descritto, piuttosto che ricorrere alla sua integrazione su un unica piastrina.

**CSELT**  
Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A.

## Rivendicazioni.

1. Circuito in tecnologia CMOS per il pilotaggio ad alta velocità di sorgenti ottiche comprendente:

- un generatore di corrente di polarizzazione,
- un generatore di corrente di modulazione,
- una cascata di stadi invertitori CMOS che pilota in tensione il generatore di corrente di modulazione e riceve in ingresso segnali in forma logica,

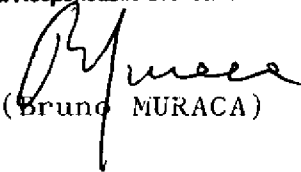
caratterizzato dal fatto che:

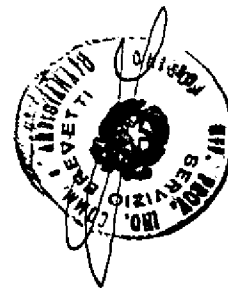
il generatore della corrente di polarizzazione è un transistor CMOS (MP o MP') che ha il source collegato a uno dei terminali di alimentazione, il gate collegato a un terminale (P) di controllo della corrente di polarizzazione e il drain collegato a uno dei terminali della sorgente ottica da pilotare, mentre il generatore della corrente di modulazione è una coppia di transistori CMOS (MM e MS) o (MS' e MM') posti in serie, di cui uno (MS o MS') ha il drain collegato a detto terminale della sorgente ottica, il gate all'uscita di detta cascata di stadi invertitori e il source al drain del secondo transistor della coppia (MM o MM') che ha il source collegato a detto terminale di alimentazione e il gate collegato a un terminale (M) di controllo della modulazione, i valori di dette correnti dipendendo solo dalle tensioni imposte dall'esterno sui rispettivi terminali di controllo.

2. Circuito in tecnologia CMOS come nella rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta cascata è costituita da un numero dispari di stadi invertitori CMOS, detto transistor CMOS (MP) e detta coppia di

- transistori CMOS (MM e MS) sono di tipo p, detto terminale di alimentazione è quello positivo (Vdd) e detto terminale della sorgente ottica è l'anodo.
3. Circuito in tecnologia CMOS come nella rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta cascata è costituita da un numero pari di stadi invertitori CMOS, detto transistor CMOS (MP') e detta coppia di transistori CMOS (MS' e MM') sono di tipo n, detto terminale di alimentazione è quello di massa e detto terminale della sorgente ottica è il catodo.
4. Circuito in tecnologia CMOS come alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che le tensioni imposte dall'esterno sui terminali di controllo di dette correnti sono regolabili indipendentemente l'una dall'altra mediante potenziometri.

**CSELT**  
**Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A.**  
**Il Responsabile Brevetti e Licenze**

  
(Bruno MURACA)



