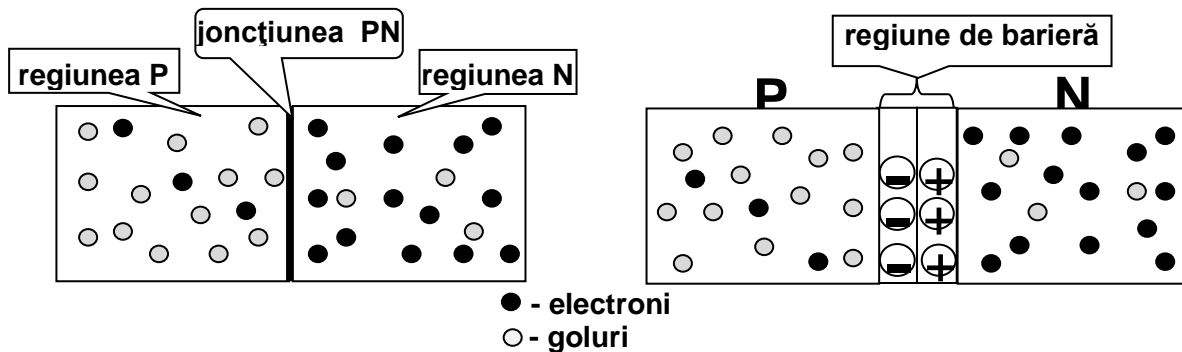


CAPITOLUL 2. JONȚIUNEA PN.

2.1 REALIZAREA JONȚIUNII PN

Dacă dopăm o jumătate dintr-un cristal de siliciu cu impurități trivalente, iar cealaltă jumătate cu impurități pentavalente se obțin două regiuni vecine cu tip diferit de impurificare, o regiune de tip p și o regiune de tip n .

Jonțțiunea PN reprezintă zona de contact dintre două regiuni vecine, una de tip P și una de tip N , create într-un monocristal pur (fig.2.1 a).



a. Structură PN inițială

b. Formarea regiunii de barieră

Figura 2.1 Structura semiconductorului în care s-a creat o jonțțiune PN

La formarea jonțțiunii PN electronii din regiunea N tind să ocupe golurile din regiunea P și difuzează prin jonțțiune. Deoarece prin plecarea electronilor rămâne un surplus de sarcini electrice pozitive în vecinătatea jonțțiunii spre regiunea N se creează un spațiu încărcat cu sarcini pozitive (ioni pentavalenți) (fig.2.1 b). În același timp golurile din regiunea P se combină cu electronii care au străpuns jonțțiunea. Prin sosirea electronilor apare un surplus de sarcini electrice negative iar în vecinătatea jonțțiunii spre regiunea P se creează un spațiu încărcat cu sarcini negative (ioni trivalenți) (fig.2.1 b).

Cele două zone cu sarcini pozitive și negative formează **regiunea de barieră**.

Aceste procese se desfășoară până când sarcina negativă totală din regiunea de barieră împiedică alți electroni să mai difuzeze prin această regiune (apare fenomenul respingere a sarcinilor electrice de același potențial).

În regiunea de barieră între sarcinile pozitive și negative apare un câmp de forțe numit **câmp electric intern**. Diferența de potențial al câmpului electric intern se numește **potențial de barieră** (V_p - tensiune de prag) și se exprimă în **voltți**.

Câmpul electric intern din regiunea de barieră se comportă ca o barieră în calea electronilor care tind să traverseze regiunea.

Valoarea tensiunii de prag depinde de materialul din care este construit cristalul de semiconductor:

- în cazul siliciului tensiunea de prag este de aproximativ 0,6 – 1,2 V;
- în cazul germaniului tensiunea de prag este de aproximativ 0,2 – 0,6 V.

Pentru ca electronii să poată străbate regiunea de barieră, trebuie să li se furnizeze energie din exterior, care se face prin polarizarea joncțiunii PN.

