

Nemlineáris karakterisztika mérése

Heiszman Henrik

Neptun kód: ENV2R9

Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar

1083 Budapest, Práter utca 50/A

heiszman.henrik@hallgato.ppke.hu

Téma–ELVIS próbapanel és ELVIS műszerek segítségével a gyakorlat során különböző módon felhasznált tranzisztor válasz reakciójának vizsgálata.

I. A JEGYZŐKÖNYVBEN HASZNÁLT FOGALMAK

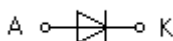
Tranzisztor: A tranzisztor háromrétegű félvezető eszköz, amelyet túlnyomórészt gyenge villamos jelek erősítésére, továbbá jelek kapcsolására vagy feszültségstabilizálás céljára alkalmaznak. A három réteg kémiai elterjedésű (szennyezésű), amely két p-n átmenetet tartalmaz. A tranzisztor a modern elektronika alapeleme, gyártják önálló alkatrészként és integrált áramkörök alkotóelemeiként is.

II. FÉLVEZETŐ DIÓDA

Különböző anyagoknak különböző az elektromossággal szemben mutatott tulajdonságuk. Ezeket az anyagokat három különböző csoportba osztjuk be. Az első csoportba az úgynevezett szupravezetők tartoznak. Ezen anyagok nulla ellenállással vezetnek az elektromos áramot. A második csoportba soroljuk a vezetőket, melyek nem nulla ellenállással vezetnek az elektromos áramot. Végül a harmadik csoport a szigetelők osztálya. Ezek az anyagok nem mutatnak vezetési jelenséget. Az utóbbi két csoport közötti anyagokat félvezetőknek nevezzük.

Számos anyag és kristály mutat félvezető tulajdonságokat, így például a galenit, kalkopirit, rézoxidul (kuprox), arborundum (szilícium-karbid), szelén, germánium, szilícium, galliumarzenid, stb. A germánium és a szilícium önmagában nem alkalmas diódának, a megfelelő átmenet létrejöttéhez szabályozott mértékben ötvözni (szennyezni) kell az alapfémeket.

A dióda a legegyszerűbb félvezető. Mindössze egy P és egy N-típusú félvezetőből áll. Rajzjelét a következő ábra szemlélteti. (1. ábra)



1. ábra

A félvezető dióda rajzjele

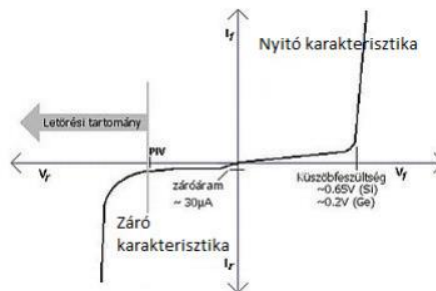
Két kivezetése van, az anód és a katód. Az anód a P-rétegre van kapcsolva, a katód pedig az N-re.

A dióda arra jó, hogy az áramot csak az egyik irányba vezeti át, a másik irányba szakadásként viselkedik. Ez azért hasznos, mert így váltakozó áramot tudunk egyenirányítani, valamint megvédhetünk vele olyan áramköröket, ahol bajt okozna, ha a laikus felhasználó - az odaragasztott matrica ellenére - fordítva helyezi be az elemet. A dióda nyíl-alakú áramköri jelén látszik, hogy merre engedi át az áramot. Ha a diódára olyan irányú áramot kapcsolunk, amelyet átenged, akkor nyitóirányú előfeszítésről beszélünk, ha olyat, amit nem enged át, akkor záróirányú előfeszítésről.

III. A DIÓDA NYITÓKARAKTERISZTIKÁJA

A dióda p-n átmenete kis feszültségen a diffúziós hatás miatt az áram útjában gátat képez. Nyitóirányú feszültség növekedése esetén, ha a külső feszültség eléri a küszöbfeszültséget, a zárórétegben megindul az elektronok áramlása. A küszöbfeszültség szilícium félvezető esetén 0,7V, germánium félvezető esetén 0,2V. A feszültség növekedés hatására az áram növekedése kezdetben exponenciális jellegű, később lineárisra válik. A görbült karakterisztika miatt meg kell különböztetni az egyenáramú és a differenciális ellenállást.

