

I DIODI TUNNEL

a cura di EFFETI

In questo articolo riportiamo alcune notizie sui diodi tunnel e per meglio conoscere questi componenti diamo una panoramica sulle loro principali applicazioni.

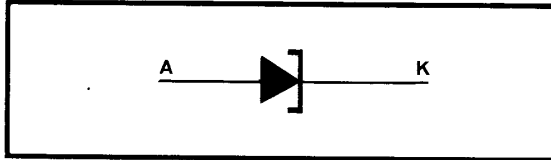


Fig. 1 - Simbolo del diodo tunnel.

Il diodo tunnel è un tipo speciale di diodo al germanio; viene chiamato anche diodo Esaki dal nome del suo inventore.

Come i transistori unigiunzione, i diodi tunnel possiedono una caratteristica di resistenza negativa. Essendo ormai sul mercato da più di dieci anni, questi componenti hanno un elevato numero di applicazioni pratiche in tutti i campi dell'elettronica. L'introduzione dei circuiti integrati ha un po' diminuito l'importanza di questi diodi.

COSTITUZIONE

La costituzione di un diodo tunnel è simile a quella di un normale diodo al germanio. E' necessario però aggiungere al materiale semiconduttore una grande quantità di atomi di impurità. In un diodo classico questo numero varia da 10^{15} a 10^{17} di atomi d'impurità per cm^3 , mentre in un diodo tunnel, il numero aumenta da $1,5 \times 10^{19}$ a $2,5 \times 10^{19}$.

Questo grado di impurità produce uno strato di arresto molto sottile di circa 10 nm.

In fig. 1 è riportata la rappresentazione schematica di un diodo tunnel.

FUNZIONAMENTO

Lo strato d'arresto molto sottile permette ai portatori di cariche rapide di attraversare facilmente la bassissima differenza di potenziale. La barriera di potenziale è per così dire «forata», come per formare un tunnel. La compressione dell'effetto tunnel presuppone uno studio approfondito della fisica dei semiconduttori. In questo articolo però tralascieremo tale studio teorico per occuparci dei risultati pratici.

CARATTERISTICHE

In fig. 2 è riportata la caratteristica corrente/tensione di un diodo tunnel. Come si può vedere, l'an-

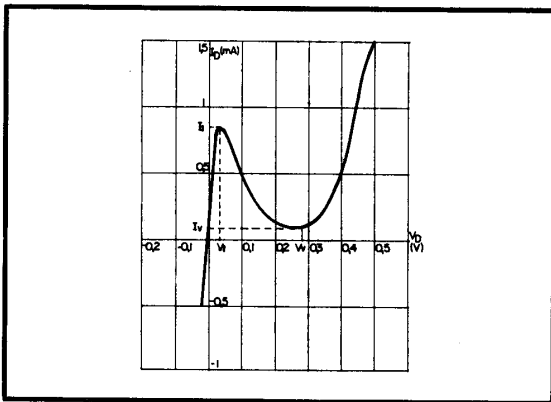


Fig. 2 - Curva caratteristica di un diodo tunnel.

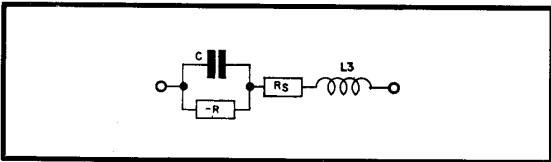


Fig. 3 - Schema equivalente di un diodo tunnel.

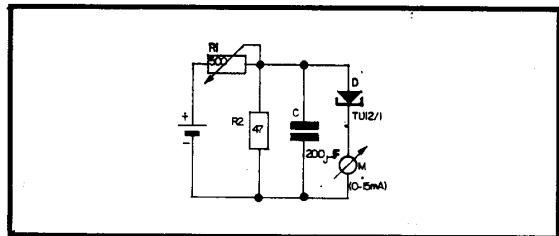


Fig. 4 - Circuito per misurare le caratteristiche di un diodo.

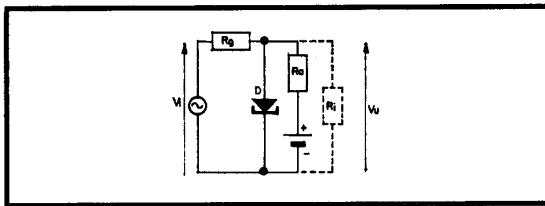


Fig. 5 - Circuito di principio di un amplificatore.

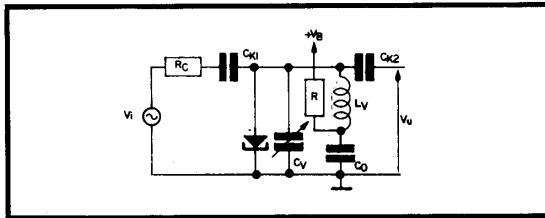


Fig. 6 - Circuito pratico di un amplificatore RF.