2.2 POLARIZAREA DIRECTĂ A JONCȚIUNII PN

Prin **polarizare** se înțelege aplicarea unei tensiunii continue la capetele celor două regiuni. La **polarizarea directă** borna **plus (+)** a sursei de alimentare se conectează la regiunea **P** a joncțiunii PN iar borna **minus (-)** a sursei se conectează la regiunea **N** a joncțiunii PN. Joncțiunea se conectează în serie cu un rezistor **R** care limitează valoarea curentului prin circuit pentru a nu deteriora joncțiunea.

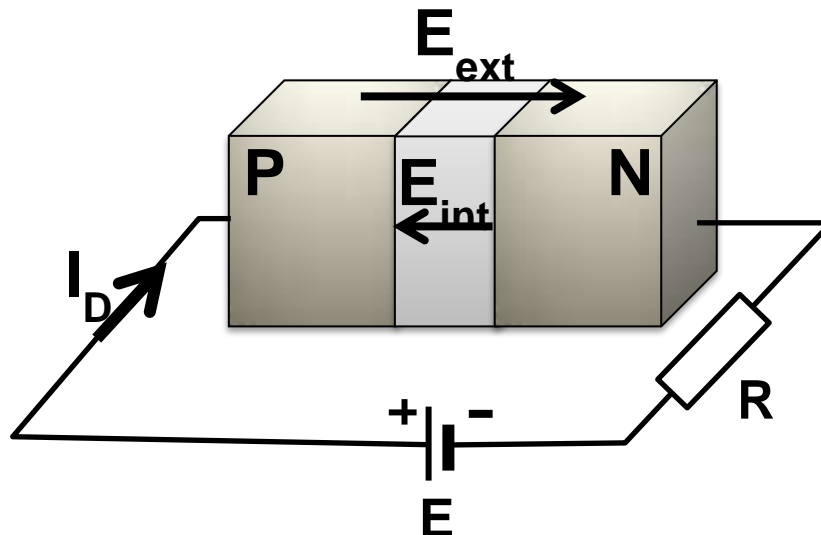


Figura 2.2 Polarizarea directă a joncțiunii PN

Atât timp cât valoarea tensiunii sursei de alimentare **E** este mai mică decât tensiunea câmpului electric intern **E_{int}** prin joncțiune nu circulă curent (joncțiunea este blocată). Când tensiunea de polarizare depășește valoarea tensiunii de prag a joncțiunii se creează un câmp electric extern **E_{ext}** care străbate joncțiunea de la **P** la **N** și care este contrar câmpului electric intern al joncțiunii. Astfel joncțiunea PN este parcursă de un curent direct **I_D** dinspre regiunea **P** spre regiunea **N**, curent care crește exponențial cu tensiunea aplicată joncțiunii. În **figura 2.4** sunt prezentate câteva situații practice de polarizare a joncțiunii PN unde se observă cum crește valoarea curentului prin joncțiune la creșterea valorii tensiunii de alimentare a joncțiunii.

La polarizarea directă a joncțiunii PN fenomenele se desfășoară astfel (**fig.2.3**):

- **Minusul sursei** de alimentare fiind conectat la regiunea negativă **N respinge electronii** (care sunt sarcini negative și purtători majoritari în regiunea N) din regiunea **N** spre regiunea **P** (se formează **curentul de electroni**). Tot borna negativă a sursei de alimentare injectează un flux continuu de electroni către regiunea negativă **N** prin circuitul exterior;
- Sursa de alimentare oferă electronilor din regiunea **N** suficientă energie ca aceștia să străbată regiunea de barieră și să ajungă în regiunea **P**. Când electronii liberi ajung în această regiune nu mai au suficientă energie să se combine cu golurile din regiunea **P** și sunt atrași de borna pozitivă a sursei de alimentare. Pe măsură ce electronii părăsesc regiunea **P** și se îndreaptă spre borna pozitivă a sursei de alimentare prin circuitul exterior, în regiunea **P** numărul de goluri crește;
- Golurile din regiunea **P** străbat joncțiunea PN și ajung în regiunea **N** (se formează **curentul de goluri**). Deoarece numărul de goluri care străbat joncțiunea este mai mare decât numărul de electroni curentul de goluri formează curentul direct I_D care străbate joncțiunea PN de la P spre N;
- În concluzie, **joncțiunea PN la polarizare directă este străbătută de un curent direct de la regiunea P spre regiunea N**;
- Deoarece numărul de electroni și goluri care pătrund în zona de barieră cresc, scad numărul de ioni pozitivi și negativi din zona de barieră (electronii se combină cu golurile). Această scădere duce la îngustarea regiunii de barieră și produce la capetele joncțiunii PN o cădere de tensiune egală cu potențialul de barieră (tensiunea de prag).