Az egyenáramú ellenállás értéke a diódán eső pillanatnyi feszültség és a hatására átfolyó áram hányadosa. Ez a következő feszültség-áram függvény is jól szemlélteti. (2. ábra)



2. ábra

A diódán folyó áram a rajta eső feszültség függvényében

A dióda karakterisztikáját a következő összefüggés írja le.

$$I_D = e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1,$$

ahol V_D a dióda feszültsége I_D a diódán folyó áram mértéke és V_T a termikus feszültség.

A fent leírt egyenletből is látszik, hogy a diódának nem lineáris a karakterisztikája, e-ados kapcsolat áll fent a feszültség és az áram között.

Egy ellenállás, mint áramköri elem lineáris, hiszen ennek az elemnek az áram és feszültség kapcsolatát leíró egyenlet is lineáris. Ez az úgynevezett Ohm-törvény:

$$R = \frac{U}{I} \rightarrow U = R * I$$

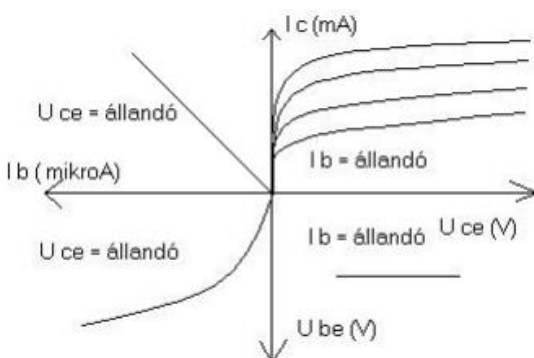
A differenciális ellenállás a karakterisztika adott munkapontjához húzható érintő iránytangense. Ezt kötetínei lehet a feszültség kis megváltozásának és a hozzá tartozó áram változásának hányadosával. Ebből adódóan a dióda dinamikus ellenállását a következő összefüggés írja le.

$$R_D = \frac{\Delta V_m}{\Delta I_m},$$

ahol ΔV_m a munkaponti feszültség megváltozása és ΔI_m pedig a munkaponti áram megváltozása.

IV. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR

A tranzisztorban a vezérlő elektródájára (bázis) juttatott feszültség hatására a másik két elektróda (emitter és kollektor) közötti p-n átmenet kinyit, azaz az emitter és kollektor között áram folyik. A p-n átmenet nyitása függ az adott típusú tranzisztortól és a vezérlő elektródára vezetett feszültség nagyságától. Lényeges, hogy a vezérlő elektródára kapcsolt energiaszint töredéke a kapcsolt energiáknak, ezért erősít.

