Professor Roncella - 30 ore - Diodi, circuiti a diodi, BJT Probabile prova in itinere ad aprile, nelle ore del lunedì

Professor Fiori - Circuiti a FET e resistenze viste

Professor Barillano - Filtri oscillatori e circuiti con operazionali

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Diodo

È il componente elettronico più semplice

Parte 1 - Funzionamento dei diodi a giunzione

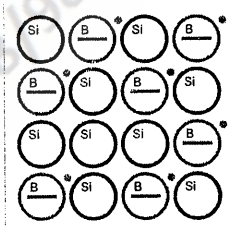
I diodi sono costituiti di materiale semiconduttore, come la maggior parte dei componenti elettronico.
Tra i materiali si distinguono i materiali isolanti, nel quale i legami sono molto forti e gli elettroni, potatori di carica. non sono liberi di muoversi nel reticolo cristallino e poi i materiali conduttori, come i metalli, dove invece gli elettroni formano un unica nuvola elettronica libera di muoversi all'interno del reticolo cristallino. Infine troviamo i **semiconduttori**, materiali che in generale sono poco conduttori ma **dove è possibile indurre la presenza di cariche adatte a trasportare correnti significative**. All'interno di questi materiali è possibile introdurre non solo cariche negative, e quindi non solo ***portatori di carica***, ma anche ***lacune***, zone adatte ad accogliere cariche elettriche e che quindi sono a tutti gli effetti cariche positive. La corrente può essere quindi dovuta a cariche diverse, nel caso in cui queste cariche siano elettroni, abbiamo un ***semiconduttore di tipo n***, altrimenti,se le cariche sono di tipo positivo, abbiamo un ***semiconduttore di tipo p***.

Mettendo a contando a contatto un materiale di *tipo p* e un materiale di *tipo n* si ottiene un ***diodo a giunzione***.

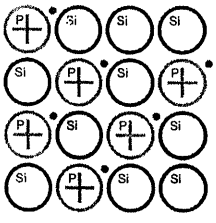
I materiali che possono avere, tipicamente, proprietà di semiconduttori, sono i materiali del quarto gruppo come ***silicio***, ***germanio*** e ***arseniuro di gallio***, oppure composti fatti da atomi del terzo e del quinto gruppo materiali dove tipicamente troviamo mediamente disponibili quattro elettroni liberi per formare legami. Gli effetti semiconduttori sono esaltati nello stato cristallino e quindi si utilizzano in genere cristalli puri, la presenza di distorsioni disturba le proprietà elettriche del sistema.

Nell'elettronica moderna il materiale semiconduttore privilegiato è il ***silicio*** monocristallino, ma per applicazioni particolari troviamo anche altri materiali, come ad esempio il *germanio*. Spesso si trovano miscele di entrambe i materiali, i materiali siglati come SiGe ad esempio utilizzo miscele di silicio e germanio, mentre quelli siglati come SiC usano il carburo di silicio, un semiconduttore costituito da carbonio e silicio che ha proprietà interessanti per realizzare componenti di alta potenza.

Questi materiali puri formano un cristallo dove tipicamente gli elettroni dello stato di valenza sono impegnati a formare un legame covalente con atomi vicini e il materiale puro ha quindi una scarsa conducibilità legata unicamente al fatto che ogni legame chimico avrà una certa probabilità di rompersi per agitazione termica. Quando si spezza un legame, un elettrone si rende libero per trasportare carica elettrica e allo stesso tempo un atomo con un legame libero può accogliere un elettrone che proviene da un altro atomo. Vedo quindi da una parte,cariche elettriche che si spostano ,dall'altra, lacune che si spostano, **entrambe questi meccanismi producono un passaggio di corrente**.



Tipo p, silicio drogato con atomi di boro, i portatori di corrente sono le lacune



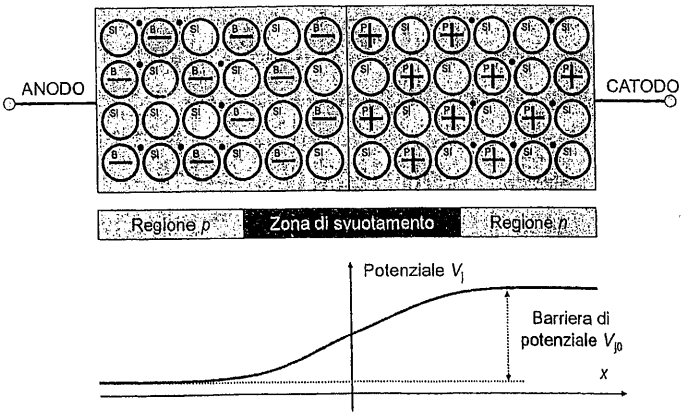
Tipo n, silicio drogato con atomi di fosforo. I portatori di corrente sono gli elettroni.

