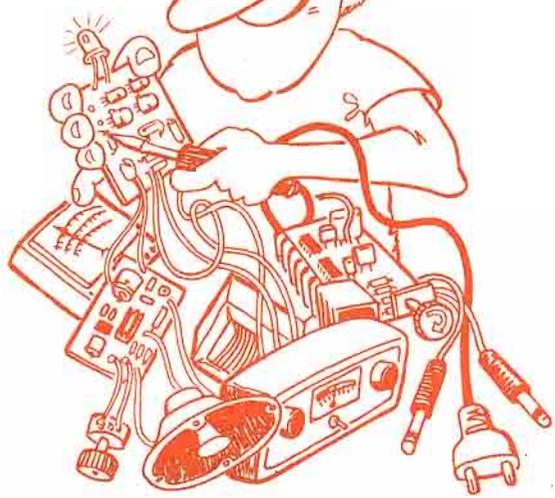


CORSO ELEMENTARE DI ELETTRONICA



**PRIMI
PASSI**

TRANSISTOR MOS

I transistor MOS appartengono alla categoria di quelli ad effetto di campo e vengono indicati con la sigla più completa di MOSFET, anche se per brevità di dizione si usa chiamarli MOS, se-

miconduttori ad ossido metallico (Metal - Oxide - Semiconductor).

Parimenti a quanto si verifica nel transistor FET, anche nel MOS sono presenti tre elettro-

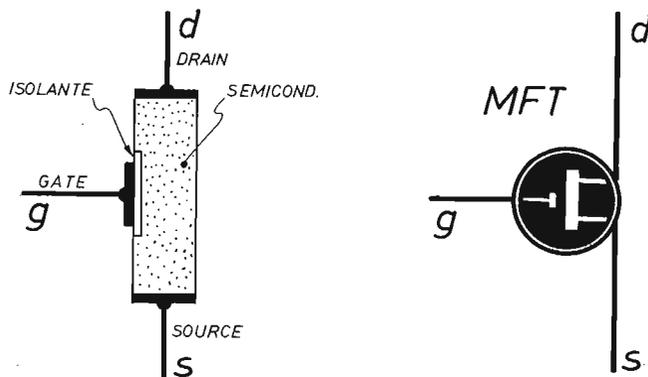
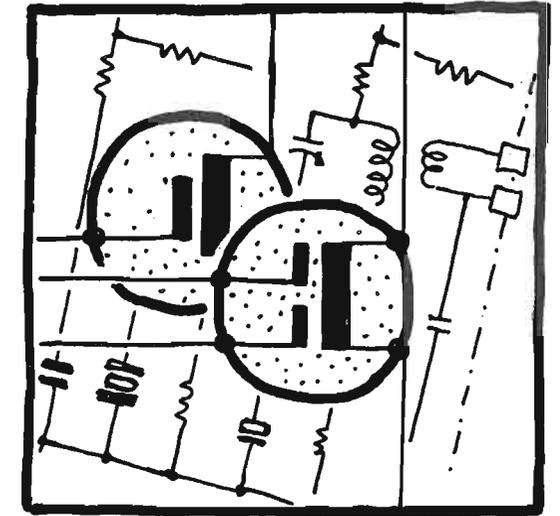


Fig. 1 - Il disegno a sinistra interpreta la struttura fisica del transistor MOS, che evidenzia la presenza del sottilissimo strato isolante interposto fra la regione di gate ed il canale di conduzione. Sulla destra è riportato il simbolo elettrico del semiconduttore con la sigla di qualificazione MFT (MosFet Transistor).

di, quello di drain (d), l'altro di gate (g) ed il terzo di source (s), così come segnalato in figura 1, alla destra della quale è riportato il simbolo elettrico del semiconduttore, sovrastato dalla sigla di identificazione MFT.

Quella del FET rappresenta la prima realizzazione, su scala industriale, dei transistor ad effetto di campo, ma la tecnologia MOS vanta certamente il primato della scoperta ed oggi è l'ultima a coinvolgere il mondo produttivo, al punto che i transistor MOS sono attualmente i più diffusi fra tutti. Soprattutto perché questi possono essere costruiti in piccolissime dimensioni, grazie ad alcune particolarità del processo tecnologico che consentono di agglomerare, in uno stesso circuito integrato, decine di milioni di transistor.

