



Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológia Intézet

Passzív áramkörök

Laboratóriumi gyakorlatok
Mérési útmutató

Diódák kapcsolójellemzőinek mérése

Kiadás dátuma: 2019. 02. 25.

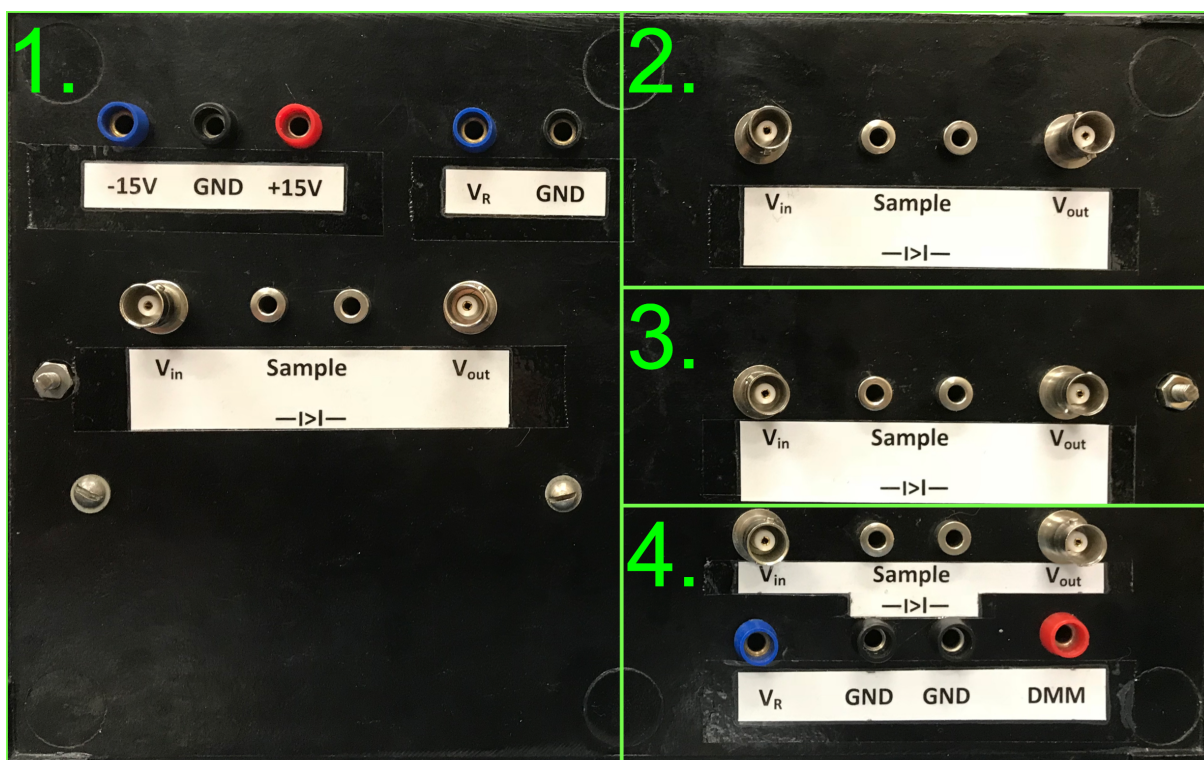
1. Áttekintés

A mérés célja a diódák olyan fizikai és villamosságtani jellemzőinek meghatározása, melyek segítenek behatárolni a különböző típusú diódák felhasználási területeit, működésük korlátait. Ezen jellemzők az elkövetkező mérés során:

1. Zárirányban előfeszített dióda kapacitása, impedanciája,
2. Záróirányú feléledési (kikapcsolási) idő,
3. Kisebbségi töltéshordozó élettartama,
4. A diódában tárolt töltés mennyisége.

A foglalkozás során Schottky-diódák mérésére kisebb figyelmet fordítunk, mivel azok kapcsolójellemzői rendszerint nagyságrendekkel meghaladják a pn átmenetes diódákét; viszont képet kaphatunk a szilícium, germánium anyagú, illetve a varicap diódák felhasználhatóságáról.

1.1. A mérőpanel leírása:



Az ábrán látható a négy mérési elrendezés sorszámozva aszerint, hogy hányadik mérési összeállításhoz kellene. Minden mérési összeállításban a behelyezendő minta (dióda) előjel helyes bekötését a felirat mutatja.

Az első, azaz a kapacitás- és impedanciamérés során kettős tápellátás, azaz ± 15 V tápfeszültség szükséges, egyrészt a tranzisztor, másrészt pedig a műveleti erősítő meghajtásához. A diódákat a mérés során záróirányban kell előfeszíteni, azaz a földpotenciálhoz (GND) képest negatívabb feszültséget kell V_R ponton biztosítani; tehát a Hameg tápegység pozitív kapcsát kötjük a referenciapontra, míg V_R -e a negatív kapcsát.

A második és harmadik elrendezésben V_{in} pontra a Rigol funkció generátort kapcsoljuk BNC-BNC kábellel, V_{out} pontra pedig oszcilloszkópot kötünk.

A negyedik összeállításban földhöz (GND) képest kapcsoljuk az V_R pontra a negatív előjelű dióda előfeszültséget, GND és DMM pontok közé csatlakoztatjuk a DCmV mérőt (DMM – Digitális MultiMéter). V_{out} pontra oszcilloszkóp csatlakozik.

2. Mérési feladatok

2.1. Záróirányban előfeszített dióda kapacitása, impedanciája

A diódaszerkezetek alapvető része az eltérő anyagi jellemzőjű rétegek között kialakult, mozgóképes töltéshordozókat nem tartalmazó kiürített réteg.