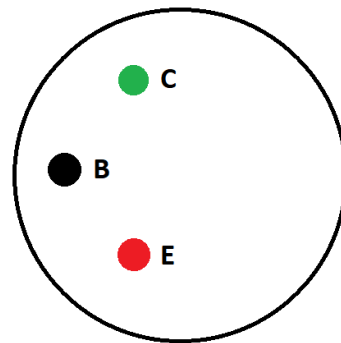


3. ábra

A bipoláris tranzisztor karakterisztikája

V. A DIÓDA NYITÓKARAKTERISZTIKÁJÁNAK MEGHATÁROZÁS

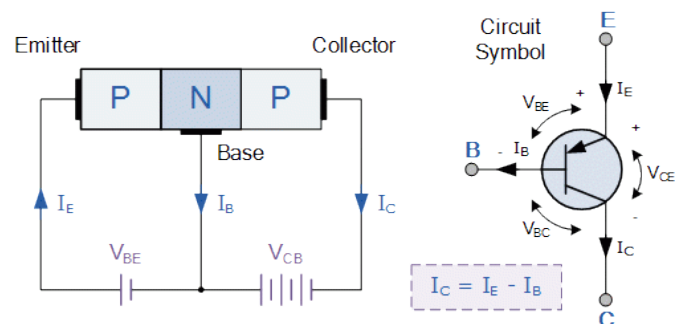
Az első mérési feladatomban az volt, hogy NI ELVIS rendszer elemeinek felhasználásával határozzák meg, a gyakorlaton kapott tranzisztor nyitókarakterisztikáját. A tranzisztor megismeréséhez az interneten megkerestem az adatlapját a tranzisztor típusa alapján. Az én esetemben az alkatrész egy GC508 típusú tranzisztor volt. A három lábának a kiosztása következő volt: emitter, base, collector. A tranzisztor lábainak kiosztását a következő ábra szemlélteti. (4. ábra)



4. ábra

A tranzisztor lábainak kiosztása
Az ábrán jelölje B a base lábát, E az emitter és C a collector lábát a tranzisztornak.

Feltételeztem, hogy a mérési utasításnak megfelelően ez a tranzisztoregy PNP típusú tranzisztor. Ezt a típust a következő ábra szemlélteti. (5. ábra)



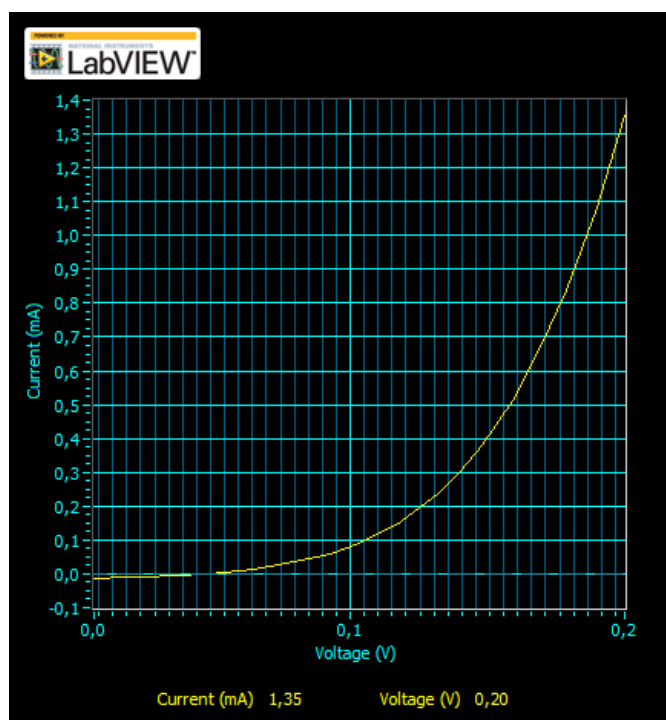
5. ábra

A bipoláris PNP tranzisztor

A mérés során az NI ELVIS Impedancia Analyzer bemenetét használtam. A tranzisztor BASE lábát a DUT -, az EMITTER lábát pedig a DUT + bemenetere kötöttem rá. Miután meggyőződtem, hogy helyesen kötöttem be az áramköri elemet, elindítottam a számítógépen az ELVIS software-t. A méréshez az úgynevezett Two-Wire Current-Voltage Analyzer-t használtam. A feszültség beállításai a következők voltak.

Kezdeti feszültség 0V, a mérési beosztást annak érdekében, hogy minél pontosabb görbét kapjak a mérés végén 0,01 V-ra állítottam és a maximális feszültséget, ameddig a mérés tart, 2 V-ra állítottam. Ezek a beállítások azt jelentik, hogy a tranzisztoron folyamatosan nőni fog a feszültség és a program 0,01 V-os beosztással csinálja a mintavételezést, amely alapján kirajzolja a karakterisztika görbáját.