Visto sotto l'aspetto del comportamento elettrico, il transistor MOS può essere paragonato alla vecchia valvola termoionica a vuoto spinto, più precisamente al triodo dotato di anodo, griglia e catodo. Perché allo stesso modo della griglia, che nella valvola controllava il flusso di elettroni fra catodo e anodo, nel transistor MOS il gate controlla il passaggio di corrente, fra gli elettrodi di drain e source, attraverso l'azione di un campo elettrico. Con la sola differenza che, nella valvola termoionica, l'interven-



to del campo elettrico avveniva nel vuoto, nel transistor MOS, invece, questo si sviluppa nella struttura di un reticolo cristallino e su dimensioni che ormai sfuggono anche ai microscopi ottici e per la cui analisi servono i microscopi elettronici a fascio di elettroni.

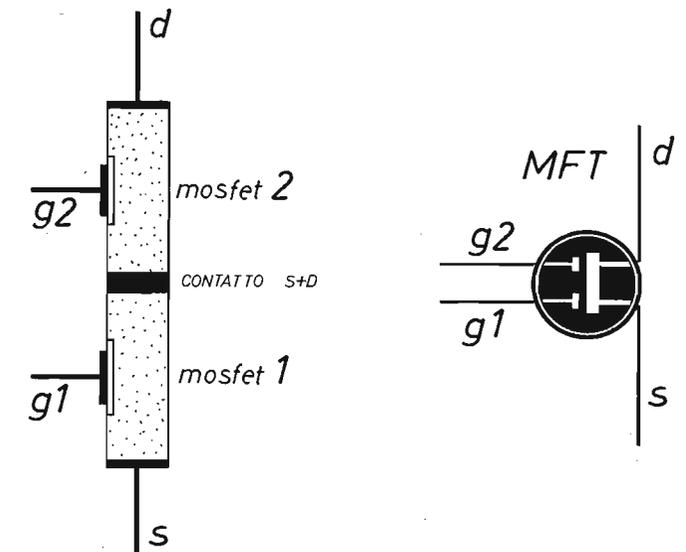


Fig. 2 - Sulla sinistra è riportato il disegno interpretativo della struttura interna ad un transistor MOS a doppio gate (g1 - g2). Sulla destra è segnalato il simbolo elettrico di questo comune semiconduttore.

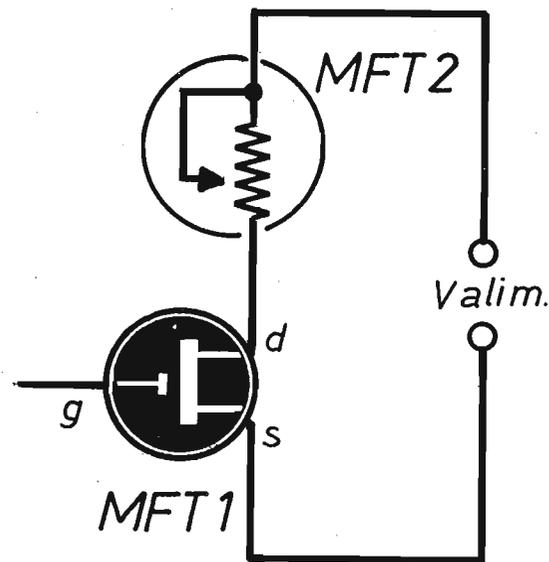


Fig. 3 - Tramite questo semplice schema elettrico, è assai facile interpretare il funzionamento del transistor MOS a doppio gate, in cui il secondo MOS (MFT2) può essere assimilato ad una resistenza variabile di controllo di MFT1.