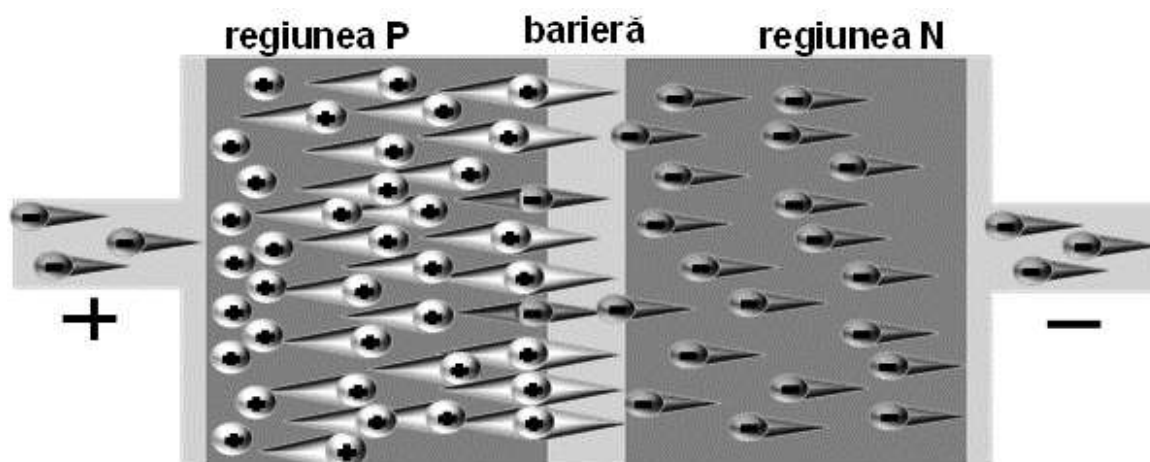


Figura 2.3 Deplasarea fluxurilor de purtători la polarizarea directă a joncțiunii PN