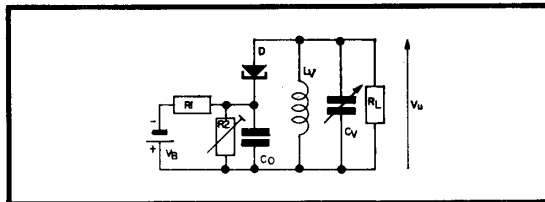


Fig. 7 - Circuito di un oscillatore.

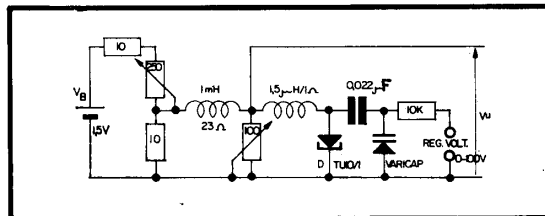


Fig. 8 - Esempio di circuito oscillante comandato da una tensione, nella gamma da 12 a 22 MHz. La capacità del varicap è in parallelo sul circuito risonante.

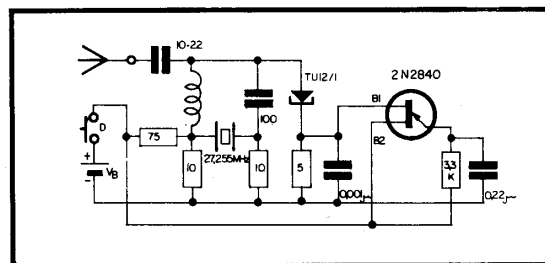


Fig. 9 - Esempio di un trasmettitore miniatura pilota da un quarzo e modulato da un segnale BF dato da un transistor unigiunzione, per mezzo di un pulsante. Questo circuito è particolarmente adatto per il comando di apertura di porte.

damento della curva ha una forma molto curiosa. La regione di funzionamento si trova interamente nella zona passante del diodo. La regione di blocco non è più molto significativa, in quanto a causa della bassa resistenza inversa, non si produce per così dire per effetto del bloccaggio; il diodo si comporta come una normale resistenza con una caratteristica normale. Il comportamento rettilineo si prolunga in senso passante fino al momento in cui la corrente del diodo raggiunge il suo punto di cresta I_T . Oltre questo valore, la corrente I_D diminuisce fino al valore di valle I_V . La parte più importante della caratteristica I_D/V_D è la zona nella quale a un aumento positivo della tensione corrisponde un aumento negativo della corrente: in questo caso il diodo si comporta come una resistenza negativa. In questa regione «tunnel» lo schema equivalente di questo diodo può essere rappresentato come in fig. 3.

In questo circuito $-R$ è la resistenza negativa del diodo, C la capacità del diodo, R_s la resistenza dei fili di collegamento e L_s l'induzione serie.

La resistenza negativa può essere usata per una funzione di amplificazione e di oscillazione. Siccome il passaggio della regione di tunnel si può effettuare praticamente alla velocità della luce, gli effetti del tempo di trasferimento diventeranno fastidiosi solo a velocità altissime cioè a 10^6 MHz.

Ciò spiega perché i diodi tunnel oscillano e amplificano ancora facilmente a frequenze alle quali gli altri elementi semiconduttori non lo fanno già più.

Uno svantaggio dei diodi tunnel è il valore piuttosto ridotto dei valori di tensione e di corrente, e di conseguenza del valore di potenza che resta sempre limitata.

Per il funzionamento stabile del diodo tunnel nella sua parte di resistenza negativa della caratteristica, la resistenza totale in corrente continua della catena di alimentazione deve essere mantenuta inferiore a $-R$.

In fig. 4 è riportato un circuito che permette di misurare la caratteristica del diodo. Per alimentare questo circuito è necessario usare una pila al mercurio con resistenza interna molto bassa. Lo strumento di misura deve avere una sensibilità di corrente di 15 mA massimi a fondo scala. All'inizio della misura, si regola R_1 per il suo valore massimo che verrà ridotto poi lentamente.

La corrente I_p dell'elemento semiconduttore utilizzato è di circa 4 mA e F_T di 0,2 V.

APPLICAZIONI

Grazie alle sue numerose qualità, come le piccole dimensioni, la insensibilità alle variazioni di temperatura, la grande robustezza, il diodo tunnel può essere impiegato in numerosi campi d'applicazione di cui ora vedremo i principali.