STRUTTURA DEL MOS

La struttura fisica del MOS viene interpretata dal disegno riportato sulla sinistra della già citata figura 1. Che è molto simile a quella del

FET, con la sola variante che, in sostituzione del diodo di gate, nel MOS è inserito, teoricamente, un condensatore di gate. Spieghiamoci meglio: nel transistor MOS, la regione di gate rimane isolata, dal canale di scor-

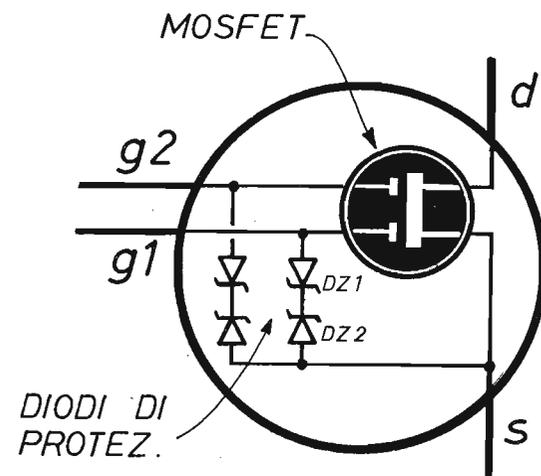


Fig. 4 - Schema teorico interpretativo del sistema di integrazione di due coppie di diodi zener, collegati in antiserie, internamente ad un transistor MOS, con lo scopo di proteggere il componente contro i segnali a tensioni elevate.

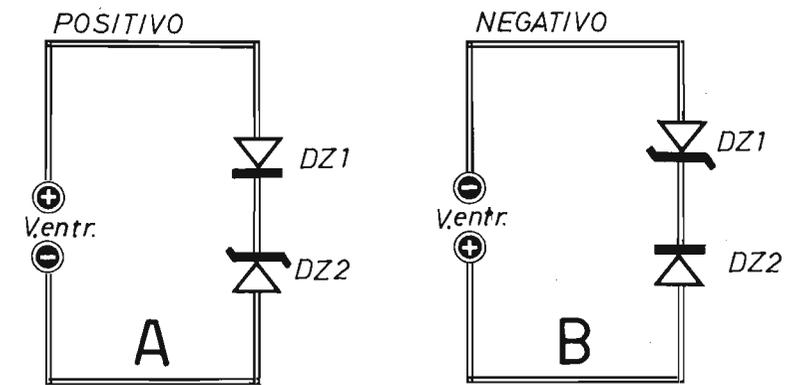


Fig. 5 - Il circuito A spiega il comportamento degli zener, integrati nei transistor MOS, in presenza di segnale positivo. Lo zener DZ1, rappresentato con il simbolo di un comune diodo a semiconduttore, assume le vesti di un componente al silicio, mentre DZ2 si comporta come un vero e proprio zener da 10 V. Il circuito B interpreta il concetto in occasione di segnale negativo applicato al gate.

ramento della corrente fra drain e source, per mezzo di un sottilissimo strato di ossido, da cui deriva il termine "OXIDE". Dunque, l'ingresso del MOS è equivalente ad un piccolo condensatore, anziché, come avviene nel FET, ad un diodo in inversa. In altre parole, qui la capacità in entrata è leggermente più alta rispetto a quella del FET, nei confronti del quale rappresenta un difetto. Ma la corrente è più bassa e, soprattutto, non si rischia di assorbire correnti di notevole intensità quando si polarizza l'elettrodo di gate con tensioni superiori a 0,7 V.

La funzione del gate, nel transistor MOS, è analoga a quella dello stesso elettrodo nel transistor FET.

Attraverso l'azione di un campo elettrico, il gate modula la conduzione tra source e drain sostenuta da apposite cariche, rappresentate dai "vuoti", nel MOS a canale P e dagli elettroni in quello a canale N. Infatti, la tensione applicata al gate induce, nel canale di conduzione, attraverso il sottile dielettrico di isolamento, delle cariche che, a loro volta, controllano quelle disponibili per la conduzione, modulando la resistenza del canale fra source e drain su gamme che, a seconda dei modelli di transistor, variano fra i decimi di ohm, le decine di ohm e i milioni o miliardi di ohm. Ma affinché tutto risulti efficiente, occorre che l'isolante sia sottilissimo e

che il canale, almeno nella zona di controllo, sia stretto e lungo. Quest'ultima caratteristica viene brillantemente raggiunta con le moderne tecnologie, ma al prezzo di rendere assai delicato

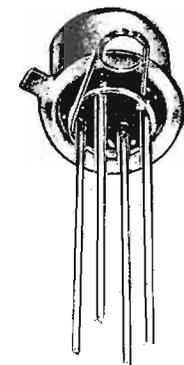


Fig. 6 - Un tempo, quando i transistor MOS non integravano gli zener di protezione, sugli elettrodi del componente veniva applicata una piccola molla di difesa contro le cariche elettrostatiche.

