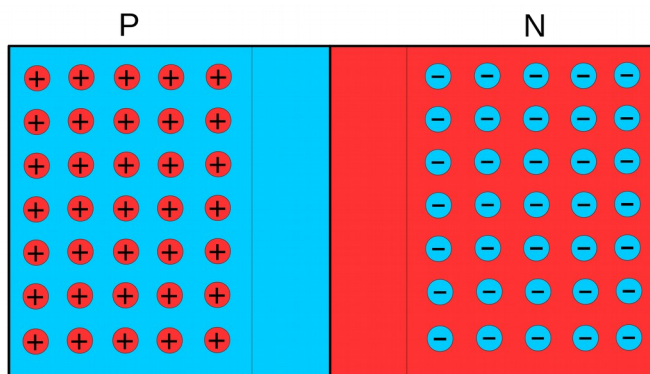


A DIÓDA

Szennyezőanyagok adalékolásával egy félvezetőkristályt egyik oldalon akceptor, a másik oldalon donor atomokkal N, illetve P típusúvá lehet alakítani. P-típusú szennyező anyagok 3 külső elektronnal rendelkeznek, ilyen a bór, az alumínium, a gallium és az indium, az N-típusú szennyezők pedig 5 külső elektronnal rendelkeznek, ilyen a foszfor, az arzén és az antimon.

A kristály kívülről villamosan semleges, kémiaiilag homogén. Azonban villamosan nem egyenmő, hiszen egyik oldalon a lyukak, másik oldalon az elektronok vannak túlsúlyban, mint mozgékony töltéshordozók.



Kiürített (vagy
tértöltés) rétegek

● elektronok
● lyukak

1. ábra A PN-átmenetben létrejött kiürített réteg

A többségi töltéshordozók az átmenet környezetében átdiffundálnak a túloldalra. A mozgóképes töltések diffúziója után helyhez kötött, ám ellensúlyozatlan töltések maradnak az átmenet két oldalán. Egyensúlyi állapotban a többségi töltéshordozók diffúziós árama azonos nagyságú a kisebbségi töltéshordozók sodródási áramával.

Az ellensúlyozatlan töltések hatására megszűnik a semlegesség, töltéshordozóktól kiürített réteg, vagy más néven tértöltésréteg jön létre az átmenetnél, mely elektromos erőteret eredményez. A PN-átmeneten a kialakult elektromos erőter hatására, egyensúlyban létrejön egy beépített feszültség, az úgynevezett diffúziós potenciál.

Az ideális dióda (PN-átmenet) jelleggörbe egyenlete és jelleggörbéje

Az ideális dióda alapegyenletét Schottky-egyenletnek is nevezik. A kapott képletek tehát a következők:

$$\text{Dióda-áram: } I = I_0 \cdot e^{\frac{U}{U_T}} - I_0$$

$$\text{Dióda-feszültség: } U = U_T \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0} + 1\right)$$

Ahol:

- I_0 a PN-átmenet telítési (saturation), vagyis záróáram-állandója, értéke Si-dióda esetén:

$$I_0 = 10^{-13} - 10^{-15} \text{ A}$$
- $U_T = \frac{k \cdot T}{q}$ a termikus feszültség
 - $k = 8,62 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K}$, Boltzmann-állandó, T a hőmérséklet Kelvinben
 - q az elemi töltés (elektron) nagysága: $q = 1,6 \cdot 10^{19} \text{ C}$

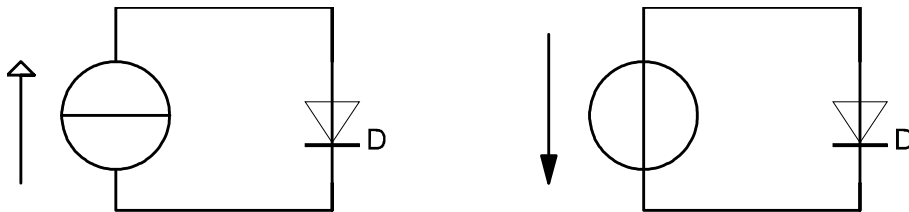
Tehát az ideális dióda termikus feszültsége:
$$U_T = \frac{k \cdot T}{q} \approx 26 \text{ mV}$$