Nel reticolo cristallino di un semiconduttore è possibile introdurre delle impurezze, ovvero, è possibile introdurre degli atomi di altri elementi diversi da quelli del reticolo. Inserendo degli atomi del terzo o del quinto gruppo si può favorire la concertazione di elettroni o di lacune: un materiale del quinto gruppo ha un elettrone in più rispetto al silicio e che rimane libero dai legami covalenti, debolmente legato all'atomo. introducendo un elemento **donatore del quinto gruppo**, come **boro**, **gallio** e **indio,** nella matrice cristallina del silicio si crea una certa concentrazione di elettroni liberi per condurre. La stesa cosa si può fare introducendo elementi del terzo gruppo, come **fosforo**, **arsenico** e **antimonio**, con un elettrone in meno e che quindi possono funzionare da **accettori** creando di fatto delle lacune.

Usando donatori o accettori è possibile creare semiconduttori dove c'è una carta disponibilità di cariche per condurre energia elettrica. A seconda del tipo di impurezze usate come **droganti** si possono creare semiconduttori di tipo n o di tipo p. I semiconduttori drogati hanno una conducibilità maggiore che può essere decida dal produttore e non dipende più solamente dalla temperatura.
Il drogante all'interno del semiconduttore è uno **Ione carico fisso**.

Giunzione PN

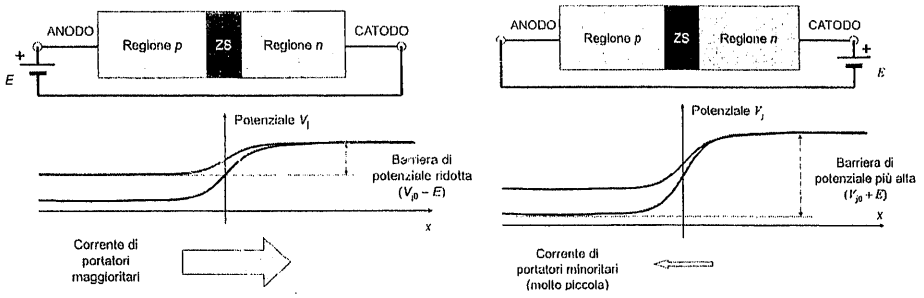
Una giunzione di questo tipo si ottiene mettendo a contatto una materiale semiconduttore di tipo p con uno di tipo n.
Quando questi materiali vengono messi a contatto, lontano alla superficie di contatti si avrà una situazione di equilibrio tipica del materiale, ovvero elettroni liberi e lacune sparse. Vicino all'interfaccia invece, ci sarà attrazione che porta gli elettroni liberi nella parte n a spostarsi nelle lacune della parte p. Questa regione è detta **regione di svuotamento**. Non tutte le cariche si trasferiscono, perché in seguito a questo spostamento si crea un campo elettrico che ad un certo punto impedisce lo spostamento di ulteriori cariche.



Cosa accade in questa struttura se andiamo ad alterare l'equilibrio applicano un ulteriore potenziale da fuori?

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Polarizzazione diretta



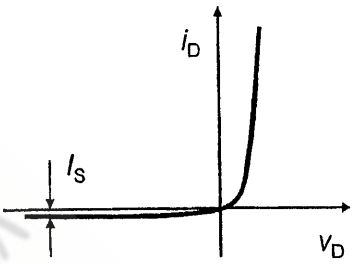
Qual'è il campo elettrico esterno che riesce a far scorrere una corrente significativa?

Applichiamo ai capi del diodo a giunzione un generatore, con il polo positivo sulla regione *p* e il polo negativo sulla regione *n*, metto quindi un capo elettrico che si sottrae a quello della barriera di potenziale e **favorisce quindi la diffusione dei portatori**. I portatori maggioritari vengono spinti verso la barriera e si ha quindi un significativo passaggio di corrente, si dice che il diodo è in **polarizzazione diretta**.
Viceversa se applico un campo elettrico che si somma al campo della barriera, questo fa aumentare la zona di svuotamento, attraggo lacune da una parte e elettroni dall'altra. In questa situazione l'unica corrente che si può creare è quella dovuta alla rottura dei legami tra gli atomi nella zona di svuotamento, fenomeno legato alla temperatura, e che prende il nome di **corrente inversa di saturazione**, il diodo è **interdetto**.