A mérés befejezése után a következő karakterisztikát kaptam. (6. ábra)



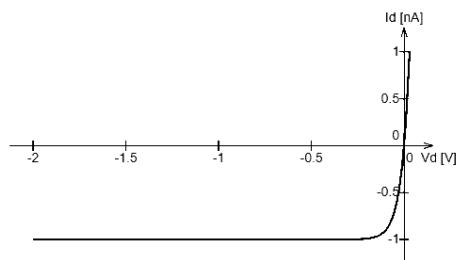
6. ábra

A tranzisztor nyitókarakterisztikája a mérés alapján

A görbén szépen látszik, hogy a sejtésem és az elméleti háttér is igaz volt. Látszik, hogy kapott tranzisztor PNP típusú.

VI. A DIÓDA ZÁRÓKARAKTERISZTIKÁJA

A dióda p-n átmenetére záró feszültséget kapcsolva, a p-n átmenetben a kiürített réteg szélessége nagyobb lesz. A kristály hőmérsékletének hatására kisebbségi töltéshordozók keletkeznek, amelyeket a kialakult télerősség a határréteg irányába sodor, ami az átmeneten keresztül záróáramot hoz létre. Az előfeszített p-n átmenet értéke egy erősen hőmérsékletfüggő áramgenerátort alkot. Szilícium félvezetőn keresztül csak néhány nanoamper, germánium esetén mikroamper nagyságrendű áram áthaladása lehetséges. A dióda zárókarakterisztikáját a következő ábra szemlélteti. (7. ábra)



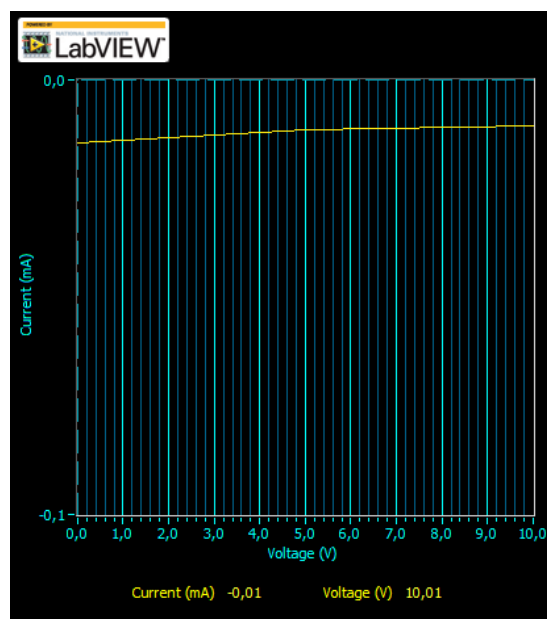
7. ábra

Az dióda zárókarakterisztikája

VII. A DIÓDA ZÁRÓKARAKTERISZTIKÁJÁNAK MEGHATÁROZÁS

Ezen mérés során is az NI ELVIS Impedancia Analyzer bemenetét használtam. A különbség ebben az esetben az előző méréshez képest az volt, hogy a tranzisztor BASE lábát most a DUT +, az EMITTER lábát pedig a DUT - bemenetere kötöttem rá. Ezek után szintén meggyőződtem a beklötés helyességéről. A méréshez ebben az esetben is a Two-Wire Current-Voltage Analyzer-t használtam. A feszültség beállításai a következők voltak.

A kezdeti feszültség ezen mérésem során is 0V, a mérési beosztást annak érdekében, hogy minél pontosabb görbét kapjak a mérés végén, szintén 0,01 V-ra állítottam. Mivel zárókarakterisztikát mértem ezért az úgynevezett stop feszültséget, a legnagyobb feszültség, amely a tranzisztoron esik a mérés során, úgy szerettem volna beállítani, hogy látszódjón az a feszültség is a diagrammon, ahol a tranzisztor megnyílik. Kezdetnek 20 V-ot adtam meg maximális feszültségnek, de a program az áramkörü elem védelme érdekében csak 10 V-ot engedett. A beállítások rögzítése után elindítottam a mérés, amely során a következő karakterisztikagörbe rajzolódott ki. (8. ábra)



8. ábra

Az tranzisztor zárókarakterisztikája a mérés alapján

A mérésből látszik a tranzisztor zárókarakterisztikája. Az is egyértelműen látszódik, hogy a meghatározott maximális feszültség (10 V), nem volt elég ahhoz, hogy a tranzisztor megnyíljon. Ezzel a mérési módszerrel nem lehet lemérni, hogy mekkor feszültség mellett fog megnyílni a tranzisztor.