A diffúziós feszültség

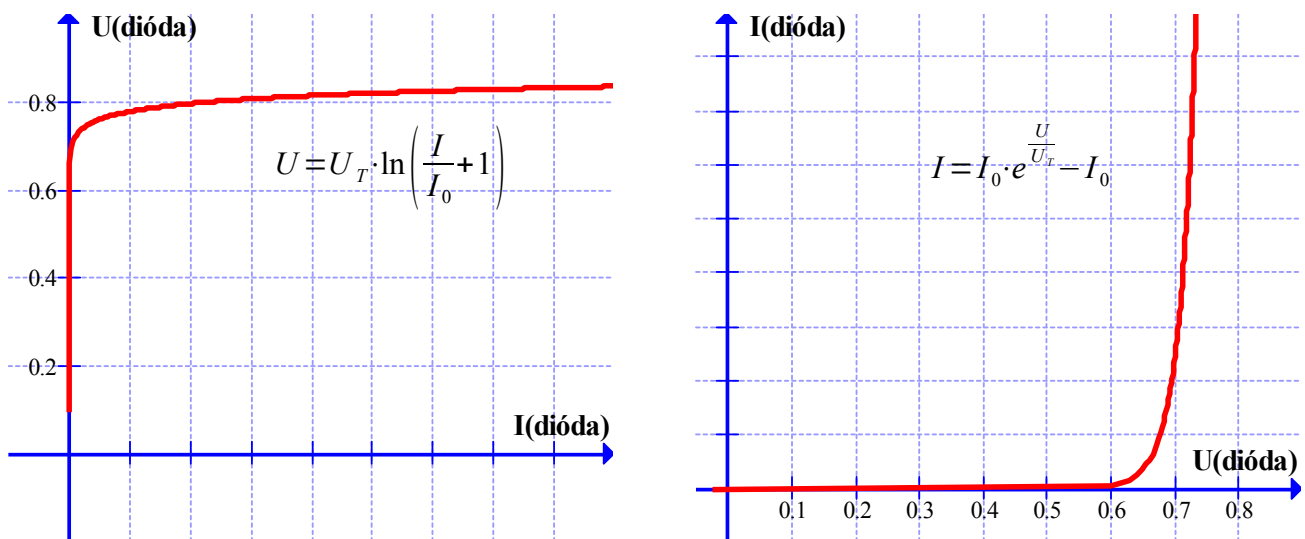
A dióda PN-átmenetének mindenkor feszültsége a rajta áthajtott áramerősség függvényében a már ismert képlettel számítható: $U = U_T \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0} + 1\right)$, mely $y = a \cdot \ln\left(\frac{x}{b} + 1\right)$ alakú logaritmusfüggvény. Ez megfigyelhető a 3. a) ábrán.

Feszítsük elő a diódát nyitóirányban! Ekkor a dióda anódja pozitívabb potenciálú, mint a katódja. Amennyiben áramgenerátoros meghajtással (2. a ábra) vesszük fel a dióda áram-feszültség karakterisztikáját, akkor a 3. a) ábrát kapjuk eredményül. A feszültséggenerátoros meghajtással (2. b ábra) lényegében az áram-feszültség karakterisztika inverz függvényéhez jutunk, ez a dióda feszültség-áram karakterisztikája (3. b ábra). A kapott ábrán megfigyelhetjük, hogy mindaddig rendkívül kicsi az áramerősség, amíg a diffúziós potenciálgátat le nem „küzdjük”. A diffúziós feszültség – a dióda záróáramának függvényében – kb. 0,65V értékre adódik.

A dióda árama a feszültségtől exponenciálisan függ, ahogy az a képletéből is kiderül: $I = I_0 \cdot e^{\frac{U}{U_T}} - I_0$



2. a) és b) ábra A dióda nyitóirányú, áramgenerátoros és feszültséggenerátoros meghajtása



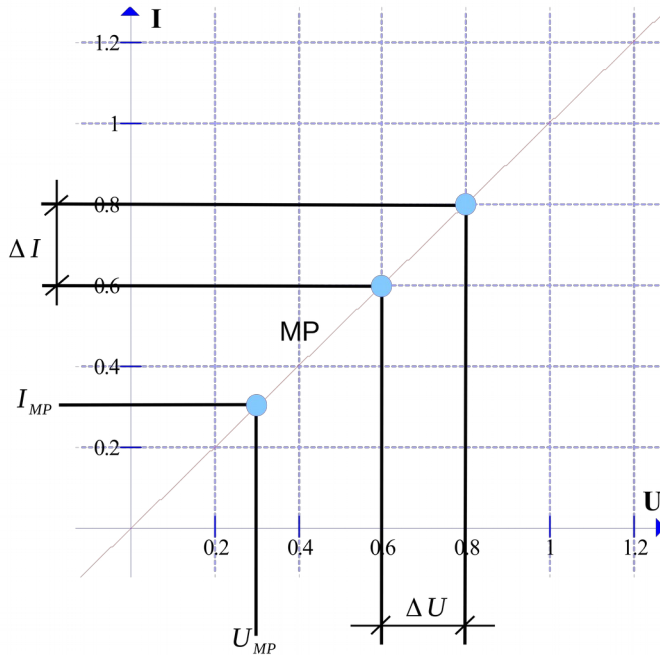
3. a) és b) ábra A dióda nyitóirányú, karakterisztikái