Parte 2 - Funzionamento dei diodi a giunzione

Vediamo quali equazioni governano il funzionamento del sistema diodo. Si arriva ad un'espressione analitica, detta ***Equazione di Schockley***, nelle ipotesi di una concentrazione di carica fatta come nel grafico, che modella con ottima approssimazione il comportamento dei diodi ideali.

$$i_D = I_S\left(e^{\frac{v_D}{\eta V_T}} - 1\right)$$



Vd, ID	tensione e corrente nel diodo
η	fattore di idealità (tra 1 e 2)
Is	corrente inversa di saturazione
VT = kT/q	tensione termica (26.69 mV a 25°C)
k	costante di Boltzmann
T	temperatura assoluta della giunzione
q	carica dell'elettrone

La corrente nel diodo è legata al potenziale ai suoi capi da una legge esponenziale. La corrente nel diodo è una costante I_S per per una funzione esponenziale in cui appare la tensione ai capi del diodo V_D diviso un termine etaV_T.
Immaginiamo adesso di mandare il diodo in zona inversa, V_D sarà negativa e la corrente nel diodo è pari a $-I_S$. Il termine I_S è la corrente inversa di saturazione, dovuta alla rottura dei legami nella zona di svuotamento. Questa corrente è comunque molto bassa, dell'ordine del nanoampere, ed aumenta con la temperatura. V_T è un termine legato all'energia media del sistema ed è quindi legato alla temperatura, la **costante di tensione termica**, 26 millivolt a temperatura ambiente. η è un **fattore di idealità**, la legge analitica ottenuta è una semplificazione della realtà e questo fattore tiene conto di quanto il comportamento reale del diodo si discosti dal comportamento reale. È in genere un fattore piccolo, compreso tra 1 e 2.

Se andiamo a graficare un'espressione di questo tipo, vediamo che passa da zero. Se la tensione è nulla, la corrente è nulla, *è un dipolo che di per se non è un generatore*. Man mano che V_D cresce la corrente cresce molto rapidamente.
Il componente reale di silicio ha un comportamento unidirezionale quasi ideale. Nel terzo quadrante è praticamente un circuito aperto, mentre nel primo è quasi un circuito chiuso che conduce grandi correnti con tensioni relativamente basse.

Tensione di accensione

Il diodo in conduzione viene formalmente assunto con una caduta di potenziale ai suoi capi di 0,7Volt, un valore non legato a condizioni fisiche ma a semplici misurazioni effettuate in condizioni di funzionamento di interesse pratico. La V_D dipende da I_D con legge logaritmica, se la corrente aumenta di 10 volte abbiamo un aumento della caduta di potenziale che comunque si mantiene molto limitata.
Il diodo è tipicamente legato ad una corrente massima che vi può scorrere attraverso. ***La tensione di accensione è misurata come la caduta di potenziale che c'è tra i due terminali del diodo quando questo è attraversato dal 70% della corrente massima che il diodo sopporta***, è frutto di una convenzione, è la tensione per il quale un diodo è acceso con una certa corrente. Per il silicio va tipicamente da 0,5Volt a 0,8Volt. Se il diodo non è fatto di silicio le cose cambiano in modo significativo.

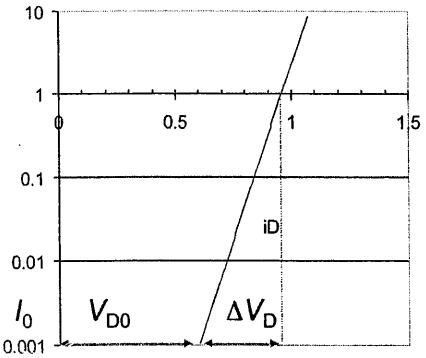
Determinazione dei parametri

Il fattore di idealità può essere trovato facendo la formula inversa dell'equazione di *Schockley*. Si fa per avere un idea di quanto il diodo reale si discosta dal modello di diodo ideale.
L'equazione di tipo esponenziale diventa una retta in un grafico di tipo semilogaritmico, dove la corrente viene indicata su una scala logaritmica e la tensione su una scala lineare. Avendo a disposizione queste misure, vediamo come stimare *eta* e I_S.
Prendo I_0 come riferimento di corrente.
Le decadi di corrente sono uguali al logaritmo in base dieci e quindi verrà dieci elevato a un certo esponente che dipenderà da V_D. Il coefficiente angolare di questo regine è la pendenza di questa retta, 3 decadi diviso ΔV_D. 2,3 è il logaritmo in base *e* di 10.