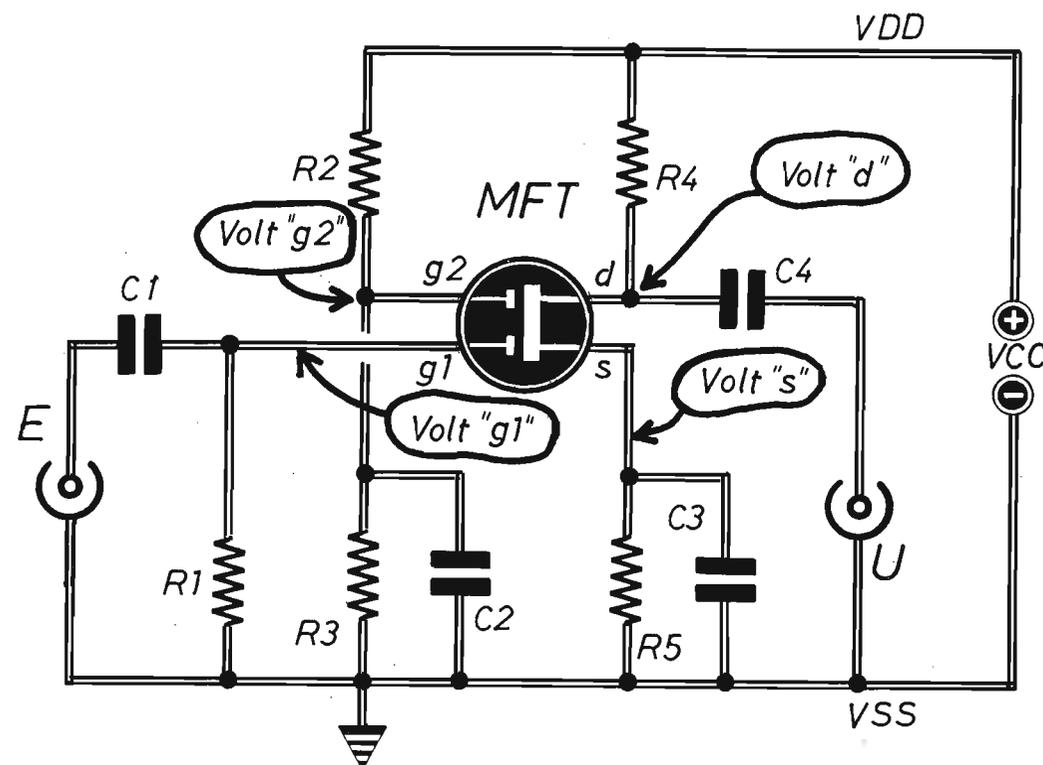


Fig. 7 - Tipico esempio di amplificatore di bassa frequenza impiegante un transistor MOS. L'esatto valore della maggior parte dei componenti va scelto in corrispondenza di quello di alimentazione, che può oscillare tra i 9 Vcc e i 15 Vcc, mentre R2 ed R3 sono identiche.

COMPONENTI

Condensatori

C1 = 10.000 pF ÷ 100.000 pF
 C2 = 100.000 pF
 C3 = 10.000 pF ÷ 100.000 pF
 C4 = 100.000 pF

Resistenze

R1 = 100.000 ohm ÷ 1 megaohm

R2 = 10.000 ohm ÷ 33.000 ohm
 R3 = 10.000 ohm ÷ 33.000 ohm
 R4 = 2.200 ohm ÷ 5.600 ohm
 R5 = 150 ohm ÷ 470 ohm

Varie

MFT = BF960 - 3N139 - 40673
 ALIM. = 9 Vcc ÷ 15 Vcc

l'ingresso del semiconduttore sotto il punto di vista delle scariche elettrostatiche. Perché in pratica possono bastare lievi tensioni, di poche decine di volt, per perforare i dielettrici di gate. Si tenga presente, infatti, che le tensioni elet-

tristatiche possono superare valori di decine di migliaia di volt e che non solo è necessario evitarle, ma è pure doveroso equipaggiare l'elettrodo di gate con opportune protezioni che, come detto più avanti, consistono nell'integra-