Feladat: Egy szilícium-dióda telítési árama $I_0 = 100 \text{ fA}$, vagyis 10^{-13} A . Számítsa ki a nyitófeszültséget, tudva, hogy a dióda árama 10 mA!

Megoldás: $U = U_T \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0} + 1\right) = 26 \text{ mV} \cdot \ln\left(\frac{10 \text{ mA}}{100 \text{ fA}} + 1\right) = 26 \text{ mV} \cdot \ln(10^{11} + 1) = 26 \text{ mV} \cdot 25,34 = 658 \text{ mV}$

A differenciális ellenállás

Ohm törvénye alapján bármely dióda munkaponti ellenállását könnyen meg tudjuk állapítani. A differenciális ellenállás, vagyis az egységnyi áramváltozáshoz tartozó feszültségváltozás egy ellenállás esetében nem eredményezne új adatot, hiszen a feszültség-áram karakterisztikája lineáris, vagyis a differenciális ellenállása is bármely munkapont környékén állandó, az Ohm-törvény alapján. Végezzük el ennek vizsgálatát a 4. ábra adatai alapján!



Az ellenállás adott munkapontban:

$$R_{MP} = \frac{U_{MP}}{I_{MP}} = \frac{300 \text{ mV}}{300 \text{ mA}} = 1 \Omega$$

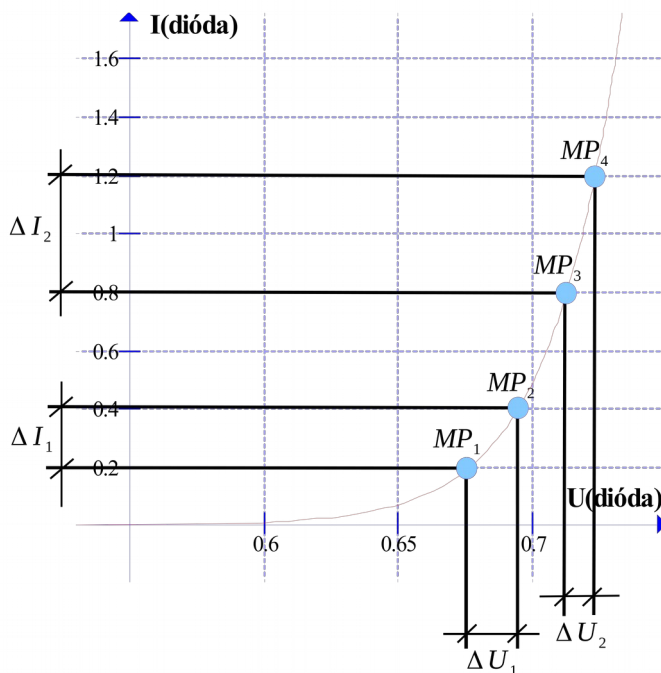
A differenciális ellenállás:

$$r_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{800 \text{ mV} - 600 \text{ mV}}{800 \text{ mA} - 600 \text{ mA}} = \frac{200 \text{ mV}}{200 \text{ mA}} = 1 \Omega$$

Megállapítható, hogy az ellenállás állandó, hiszen a függvény meredeksége is állandó, amely lényegében a differenciális vezetőség:

$$m = \text{tg } \alpha = \frac{\Delta I}{\Delta U} = g_d = \text{állandó}$$

4. ábra Az ellenállás, mint kétpólus feszültség-áram karakterisztikája



A dióda esetében más a helyzet. Mivel a nyitókarakterisztika nemlineáris, ezért az egyenáramú ellenállás munkapontfüggő. Nézzünk két példát!