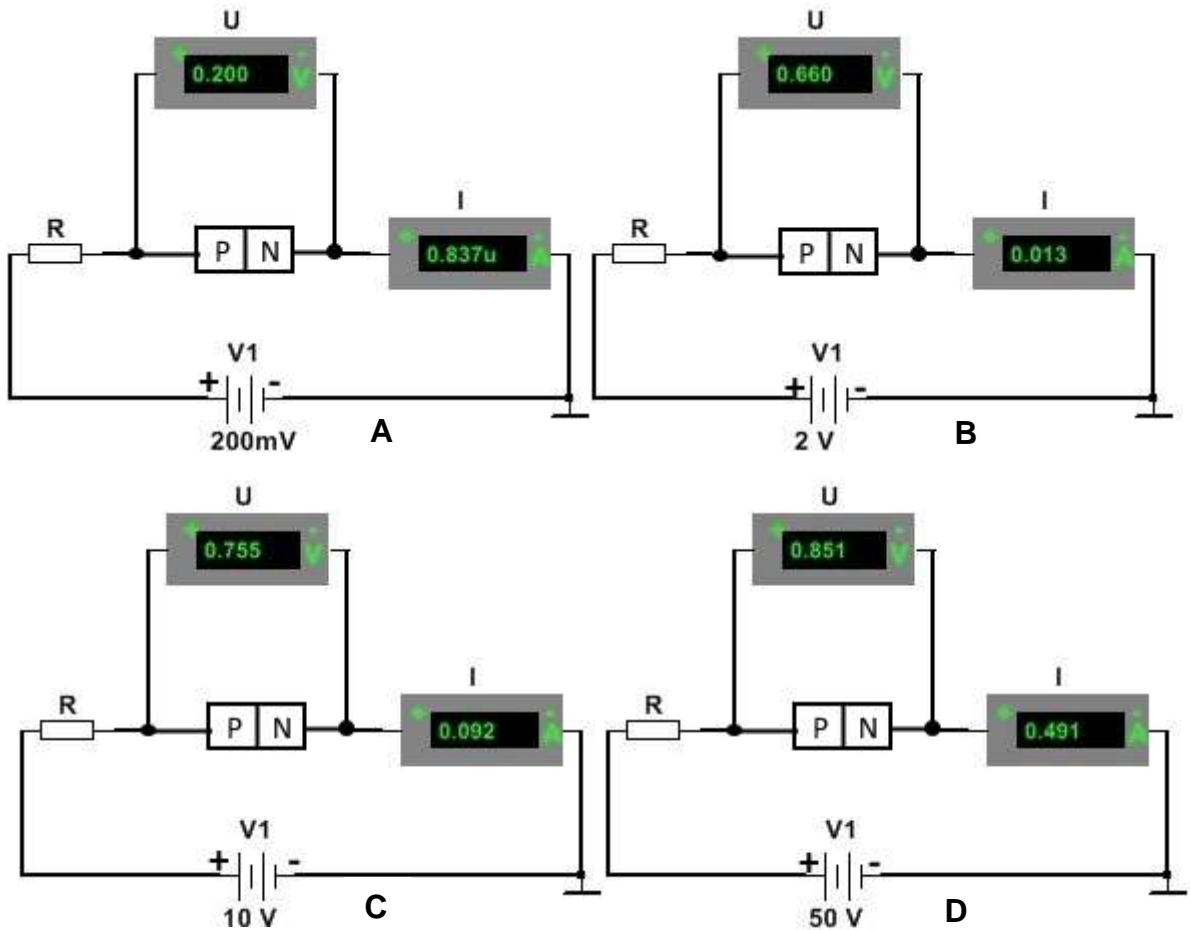


Figura 2.4 Măsurarea tensiunii și a curentului la polarizarea directă a joncțiunii PN

Prin reprezentarea grafică a valorilor obținute în montajele din figura 2.4 se obține **caracteristica statică** a joncțiunii PN pentru polarizarea directă (fig. 2.5).

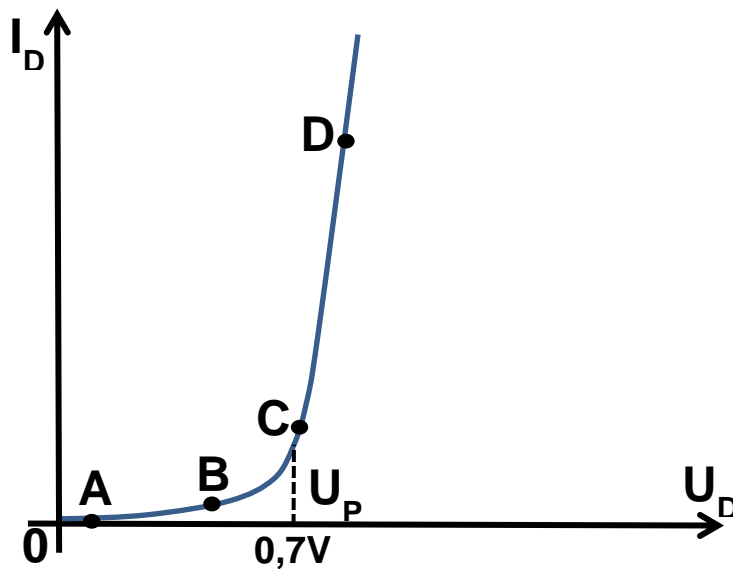


Figura 2.5 Caracteristica statică a joncțiunii PN pentru polarizarea directă

2.3 POLARIZAREA INVERSĂ A JONȚIUNII PN

La **polarizarea inversă** borna **plus (+)** a sursei de alimentare se conectează la regiunea **N** a jonții PN iar borna **minus (-)** a sursei se conectează la regiunea **P** a jonții PN. Jonținea se conectează în serie cu un rezistor R care limitează valoarea curentului prin circuit pentru a nu deteriora jonținea.