zione, nel semiconduttore, di diodi zener e nell'applicazione di resistenze limitatrici. La particolare struttura, a dimensioni microscopiche del MOS, è di tipo orizzontale, cioè source e drain si trovano sulla stessa superficie. Ciò non permette la realizzazione di componenti di potenza, ma soltanto quella degli integrati logici. Anche se è possibile la struttura verticale, con source e gate su una stessa superficie e con il drain su quella opposta, allo scopo di realizzare transistor di potenza come, ad esempio, i PowerMos, che stanno riscuotendo attualmente successi lusinghieri, perché con questi elementi si possono controllare flussi di correnti dell'ordine delle centinaia di ampere, praticamente senza assorbimento sull'elettrodo di gate. Concludiamo qui la parte teorica iniziale, relativa ai transistor MOS, ricordando ancora che questi componenti, ad effetto di campo, agiscono sul controllo della resistenza fra source e drain, rivelandosi dei reostati regolabili con la

tensione di gate, sia per la corrente continua che per quella alternata, sempre che l'ampiezza del segnale non sia tale da rompere il transistor o provocare conduzioni parassite. E ciò li distingue ulteriormente dai transistor bipolari, che presentano una soglia di tensione sul circuito di potenza, ossia necessitano di una tensione, fra emittore e collettore, per poter funzionare. Mentre questa non è indispensabile nei MOS, anche se in certe applicazioni può divenire vantaggiosa.

Il transistor MOS non consuma teoricamente corrente in entrata, nè quando conduce, nè quando è interdetto. Il consumo si manifesta invece durante le commutazioni, a causa della capacità di ingresso che deve essere caricata e scaricata, ma ciò assume importanza soltanto nei MOS di potenza, nei quali la capacità raggiunge valori di migliaia di picofarad. Oppure nelle applicazioni con forte escursione voltaica a frequenze elevatissime.

**ECCEZIONALMENTE
 IN VENDITA
 A SOLE L. 18.500**

**RICHIEDETECI
 L'ANNATA
 COMPLETA
 1987**



Coloro che, soltanto recentemente, hanno conosciuto ed apprezzato la validità didattica di Elettronica Pratica, immaginandone la vastità di programmi tecnico-editoriali svolti in passato, potranno ora aggiungere, alla loro iniziale collezione di riviste, questa annata proposta in offerta speciale a tutti i nuovi lettori.

Richiedeteci oggi stesso l'annata illustrata inviando l'importo anticipato di L. 18.500 a mezzo vaglia postale, assegno bancario o conto corrente postale n° 916205 ed indirizzando a: Elettronica Pratica - 20125 Milano - Via Zuretti, 52.