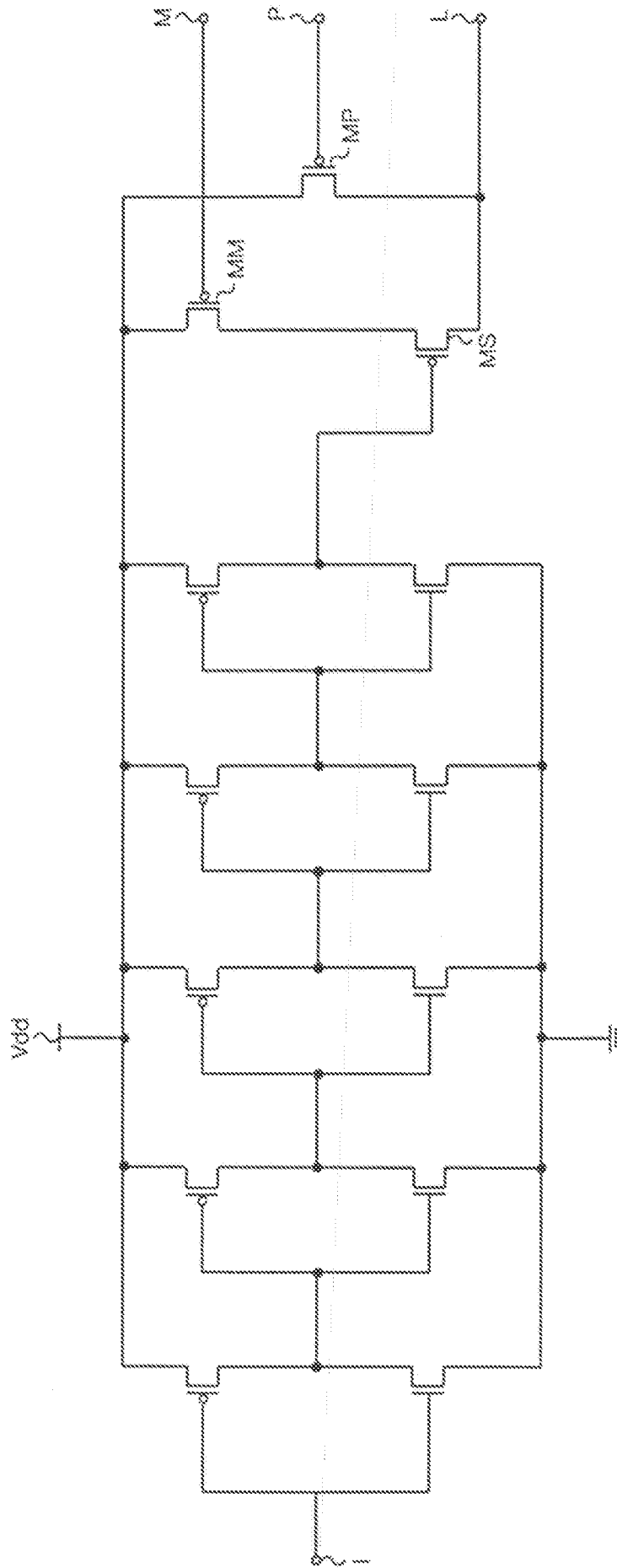
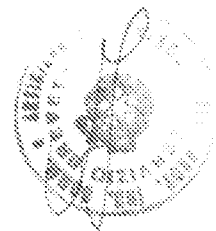


Fig. 1

OSFET  
Circuit Board & Laboratory Equipment S.A.  
Il Responsabile Tecnico e Licenziatario

*[Signature]*  
(URINO MUKACA)





TO 94A000462

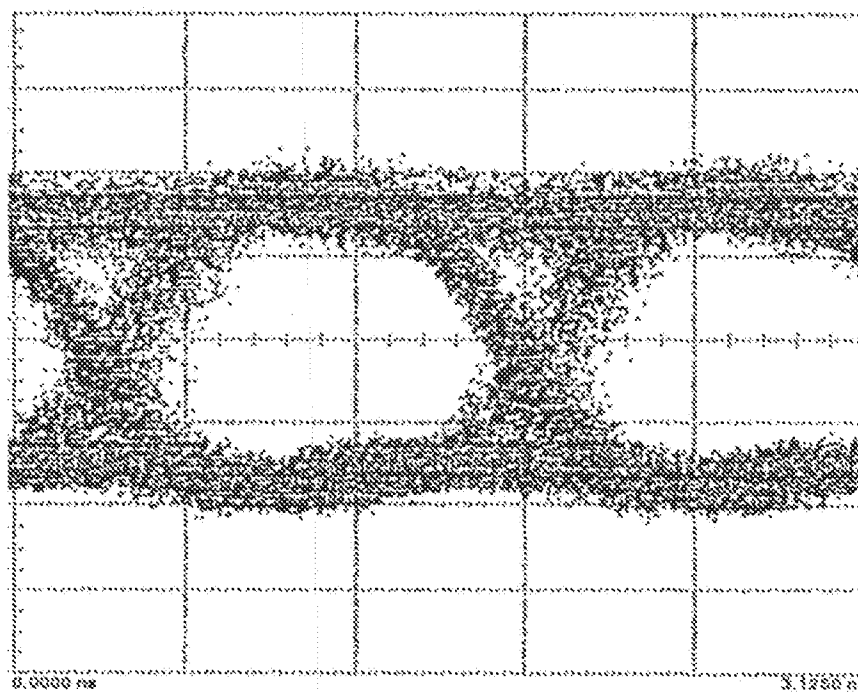


Fig.3

CSELT  
Centro Studi e Ricerche per lo Sviluppo della SpA.  
Il Responsabile di Ricerca e Sviluppo

*Bruno Muraca*  
(Bruno MURACA)