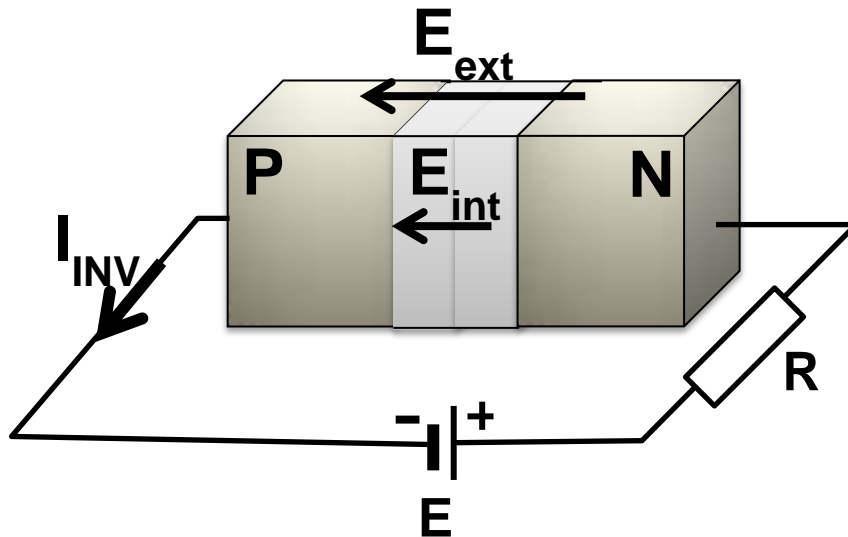


Figura 2.6 Polarizarea inversă a jonții PN

La polarizarea directă a jonții PN borna pozitivă a sursei de alimentare atrage electronii din regiunea N spre capătul din dreapta a regiunii iar în regiunea de barieră spre regiunea N apar ioni pozitivi suplimentari. În același timp borna negativă a sursei de alimentare generează electroni liberi care se deplasează prin regiunea P spre regiunea de blocare unde creează un surplus de ioni negativi.

În acest mod crește lățimea zonei de blocare iar purtătorii majoritari scad semnificativ până când potențialul regiunii de blocare ajunge la valoarea tensiunii sursei de alimentare E . Din acest moment curentul prin jonție dispăre aproape complet, cu excepția unui curent invers foarte mic.

În concluzie, polarizarea inversă a jonții PN determină apariția unui câmp electric extern E_{ext} mai mare și de același sens cu câmpul electric intern E_{int} , care se îndreaptă de la zona **N** spre zona **P**, care împiedică deplasarea purtătorilor de sarcină majoritari dar favorizează deplasarea purtătorilor de sarcină minoritari. Acești purtători de sarcină prin deplasarea lor formează **curentul invers** care este foarte mic și este independent de valoarea tensiunii de alimentare. Valoarea curentului invers depinde numai de temperatura jonții.

În **figura 2.7** sunt prezentate câteva situații practice de polarizare inversă a joncțiunii PN iar în **figura 2.8** este prezentată caracteristica statică a joncțiunii PN pentru polarizarea inversă.