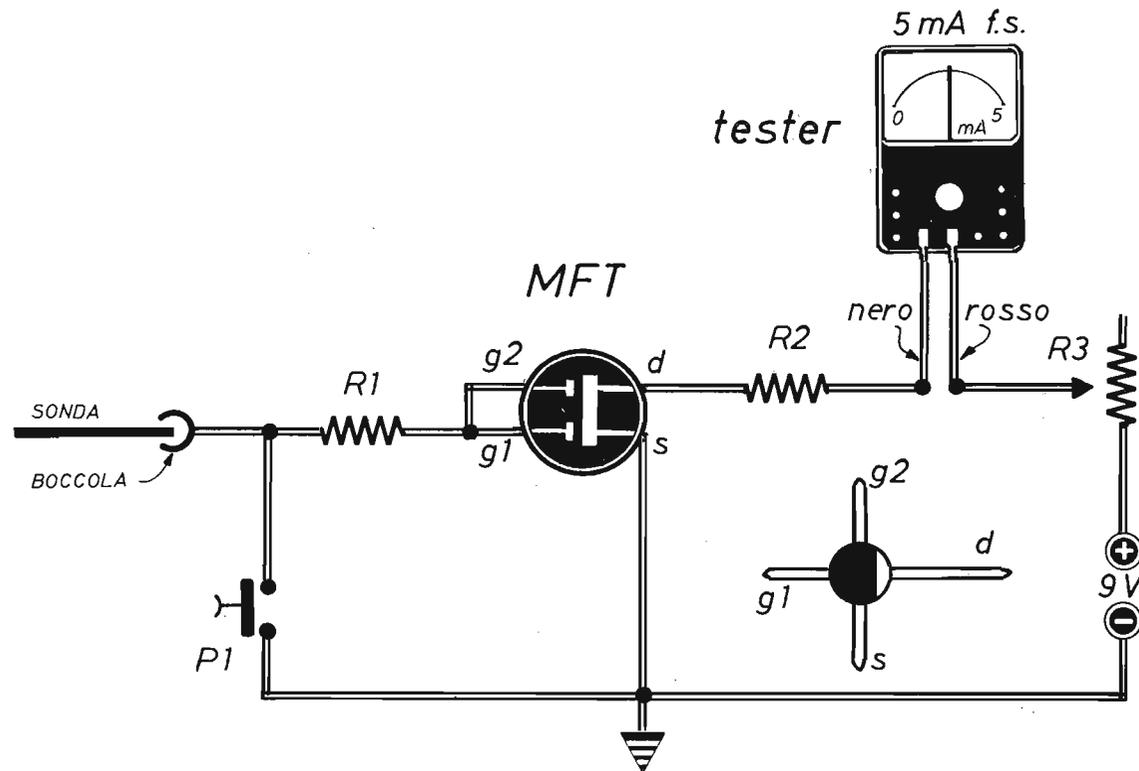


Fig. 8 - Progetto di misuratore di campo in cui è montato un transistor MOS. Con il potenziometro R3 si tara l'indice dello strumento analogico (tester) nella posizione di centro scala e in assenza totale di campi elettrostatici.

COMPONENTI

Resistenze

- R1 = 10.000 ohm
- R2 = 330 ohm
- R3 = 1.000 ohm (potenz. lin.)

Varie

- MFT = BF960
- P1 = pulsante (normal. aperto)
- ALIM. = 9 Vcc

DUE TIPI DI MOS

Oltre che nelle due grandi famiglie di MOS a canale N e MOS a canale P, questo tipo di transistor, così come avviene per tutti quelli ad effetto di campo, conosce ancora una seconda suddivisione nelle due seguenti espressioni:

MOS a svuotamento

MOS a riempimento

La prima, che con termine anglosassone viene chiamata "depletion", è quella che presenta le cariche in assenza di polarizzazione dell'elettrodo di gate. Il che significa conduttività del transistor quando il gate si trova allo stesso potenziale elettrico della source. Pertanto, nei MOS a svuotamento, le cariche elettriche, se di segno opportuno, possono interferire con quelle del canale di conduzione, annullando la corrente o incrementandola, a seconda che esse siano di segno contrario od uguale. E questo è un fun-