Jó megoldás lehet, hogy az NI ELVIS állítható feszültségforrását, használjuk és a programon belül beállítunk egy áramkorlátot. Erre azért van szükség, hogy a tranzisztor ne menjen tönkre a túl nagy feszültség és áram következménye képpen. Azzal, hogy áramkorlátot állítunk be, korlátozzuk a tranzisztoron eső teljesítményt.

Például ha azt szeretnénk, hogy a teljesítmény, $P=50 \text{ mW}$ legyen maximálisan és a maximális feszültséget pedig 20 V-ra szeretnénk állítani, akkor a teljesítmény képlete alapján a következő áramkorlátot kell beállítani.

$$P = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P}{U}$$

$$\frac{50 \cdot 10^{-3}}{20} = 2,5 \cdot 10^{-3}$$

Ebben az esetben az áramkorlátot 2,5 mA-re állítanám. Sajnos az ELVIS programjában az állítható feszültségforrásnál nem találtam olyan részt, ahol be tudtam volna állítani az áramkorlátot.

VIII. A DIÓDA DINAMIKUS ELLENÁLLÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA EGY ADOTT MUNKAPONTBAN

Ebben a részben azt a feladatot kaptam, hogy határozzam meg az 5mA-es munkapontban a diódám dinamikus ellenállását.

Ehhez az előzőekben, a dióda nyitókarakterisztikájának meghatározása című pontban, levezetett mérési menet újbóli elvégzésére volt szükségem.

Az első mérés során megszerzett tapasztalataim alapján ebben az esetben csak 1 V-ot állítottam be a maximális feszültségnek, hiszen a számomra kérdéses 5mA 0 és 1 V-os tartományon belül folyt a tranzisztoron. Ebből adódóan főleges lett volna nagyobb tartományon mérni.

Annyi változtatást eszközöltem még az előző méréshez képest, hogy bekapcsoltam a kurzor a software-en belül, hogy könnyedén tudjak lépegetni az egyes mérési pontok között és le tudjam olvasni a kérdéses áramhoz tartozó feszültséget az adott ellenállás meghatározásához.

A dinamikus ellenállást az Ohm-törvény használatával számoltam ki. Mivel a mérés közben nem volt olyan mérési pont, a 0,01 V-os beosztás mellett sem, ahol pontosan vagy legalábbis csak nagyon minimális eltéréssel lett volna a tranzisztoron folyó áramértéke az általam keresetthez, így

megvizsgáltam az 5 mA-hez a két oldalról legközelebb lévő értékeket és annak számtani közepével számoltam. Természetesen ez nem lesz pontos megoldás, hiszen a függvényt így egy lineáris függvénnyel közelítettem. Az értékeket a következő táblázatba foglaltam.

Feszültség (V)	Áram (mA)	Ellenállás (Ω)
0,27	4,85	55,67
0,28	5,7	49,122

Ebből adódóan azt mondanám, hogy az 5 mA-es munkapontban a dinamikus ellenállása kb. 52,396 Ω .