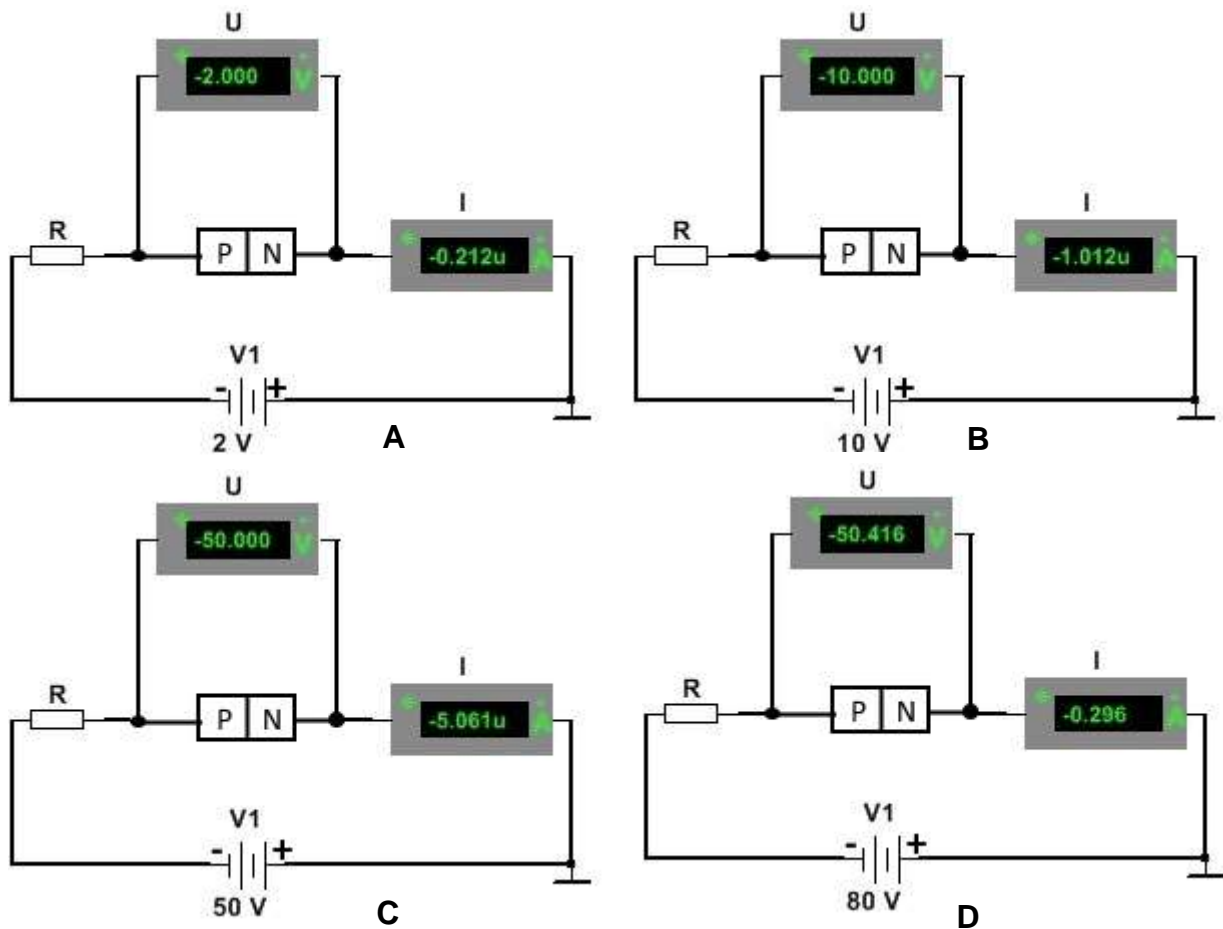


Figura 2.7 Măsurarea tensiunii și a curentului la polarizarea inversă a joncțiunii PN