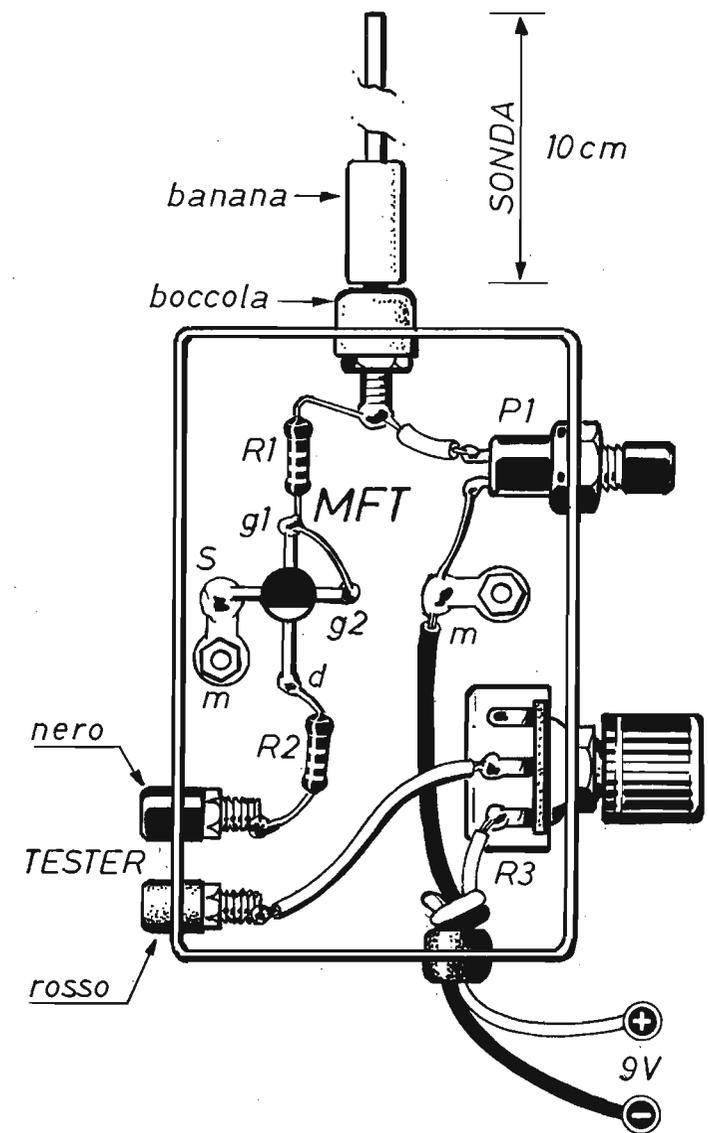


Fig. 9 - Piano costruttivo del misuratore di campo, nel quale il tester può essere sostituito con un milliamperometro da 5 mA f.s. Il transistor MFT rimane sollevato dal fondo del contenitore e meccanicamente irrigidito per mezzo del collegamento source-massa.

zionamento particolarmente vantaggioso per i piccoli segnali. La seconda categoria, quella a riempimento, "enhancement" in inglese, in assenza di polariz-

zazione di gate interdice il canale, che rimane privo di cariche per la conduzione. Mentre quelle indotte dal gate possono avviarla o bloccarla ulteriormente a seconda del segno, ovvero

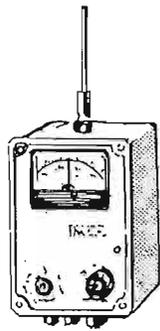


Fig. 10 - Questa composizione del pannello frontale del misuratore di campo, che non riflette quella suggerita dal piano di cablaggio di figura 9, può rappresentare una delle tante versioni accettabili dello strumento.

il transistor presenta una soglia di tensione che, a seconda del modello di MOS, può variare fra 0,5 V e 3 V. E questo comportamento è vantaggioso per le logiche ed i circuiti di potenza.

PARTICOLARITÀ STRUTTURALI

Assai più comune del MOS ad un solo gate, è il modello a doppio gate la cui struttura fisica è interpretata dal disegno a sinistra di figura 2; sulla destra della stessa figura è riportato il simbolo elettrico di questo tipo di MOS, la cui interpretazione circuitale teorica viene offerta dallo schema di figura 3, dal quale si deduce che il secondo MOS, aggiunto al primo, funge da resistenza variabile per il controllo di MFT1 durante il suo lavoro di amplificatore.

E' stato detto che i transistor ad effetto di campo, in tecnologia MOS, debbono avere il gate protetto contro le tensioni elevate incidentali. Tale protezione si ottiene integrando nello stesso componente due coppie di diodi zener in antiserie, come segnalato nello schema di figura 4. Per interpretare il comportamento dei diodi zener in presenza di segnali, sul gate, con tensioni pericolose, basta osservare i due schemi pubblicati in figura 5. Quello a sinistra, infatti, protegge il transistor MOS da segnali positivi di tensione elevata, quello a destra svolge lo stesso compito contro i segnali negativi pericolosi per il gate. Quando nel circuito A perviene il segnale positivo, di valore di tensione superiore ai 10 V, questo subisce una opportuna limitazione da parte dello zener DZ1, che si comporta come un normale diodo al silicio e che, proprio per questo motivo, è stato disegnato con il simbolo corrispondente. Il secondo semiconduttore, in-

vece, ossia lo zener DZ2 svolge le funzioni caratteristiche degli zener da 10 V. Queste stesse osservazioni si estendono al circuito B di figura 5, dove si nota la diversa disposizione dei diodi in presenza di segnale negativo sul gate del MOS.

Un tempo, quando i transistor MOS non integravano i diodi zener di protezione degli elettrodi di gate, la difesa contro le scariche elettrostatiche si effettuava nel modo segnalato in figura 6, mediante l'inserimento di una piccola molla.