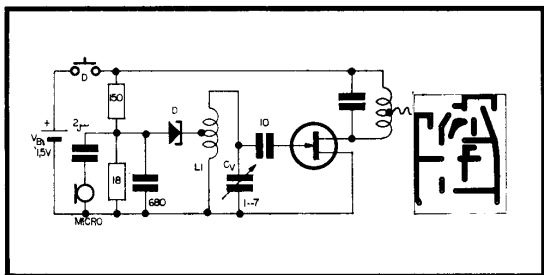


Fig. 10 - Esempio di microfono senza filo per la ricezione in FM con relativo circuito stampato.

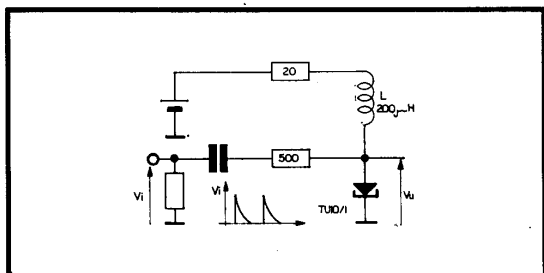


Fig. 11 - Circuito multivibratore monostabile con diodo tunnel.

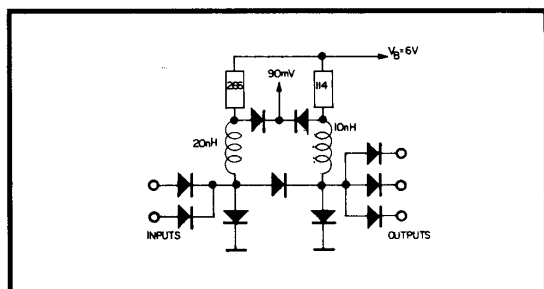


Fig. 12 - Esempio di porta OR.

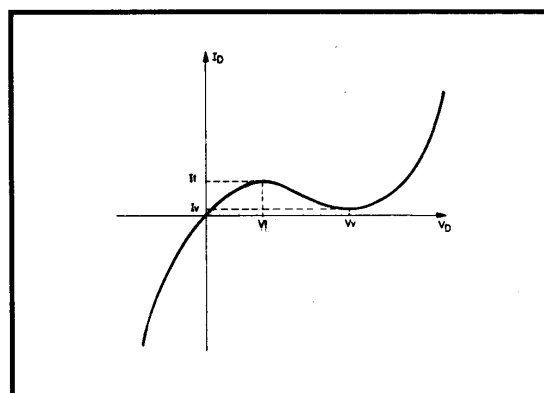


Fig. 13 - Caratteristica di un diodo «Backward».

AMPLIFICATORE

In fig. 5 è riportato lo schema di principio di un amplificatore. La resistenza di carico R_L è formata dal montaggio parallelo della resistenza anodica propriamente detta R_a , della resistenza d'ingresso R_i dello stadio seguente e della resistenza interna R_g della sorgente di segnale. Per un funzionamento stabile dell'amplificatore si deve soddisfare la relazione $R_L < -R$. In fig. 6 è riportato lo schema pratico di un amplificatore di alta frequenza. Come amplificatore, il diodo tunnel, verrà usato in modo particolare in prossimità di sorgenti di radiazioni radioattive e negli amplificatori RF di basso rumore. CK1 e CK2 sono dei condensatori di accoppiamento; Co e R formano invece un filtro di disaccoppiamento per la sorgente di alimentazione.

OSCILLATORE

In fig. 7 è riportato lo schema di un oscillatore. Generalmente il valore della resistenza negativa di un diodo tunnel è di qualche centinaio di ohm. Quando questa resistenza è in valore assoluto maggiore della resistenza (positiva) di smorzamento parallelo, il circuito risonante è smorzato e si genera un segnale oscillante. Se la resistenza di carico è maggiore, il diodo viene allora sistemato su una presa della bobina di sintonia: di conseguenza la resistenza negativa può funzionare in modo più efficace sullo smorzamento del circuito accordato. R1 e R2 formano un divisore di tensione per la sorgente di alimentazione che a sua volta è disaccoppiata dal condensatore C_o .

Nelle figg. 8, 9 e 10 sono riportati degli esempi di applicazione pratica del diodo tunnel come oscillatore.

COMMUTATORE

Il diodo tunnel può anche essere usato come commutatore in quanto presenta grandi possibilità di commutazione, ha un consumo molto limitato e caratteristiche assai stabili.

Per merito delle sue proprietà speciali, il diodo tunnel è usato nei circuiti logici a velocità elevata, nei circuiti di conteggio e nei circuiti destinati a produrre degli impulsi con fianchi molto ripidi.

Nota

I diodi «Backward» usati in pratica sono diodi tunnel con corrente di picco molto bassa (fig.13).

Questi diodi sono usati come diodi RF per basse tensioni. Per questo motivo, la tensione inversa non può superare i 300 mV, altrimenti si perde l'effetto raddrizzatore. Un altro grande vantaggio è l'assenza quasi totale dell'influenza della temperatura.