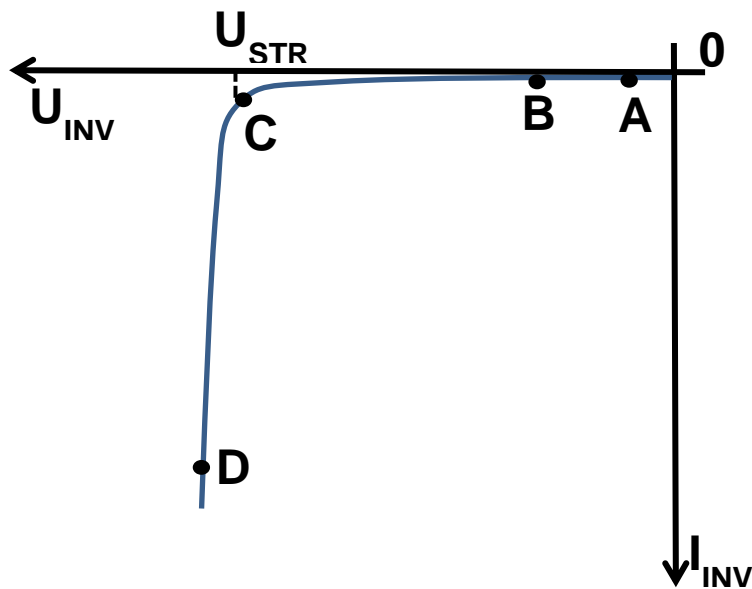


Figura 2.8 Caracteristica statică a joncțiunii PN pentru polarizarea inversă

U_{STR} – reprezintă tensiunea inversă de străpungere a joncțiunii PN (în acest caz 50V)

În **figura 2.9** este reprezentat graficul caracteristicii statice complete a joncțiunii PN.