IX. A TRANZISZTOR BE ÉS KIMENETI KARAKTERISZTIKÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSA

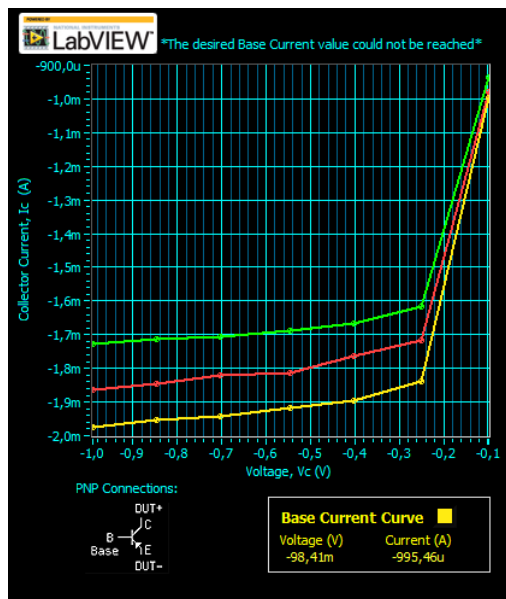
Ebben a részben azt a feladatot kaptam, hogy NI ELVIS segítségével határozzam meg a kapott tranzisztor be és kimeneti karakterisztikáját.

Ezen mérés során már nem csak az EMITTER és a BASE lábát, hanem a COLLECTOR lábát is bekötöttem az ELVIS impedancia analízátor bementére. Ezen mérés során a BASE lábát a „base”, a COLLECTOR lábát a „DUT +” és az EMITTER lábát pedig a „DUT -” bemenetre kötöttem.

Miután meggyőződtem, hogy arról, hogy helyes kötöttem be az alkatrészt, elindítottam az NI ELVIS software-ben a Three-Wire Current-Voltage-Analyzer eszközét.

A tranzisztor kollektor lábát -1 V és 1 V közötti feszültséggel terheltem. A feszültséget úgy állítottam be, hogy a program 0,15 V-os lépésközzel mérjen. Az áramot pedig 40 mA-re limitáltam. A base lábát -15 μA -es kezdeti értékkel mértem 1 μA -es lépésközzel. Ezekon kívül a tranzisztor típusánál kiválasztottam, hogy PNP tranzisztort használjak.

A mérés elvégzése után a következő karakterisztikát kaptam. (9.ábra)



9. ábra

Az tranzisztor karakterisztikája a mérés alapján

X. ADOTT MUNKAPONT VIZSGÁLATA

Ebben a mérési feladatban a 6,2 mA-es munkapontban szerettem volna meghatározni a tranzisztor h_{21e} értékét.

Ebben az esetben is az történt, hogy a felhasznált eszközökkel, csak úgy, mint a zárókarakterisztika meghatározásánál, nem érte el a mérés során a kívánt értéket a tranzisztor árama.

Ezt a feladatot is a változtatható feszültség forrás használatával lehetne megoldani, de ebben az esetben sem megoldható az előbbieken is taglalt körülmények miatt.

XI. MÉRÉS HIBÁJA

Több külső és belső hatás következménye lehet a mérési hiba. Külső behatás lehet például az, hogy remegett a kezünk mérés során, ebből adódóan nem megfelelő kontaktus jött létre a műszer és a mérendő objektum között. Másik ilyen zavaró tényező lehetett a levegőben lévő, töltéssel rendelkező részecskék befolyása.

De számunkra ebben az esetben az igazán fontos, a mérést nagyban befolyásoló tényező a mérőműszerünk (ELVIS) belső ellenállása. Tudjuk, hogy feszültség mérő belső ellenállása ideális esetben végtelen. A mi esetünk az ELVIS gyártói specifikációi szerint a belső ellenállása 11 M Ω .

Ezen kívül, mint már említettem az adott munkapontban meghatározott dinamikus ellenállás értékénél lineárisan közelítettem a függvényt, amely hibához vezetett.

Valamint a tranzisztor működését befolyásolja a környezet hőmérséklete, amely a mérés folyamán változhatott. Nyilvánvalóan ez nem befolyásolta nagyban a mérés pontosságát.

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

[MÉRÉSI SEGÉDLET](#)

[ELVIS SEGÉDLET](#)

[NI ELVIS HASZNÁLATI UTASÍTÁS](#)

[PNP TRANZISZTOR](#)

[DIÓDA](#)