$$i_D = I_S\left(e^{\frac{v_D}{\eta V_T}} - 1\right) \cong I_S\, e^{\frac{v_D}{\eta V_T}}$$

$$\log\left(\frac{i_D}{I_0}\right) = \frac{V_D}{2.3\cdot\eta V_T} + \log\left(\frac{I_S}{I_0}\right)$$

$$\eta = \frac{\Delta V_D}{3\cdot 2.3\cdot V_T};\quad I_S = I_0\cdot 10^{-\frac{V_{D0}}{2.3\cdot\eta V_T}}$$



$$\frac{dI_S(T)}{dT} \cong I_S(T)\cdot\frac{0.072}{°K}$$

$$I_S(T) = I_S(T_0)\cdot e^{0.072(T-T_0)}$$

$$I_S(T_1) = 2I_S(T_0) = I_S(T_0)\cdot e^{0.072(T_1-T_0)}$$

$$T_1 = T_0 + \frac{\ln(2)}{0.072} = T_0 + 9.627°K$$

Effetti della temperatura

Vediamo adesso come sono legate le grandezze dell'equazione di *Schockley* alla temperatura.
La I_S è legata alla rottura dei legami della zona di contatto della giunzione ed è quindi legata direttamente alla temperatura, secondo una variazione variazione percentuale costante. Vol dire che la variazione della corrente con la temperatura è proporzionale per un termine costante che è tipicamente del 7% per grado per il silicio. Se si integra e si trova una relazione di tipo esponenziale dove T_0 è una temperatura di riferimento. Per comodità invece di ricordare il valore 0,072 si ricava qual'è il salto di temperatura che raddoppia la I_S, che la nuova temperatura è 9.627 °K. La corrente di saturazione inversa raddoppia ogni 10 gradi circa.

$$V_\gamma = \eta \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_0 - I_S}{I_S}\right)$$

$$\frac{dV_\gamma}{dT} = \frac{V_\gamma}{T} + \eta \frac{kT}{q} \frac{I_S}{I_0 - I_S}\left(-\frac{I_0}{I_S^2}\right) I_S \cdot 0.072$$

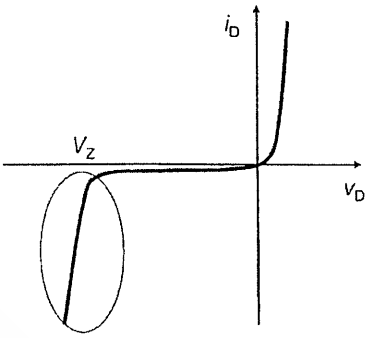
$$\frac{dV_\gamma}{dT} \cong \frac{V_\gamma}{T} - 0.072 \cdot \eta \cdot V_T$$

Vediamo ora che effetti ha sulla temperatura sulla tensione di accensione. Abbiamo definito la tensione di accensione come V_{gamma} e scriviamo la formula inversa dell'equazione di Schockley mettendo I_0 come corrente di riferimento.
Per semplificare, notiamo che alla tensione V_{gamma} il diodo è sicuramente in conduzione quindi la I_S è piccola e si può trascurare e rimane solo una I_S al denominatore.
Il fatto che la tensione V_{gamma} diminuisce con la temperatura fa notare un fenomeno interessante: se si mettono in parallelo due diodi, in teoria la corrente si ripartisce equamente su entrambe i diodi e la corrente che possono sopportare è doppia rispetto a quella del singolo diodo. *Ma se per un motivo qualunque uno dei due diodi si scalda più dell'altro, a parità di tensione la sua corrente aumenta, e quindi la temperatura aumenta ancora. Questo meccanismo da luogo a un comportamento instabile tipicamente distruttivo.* Per poter mettere in parallelo dei diodi si devono prendere accorgimenti particolari, come mettere una piccola resistenza in serie al diodo per bilanciale la diminuzione della caduta di tensione.