Giunti a questo punto, possiamo invitare il lettore a far uso del transistor MOS in due pratiche applicazioni, quella di uno stadio amplificatore, riportata in figura 7 e l'altra, forse più interessante, di un rivelatore di campi elettrostatici. In entrambe il MOS è sempre di tipo a canale N. Perché quelli a canale N sono transistor che conducono meglio, dato che risulta superiore in essi la velocità dei portatori maggioritari.

Nel circuito dell'amplificatore di figura 7, del quale non viene pubblicato il corrispondente schema pratico, il lettore potrà controllare i diversi valori delle tensioni segnalate nel progetto, ricordando che la V_{g2} va rilevata fra il gate $g2$ e la linea di alimentazione negativa VSS, la V_s tra la source e la linea VSS, la V_d fra il drain e la VSS ed infine la V_{g1} fra la source ed il gate 1.

RIVELATORE DI CAMPO

Il semplice progetto pubblicato in figura 8 è quello di un dispositivo rivelatore di campi elettrostatici. Il suo impiego va fatto in quelle situazioni in cui si presume la presenza di linee di forza elettrostatiche provenienti da cariche elettriche statiche positive o negative, onde valutarne, sulla scala di un milliamperometro, la grandezza fisica.

Il circuito di figura 8 è composto da due resistenze, da un potenziometro di tipo a variazione lineare, da un pulsante normalmente aperto e da un transistor MOS. L'alimentazione è derivata da una piccola pila a 9 V, mentre le segnalazioni si possono leggere sul quadrante di un tester, commutato nella funzione di milliamperometro e sulla portata di 5 mA fondo-scala, oppure su apposito strumento di misura per correnti continue della medesima intensità.

La realizzazione del rivelatore di campo si ottiene nel modo segnalato in figura 9, che ne co-

stituisce il piano di cablaggio. Il conduttore sonda è rappresentato da uno spezzone di filo di rame, di un certo spessore e della lunghezza di 10 cm. Su una delle due estremità di questo si fissa uno spinotto, mentre la corrispondente presa, applicata al contenitore metallico del rivelatore di campo, deve identificarsi con una boccia in ceramica.

Il transistor MOS MFT rimane sollevato dal fondo del contenitore tramite il collegamento dell'elettrodo di source (s) con la massa (m).

La figura 10 interpreta un possibile aspetto esteriore del rivelatore di campo; sul pannello frontale dell'apparato sono presenti la scala dello strumento ad indice, il comando di taratura ed il pulsante. Ma questa disposizione pratica dei vari elementi non rispecchia esattamente il sistema di montaggio proposto in figura 9

che, in ogni caso, può essere eseguito a piacere dell'operatore, senza particolari prescrizioni.

Per quanto riguarda la taratura del rivelatore di campo, questa si esegue tenendo la sonda ben lontana da campi elettrostatici e regolando il potenziometro R3 in modo che l'indice dello strumento analogico si stabilisca esattamente al centro-scala, ovviamente dopo aver premuto il pulsante P1.

Per individuare la presenza di campi elettrostatici e valutarne l'entità, si avvicina la sonda al corpo elettrizzato tenendo premuto P1. Se l'indice del milliamperometro si sposta verso destra, ciò starà a significare che ci si trova in presenza di un campo elettrico positivo, altrimenti, spostandosi l'indice verso l'inizio scala, si dovrà dedurre che il campo elettrostatico è di segno negativo.

Raccolta PRIMI PASSI - L. 14.000

Nove fascicoli arretrati di maggiore rilevanza didattica per il principiante elettronico.

Le copie sono state attentamente selezionate fra quelle la cui rubrica "PRIMI PASSI" ha riscosso il massimo successo editoriale con i seguenti argomenti:

- 1° - Trasformatori di bassa frequenza
- 2° - Trasformatori per radiofrequenze
- 3° - La radio circuiti classici
- 4° - Antenne utilità adattamenti
- 5° - Dalla pila alla lampadina
- 6° - Energia tensione corrente
- 7° - Resistenze a valori costanti
- 8° - Resistenze a valori variabili
- 9° - Legge di OHM



Ogni richiesta della RACCOLTA PRIMI PASSI deve essere fatta inviando anticipatamente l'importo di L. 14.000 (nel prezzo sono comprese le spese di spedizione) a mezzo vaglia, assegno o conto corrente postale N. 916205 e indirizzando a: ELETTRONICA PRATICA - 20125 MILANO - Via Zuretti, 52.