Az ellenállás MP_1 munkapontban:

$$R_{MP1} = \frac{U_{MP1}}{I_{MP1}} = \frac{675 \text{ mV}}{200 \mu \text{ A}} = 3,375 \text{ k } \Omega$$

Az ellenállás MP_2 munkapontban:

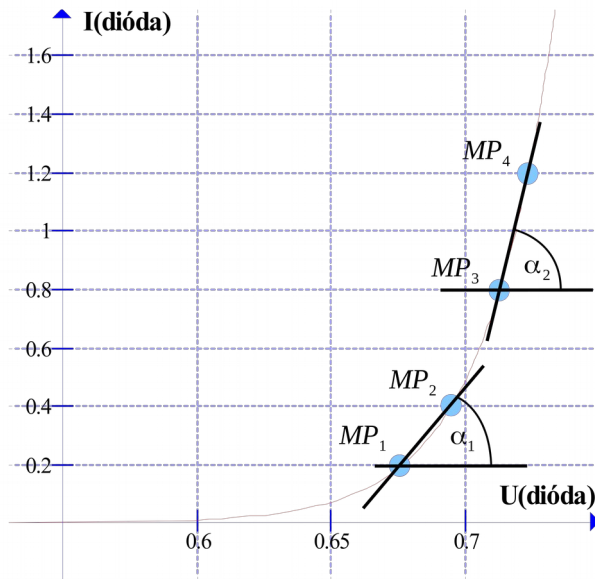
$$R_{MP2} = \frac{U_{MP2}}{I_{MP2}} = \frac{695 \text{ mV}}{400 \mu \text{ A}} = 1,738 \text{ k } \Omega$$

További számítások nélkül megállapíthatjuk, hogy:

$$R_{MP1} > R_{MP2} > R_{MP3} > R_{MP4}$$

melynek oka az, hogy a dióda árama nagyobb mértékben növekszik, mint a feszültsége, így a feszültség az áram hányados értéke egyre kisebb lesz.

5. ábra A nyitóirányú karakterisztikán felvett egyenáramú munkapontok



6. ábra A nyitóirányú karakterisztikán felvett egyenáramú munkapontok

A differenciális vezetés reciproka a differenciális ellenállás:

$$r_{d1} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} = \frac{1}{m_1} = \frac{1}{g_{d1}} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1}$$

és

$$r_{d2} = \frac{\Delta U_2}{\Delta I_2} = \frac{1}{m_2} = \frac{1}{g_{d2}} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2}$$

így $r_{d1} > r_{d2}$

A differenciális vezetés egy munkapontban történő kiszámításához a lehető legkisebb munkapont-környezetben kell vizsgálni a jellemzőket (ΔU , csökken, így ΔI is csökken). Ekkor a szelő két pontja egyre jobban közelíti egymást. Ennek határértéke a karakterisztikához húzott érintő lesz. Az érintők meredekségei (a differenciál-hányadosok) az adott munkapontokhoz tartozó differenciális vezetések.

$$\lim_{\Delta U_1 \rightarrow 0} \frac{\Delta I_1}{\Delta U_1} = g_{d1}$$

és

$$\lim_{\Delta U_2 \rightarrow 0} \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} = g_{d2}$$

A pontban vett differenciális vezetések reciprok értékei a munkaponti differenciális ellenállások. Eme értékek emellett számíthatók a termikus feszültség és a munkaponti diffúziós egyenáram hányadosaként is. Ekkor a differenciális ellenállás értéke a következő formula szerinti:

$$r_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{\Delta U}{I + I_0} \approx \frac{U_T}{I} \quad \text{Nyitó tartományban, ahol } I \gg I_0 : \boxed{r_d = \frac{U_T}{I}}$$

Amennyiben számolunk a dióda soros, veszteségi ellenállásával: $r_d = \frac{U_T}{I} + r_s$

A dióda esetében a differenciális ellenállás – ahogy az egyenáramú ellenállás is – erősen munkapontfüggő.

Vizsgáljuk meg a differenciális ellenállást két esetben: $MP_1 - MP_2$, valamint $MP_3 - MP_4$ munkapont-párokhoz tartozóan. A munkapont-párokhoz (a görbe két-két pontjához) húzott szelők meredeksége és így differenciál-hányadosa, más és más. Amennyiben a PN-átmenet jobban nyitott, nagyobb a karakterisztika meredeksége. A nagyobb meredekséghez nagyobb differenciális vezetés, valamint kisebb differenciális ellenállásérték adódik:

$$m_1 = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\Delta I_1}{\Delta U_1} = g_{d1}$$

$$m_2 = \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} = g_{d2}$$

ezért $g_{d1} < g_{d2}$