Il fenomeno del Breakdown

Quanto la tensione può diminuire senza che il diodo perda le sue proprietà?
Ogni isolante ha una tensione limite oltre il quale questo viene perforato dal campo elettrico. È ragionevole chiedersi allora se anche nel diodo esiste una tensione inversa oltre il quale non si possa più considerare l'approssimazione di circuito aperto.
Oltre una certa tensione negativa, possono accadere vari tipi di fenomeni, a seconda di come è fatto il diodo e dei profili di drogaggio dei materiali:

- Se sono fatti in modo che la zona di svuotamento sia molto sottile, ciò che avviene che per effetto del campo elettrico gli elettroni si spostano comunque superando la barriera di potenziale anche se non hanno un'energia tale da superare l'altezza della barriera. Questo comporta il passaggio di una corrente significativa. Questo effetto è detto **tunnel quantistico (elettroni strappati dal campo elettrico)**.
- Un altro effetto che interviene per tensioni inverse maggiori è quello della rottura dei legami dovuta all'urto delle poche cariche rimaste libere di muoversi. Questo si trovano immerse in un campo elettrico molto forte e se urtano uno ione, da un certo valore del capo elettrico in poi, la probabilità che l'urto produca ulteriore ionizzazione aumenta, e si creano dove lacune e nuovi portatori. Questo effetto, detto **effetto valanga (rottura dei legami per urto)**, è un meccanismo con crescita esponenziale che porta la corrente inversa ad aumentare vertiginosamente per piccoli aumenti della tensione inversa.



Nei diodi normali questo è un fenomeno tipicamente distruttivo. Se invece si vuole utilizzare questo meccanismo si può sfruttare la ripidità della curva inversa per utilizzare il componente come riferimento di tensione, **lo posso usare per creare una sorgente di tensione nota di riferimento**. Diodi progettati appositamente per questo utilizzo si chiamano **diodi zener**, un diodo progettato per lavorare sopratutto nella sua regione di breakdown.

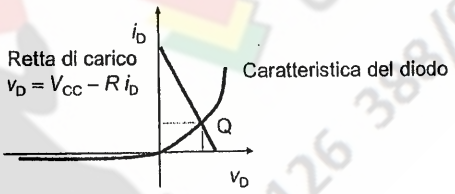
Parte 3 - Ricerca del punto di riposo in circuiti con diodi reali

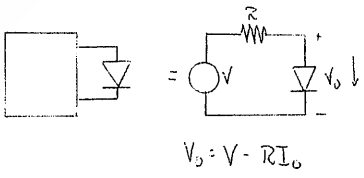
Analisi di circuiti statici in regime permanente, circuiti costituiti da un resistore, un generatore e un diodo. In questo tipo di circuiti possiamo usare la caratteristica del diodo per trovare il punto di riposo.

Metodo grafico

Quella rossa è la caratteristica del diodo ottenuta con l'equazione di *Schockley*.

Esiste un teorema per l'analisi dei circuiti lineari, il teorema di Teverin, che mi assicura che tutto l'oggetto rappresentato come una scatola può essere trasformato in un sistema equivalente costituito da un opportuno generatore e da un opportuno resistore.



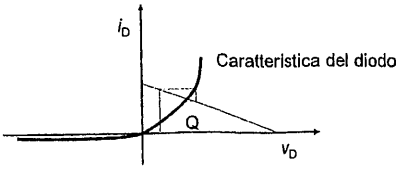


Per risolvere il circuito si scrive l'equazione di Kirchoff a questa unica maglia usando come variabili le grandezze del diodo. L'equazione che si ottiene è un equazione di una retta, detta ***retta di carico***. L'intersezione della retta di carico con la caratteristica del diodo è graficamente il valore del punto di riposo.

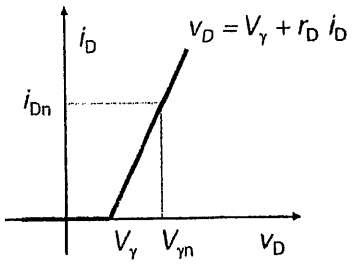
Metodo iterativo

Non cambia molto, devo risolvere un sistema tra due equazioni.
Un approccio analitico prevede la soluzione di un sistema di questo tipo che può essere risolto in un modo iterativo, partendo da una V_D iniziale che è quella tipica di 0,7V. Alla fine troviamo un punto che è quello di riposo. Facciamo iterazioni fin che la differenza tra un tentativo e il successivo è minore di una soglia che ci siamo prefissati.

$$\begin{cases} V_D = V - RI_D \\ I_D = I_S\, e^{V_D/\eta V_T} \end{cases}$$



Questo metodo converge sempre, come mai converge? perché il tentativo iniziale è già molto vicino alla soluzione e, per quanto abbia sbagliato, l'errore è piccolo e a ogni iterazione mi avvicino molto per come è fatta la curva.