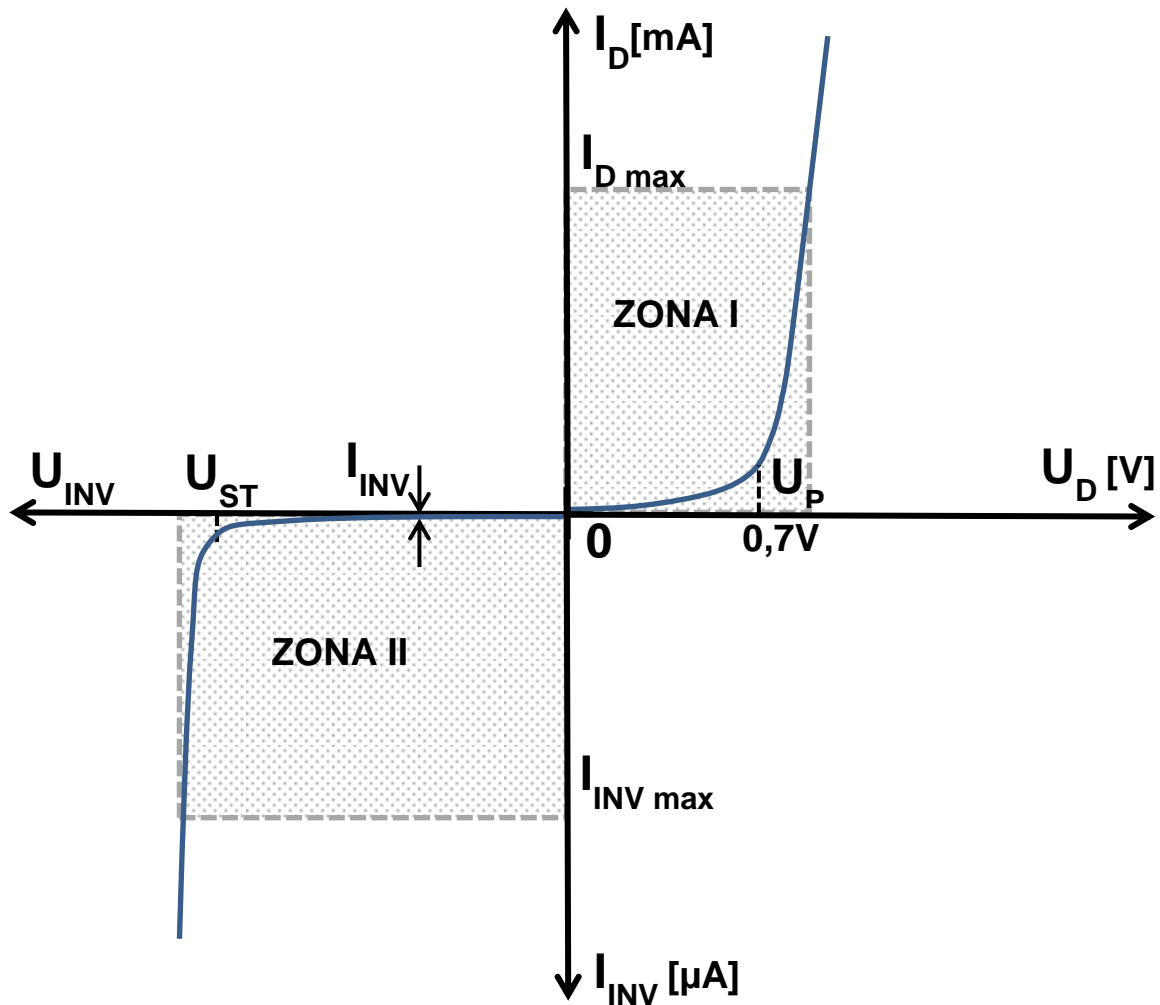


Figura 2.9 Caracteristica statică a joncțiunii PN

Caracteristica statică a joncțiunii PN este reprezentarea grafică a relației tensiune – curent ce caracterizează această joncțiune. În **figura 2.9** este reprezentat graficul complet al caracteristicii statice în ambele situații de polarizare.

ZONA I – corespunde polarizării directe când joncțiunea PN permite trecerea curentului electric prin ea. Joncțiunea se deschide și permite trecerea curentului electric când tensiunea pe joncțiune depășește tensiunea de prag (**U_p**).

În această zonă de funcționare joncțiunea are următoarele caracteristici:

- Tensiunea la bornele joncțiunii este aproximativ constantă în jurul valorii tensiunii de prag și nu crește odată cu tensiunea de alimentare;
- Curentul prin joncțiune are valoare mare și este dependent de valoarea rezistorului conectat în serie cu joncțiunea;
- Rezistența electrică a joncțiunii este foarte mică.

ZONA II – corespunde polarizării inverse când joncțiunea PN nu permite trecerea curentului electric prin ea. Joncțiunea este blocată iar curentul care circulă prin joncțiune este foarte mic și depinde doar de temperatura joncțiunii și natura semiconductorului. Acest curent numit și **curent invers** este de ordinul nanoamperilor (10^{-9} A) pentru Si și de ordinul microamperilor (10^{-6} A) pentru Ge. În această zonă de funcționare joncțiunea are următoarele caracteristici:

- Tensiunea la bornele joncțiunii este aproximativ egală cu valoarea tensiunii de alimentare crește odată cu aceasta;
- Curentul prin joncțiune are valoare foarte mică și nu depinde de valoarea tensiunii de alimentare atâ timp cât acesta nu depășește valoare tensiunii de străpungere a semiconductorului;
- Rezistența electrică a joncțiunii este foarte mare.

La extremitățile celor două zone se găsesc zonele care limitează funcționarea joncțiunii PN în parametri normali, astfel:

- La extremitatea zonei I când joncțiunea este polarizată direct dacă se depășește **valoare curentului direct maxim ($I_D \text{ max}$)** joncțiunea se supraîncălzește și se distruge. Pentru a preveni această situație se calculează corect rezistența și puterea electrică a rezistorului care se conectează în serie cu joncțiunea. Această valoare se calculează în funcție de valoarea tensiunii de alimentare și a curentului maxim admis prin joncțiune;
- La extremitatea zonei II când joncțiunea este polarizată invers dacă se depășește **valoare tensiunii de străpungere (U_{ST})** curentul prin joncțiune crește foarte mult fapt care duce la supraîncălzirea și distrugerea joncțiunii. Pentru a preveni această situație se urmărește ca valoarea tensiunii de alimentare să nu depășească valoarea tensiunii de străpungere pentru care a fost proiectată joncțiunea, în situația în care joncțiunea este polarizată invers.