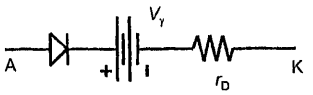
Modello per grandi segnali

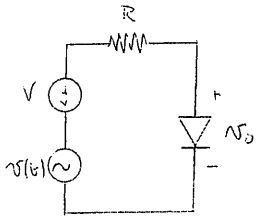
Se stiamo usando il nostro componente in un circuito dove le grandezze variano e variano di tanto è difficile usare i precedenti metodi. Un idea per modellare un diodo in un circuito dove le grandezze variano notevolmente nel tempo è quello di considerare il diodo come praticamente interdetto per tensioni più basse di quella di accensione e praticamente un cortocircuito per tensioni più alte. Nella zona di accensione is può accettare di modellarlo come come una retta la cui pendenza può essere fissata in vari modi, ad esempio andando andando a vedere la pendenza dell'esponenziale al centro della regione di funzionamento.
Approssima l'esponenziale nell'intorno del valore nominale.

In uno schema si usa un diodo ideale, un oggetto unidirezionale che per tensioni inverse non fa passare corrente e per correnti dirette ha tensione nulla. Per modellare l'accensione ci mettiamo un generatore che

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

mantiene il diodo interdetto, e poi la R_D che da la pendenza della curva. Usando questo modello si può avere un circuito linearizzato dove l'unico componente strano è il diodo ideale, ma questo ci aiuta, più facile da gestire.



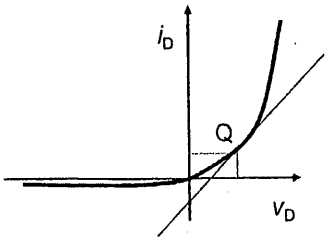


Modello statico per piccoli segnali

Lo scenario in cui il piccolo segnale si presenta è un scenario di questo tipo

Tutto il nostro circuito si riduce a una situazione dove al V si somma una V(t) diversi ordini di grandezza minore dei valori statici presenti. *Un scenario del tutto ragionevole in elettronica: tipicamente l'informazione è contenuta nella piccola perturbazione in questo equilibrio, le condizioni statiche sono pensate per far lavorare i componenti nelle loro regioni migliori ma l'informazione che ci interessa è la piccola variazione.* ***Le grandezze statiche che decidono le condizioni di lavoro dei componenti.***

In questo scenario l'equazione di prima diventa:



$$V_D = v(t) + V - RI_D$$

$$V + v = R(I_D + i_d) + v_d + V_D = RI_D + Ri_d + V_D + v_d(I_D + i_d) - V_D$$

$$v = Ri_d + \frac{v_d(I_D + i_d) - v_d(I_D)}{i_d} i_d = (R + r_d) i_d$$

La soluzione è ancora una retta di carico che, a causa del termine variabile trasla parallelamente a se stessa muovendosi di V(t), l'intersezione diventa *l'intorno* del vecchio punto. Se la variazione della retta di carico dovuto alla V(t) è piccola, il punto di riposo può essere modellato da una legge di tipo proporzionale e quindi possiamo dividere il problema in due parti, potremo trovare la soluzione Q con i metodi già visti e la variazione di Q attraverso la tangente all'esponenziale.

L'equazione del circuito può essere ottenuta anche con i principio di sovrapposizione degli effetti, sommando l'equazione del punto di riposo con quella ottenuta per la perturbazione. Se poi la perturbazione è particolarmente piccola, facendo la derivata si ottiene un'espressione del tutto equivalente a quella della derivata calcolata nell'introno del punto di riposo. Quando si vuole trovare il modello per piccoli segnali si vuole proprio trovare questo rapporto incrementale che dimensionalmente è una resistenza ed è detta **resistenza differenziale**.

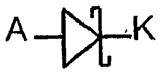
$$r_D = \frac{dv_D}{di_D} \cong \frac{\eta V_T}{i_D}$$

-> Si immagina il circuito come la sovrapposizione di due circuiti, uno statico e uno dinamico con variazioni abbastanza piccole da poter essere considerate come lineari.

Il modello statico del diodo non è altro che una resistenza tanto più piccola quanto più alta è la polarizzazione diretta.

Parte 4 - Diodi particolari

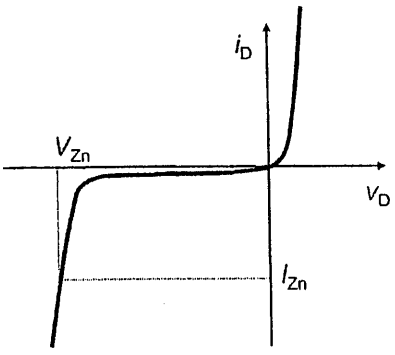
Diodi schottky

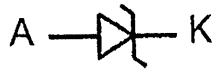


Questi diodi godo della proprietà di essere unidirezionali come i diodi al silicio, tuttavia presentano anche alcune caratteristiche che li rendono interessanti per alcune applicazioni. Sono diodi più semplici costruiti accoppiando un metallo con un semiconduttore di *tipo n*, il dispositivo è tipicamente **molto più veloce** perché la diffusione dei portatori maggioritari nel metallo è più veloce che nei semiconduttori. In un diodo a giunzione i portatori maggioritari diffondono nell'altro semiconduttori dove però sono minoritari e si crea un accumulo di accumulo di elettroni nella parte p. Se il diodo improvvisamente si interdice, l'eccesso di portatori determina una piccola corrente che non permette l'interdizione del diodo, sono quindi generalmente più lenti. Sono caratterizzati anche da una **tensione di accensione molto bassa**, tipicamente **0,3Volt**.

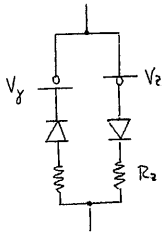
Diodi Zener

Questo tipo di diodi sfrutta un meccanismo che generalmente nei diodi si cerca di evitare. Nel normale diodo da una certa tensione negativa in poi ritorna a scorrere corrente, che può essere anche elevata, con una tensione praticamente costante. Questo fenomeno può essere sfruttato da questi diodi per essere impiegati come riferimenti di tensione. È quindi un oggetto appostiate progettato per lavorare nella propria zona di breakdown.





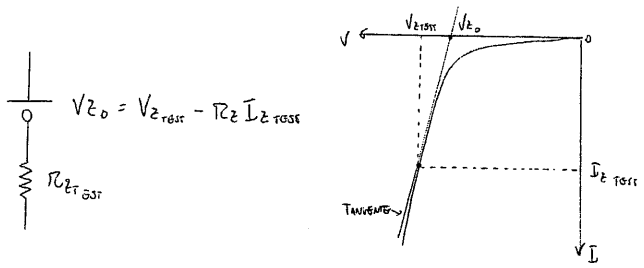
Tipicamente, nel datasheet del componente, il produttore ci da la resistenza differenziale, un utile parametri poiché più bassa è la resistenza e migliore è lo Zener perché questo vuol dire che la curva caratteristica è più verticale. Viene anche indicato il valore di tensione dove la curva ha il "ginocchio", il punto con derivata +1, serve per capire quando inizia il fenomeno.



Il modello dello Zener si compone di un diodo normale in parallelo ad un altro diodo con un generatore in serie rivolto nella direzione dello zener. Normalmente avremo quindi due resistenze differenziali da indicare

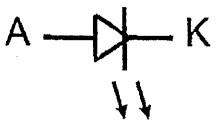
$$V_Z = V_{Zn} - I_{Zn} r_Z$$

$$V_{\gamma 0} = V_\gamma - I_D r_D$$



Se si lavora nella zona di breakdown il circuito si semplifica, la parte del diodo normale sparisce, il diodo dello zener è sempre in conduzione e il circuito si riduce a *un dipolo costituito costituito da un resistore e un generatore che* ***in quella zona*** *coincide al modello dello zener.*
In un modello per grandi segnali questo fenomeno è valido. Stabiliamo una corrente I_Z maggiore della corrente di ginocchio per cui questo modello si ritiene valido. solitamente si prende una corrente di almeno quattro volte quella di ginocchio.

Diodo LED



Quando in un diodo si applica un tensione diretta i portatori diffondo nella sezione in cui sono minoritari superando una barriera di potenziale ma, tutte le volte che un elettrone fa un salto energetico, siccome il bilancio deve essere nullo, questa energia si dissipa in calore nei normali diodi. Nei LED questa energia viene invece dissipata sotto forma di fotoni e quindi si emette luce. I diodi al silicio emettono tipicamente radiazioni nel campo dell'infrarosso mentre nei LED, costituiti da particolari miscele di materiali che permettono di cambiare la barriera di potenziale, si può cambiare la lunghezza d'onda emessa per renderla visibile. Hanno una tensione di breakdown molto basa e hanno una tensione diretta molto alta.

Parte 5 - Aspetti energetici

I diodi, come anche nei resistori, se sono attraversati da corrente dissipano energia sotto forma di calore per effetto Joule. Vediamo di capire come le grandezze elettriche che entrano in gioco durante il funzionamento del diodo, influiscono sulla dissipazione di potenza.
Per fare le nostre considerazioni si deve necessariamente considerare un diodo reale perché il diodo ideale non dissipa energia. Il diodo ideale infatti può essere considerato come un cortocircuito una volta entrato in conduzione e quindi si ha una tensione ai capi $V_D = 0$ che porta la potenza ad annullarsi. ***Il diodo è idealmente un componente non dissipativo***. Ci preoccuperà il comportamento in conduzione diretta, perché la corrente che scorre in un diodo interdetto è estremamente piccola e quindi la potenza è altrettanto piccola. Partiamo sempre dalla formula

Potenza dissipata nei diodi

Per il calcolo della potenza torna utile il modello per grandi segnali. Se sostituiamo al diodo il dipolo costituivo dal generatore e dal resistore, durante la conduzione abbiamo che la potenza dissipata si deve a due fattori: ci sarà **una quota dovuta alla tensione di accensione** e **una quota dovuta alla I_D** che può variare nel tempo. Se la corrente nel diodo è una grandezza che varia velocemente si va a considerare il valore medio che è quello che va dissipato. Picchi di potenza della durata di pochi microsecondi potrebbero non avere conseguenze. Ci interessa invece capire che temperatura si raggiunge a regime e quindi la potenza media dissipata, calcolata come la componente resisteva per il valore efficace al quadrato della corrente nel diodo.

$$v_D = V_\gamma + r_d i_D$$

$$P_D = v_D\, i_D = V_\gamma\, i_D + r_d\, i_D^2$$

Trasmissione del calore

Per la gestione del calore si valuta la temperatura massima che il componente è in grado di smaltire. Per riuscire a fare queste valutazioni il produttore fornisce il comportamento termico del componente e ci indica la **resistenza termica** che presenta il componente tra la giunzione e la superficie del componente.

$$P_D = \frac{T_J - T_C}{\theta_{JC}} = \frac{T_C - T_A}{\theta_{CA}}$$

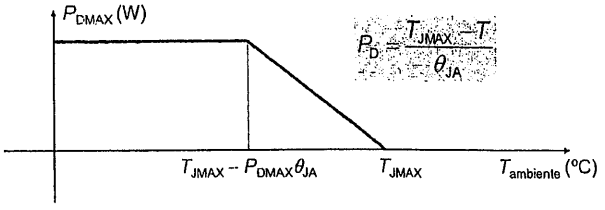
$$P_D = \frac{T_J - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CA}}$$

questo rapporto è circa costante. Il salto di temperatura è proporzionale alla potenza termica che si riesce a far passare. oltre a questi parametri è possibile introdurre anche la resistenza termica tra ambiente e superficie del componente. Per ridurre quest'ultima si possono utilizzare accessori appositi, come i dissipatori, che permettono di ridurre la resistenza termica tra componente ambiente che permettono di ***mantenere la temperatura di giunzione sotto le soglie massime***.

La potenza dissipata sarà uguale al salto di temperatura diviso resistenza termica e questo calore arrivato al contenitore dovrà passare all'ambiente. L'equazione finale ci dice che le due resistenze, quella giunzione-contenitore e quella contenitore-ambiente, si possono considerare in **serie**. **La potenza dissipata è uguale al santo di temperatura tra giunzione e ambiente diviso la somma delle due resistenze**. Questo è utile per progettare i dissipatori e vale per i diodi ma anche per tutti i componenti elettronici.

Potenza massima dissipabile

Se con al resistenza termica totale si supera la temperatura di giunzione, si deve necessariamente ridurre la potenza dissipata. Se la temperatura ambiente è bassa si può contare su un salto maggiore ma se la temperatura ambiente sale, si deve diminuire la potenza. **C'è un limite intrinseco alla massima potenza dissipabile legata alla massima corrente che i componenti sono in grado di sopportare**.



Circuiti di segnale a diodi

Con i diodi è possibile implementare **circuiti senza memoria** ovvero circuiti dove dato l'ingresso l'uscita è determinata univocamente. Il circuito può essere schematizzato come un blocco con due terminali di ingresso dove viene applicata una grandezza elettrica in ingresso e due terminali di uscita dove sarà possibile leggere una tensione o una corrente che è il risultato di un elaborazione. Spesso capita che tra ingresso e uscita ci sia un terminale a comune, preso come riferimento. Un sistema elettronico senza memoria può essere ben caratterizzato per mezzo della sua **caratteristica di trasferimento**, ovvero una funzione che lega le grandezza di entrata a quelle di uscita.