A kiürített réteg kapacitását a:

$$C_j = \frac{dQ_j}{dU_z}$$

összefüggés szerint a kiürített réteg által tárolt töltésnek az alkalmazott zárófeszültség szerinti első deriváltja határozza meg.

Igazolható, hogy tetszőleges adalékkoncentráció-profil esetén is teljesül, hogy a kiürített réteg kapacitása, az ún. tértöltéskapacitás csupán a szerkezet anyagi paramétereitől (abszolút és relatív dielektromos állandó) és geometriai méreteitől (a kiürített réteg felülete és vastagsága) függ.

$$C_j = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \frac{A}{d}$$

Mint ismeretes, a kiürített réteg vastagsága függ a zárófeszültségtől, valamint a rétegben található adalékanyagok térfogati eloszlásától.

A gyakorlatban felhasznált pn-átmenetek esetében a két oldal adalékolása között jelentős (esetenként több nagyságrendnyi) különbség van, ilyenkor a kiürített réteg nagyrészt a kevésbé adalékolt rétegben található, az ilyen szerkezeteket nevezzük „egyoldalás” átmeneteknek. Amennyiben a kevésbé adalékolt tartomány állandó adalékolású, az átmenetet egyoldalás, lépcsős átmenetnek nevezzük, és tértöltéskapacitása a:

$$C_j = A \sqrt{\frac{q \varepsilon_0 \varepsilon_r N_B}{2}} \left(U_{bi} + U_z - \frac{2kT}{q} \right)^{\frac{1}{2}}$$

kifejezés szerint függ az U_z zárófeszültségtől.

Egy másik gyakori eset, amikor a metallurgiai átmenet környékén az adalékkoncentráció lineárisan változik. Ebben az esetben az átmenet kapacitása a:

$$C_j = A \left[\frac{qa(\varepsilon_0 \varepsilon_r)^2}{12} \right]^{\frac{1}{3}} (U_g + U_z)^{\frac{1}{3}}$$

kifejezés szerint függ az U_z zárófeszültségtől.

A fenti kifejezésekben:

A : az átmenet felülete,

q : az elemi töltés ($1,6 \times 10^{-19}$ As),

ε_0 : a vákuum dielektromos állandója ($8,854 \cdot 10^{12}$ F/m (As/Vm)),

ε_r : az anyag relatív dielektromos állandója (szilícium esetén 11,2),

N_B : a gyengébben adalékolt réteg adalékkoncentrációja (cm^{-3}),

U_{bi} : a pn-átmenet beépített feszültsége,

k : a Boltzmann-állandó ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K),

T : az átmenet hőmérséklete az abszolút skálán mérve (K),

a : az adalékolás koncentrációgradiense (cm^{-4}),

U_g : a gradiens feszültség.

$$U_g = \frac{2}{3} \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{a^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{kT}{q}}{8qn_i^3} \right]$$

n_i : a félvezető intrinszik töltéshordozó-koncentrációja (értéke szilíciumban $1,5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$).

Tekintettel arra, hogy a pn-átmenet kapacitását a zárófeszültség függvényében kívánjuk megmérni, ezért a szokásos mérőhidak sajnos nem használhatók, így egy kevésbé pontos, de lényegesen egyszerűbb megoldást választunk.

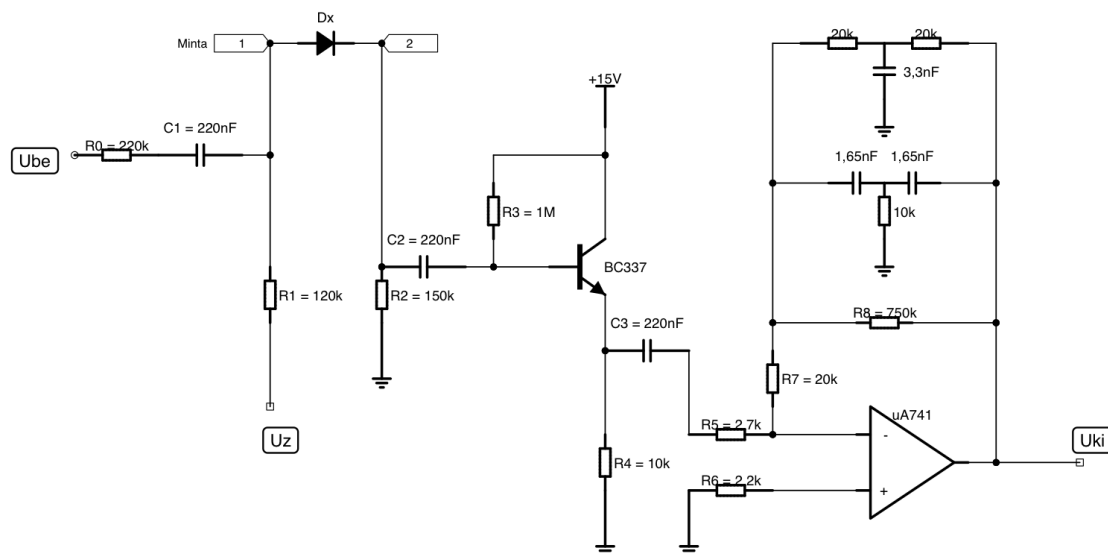
Az eljárás során a kapacitásmérést impedanciamérésre vezetjük vissza. A mérőberendezés egyszerűségéből adódik, hogy a mérendő jel egy, a keresett kapacitással arányos feszültségjel, ahol az arányosságot ismert értékű kondenzátorok segítségével kell meghatározni a mérés során.

Szilícium eszközök esetén a pn-átmenet visszárama elegendően kicsiny ahhoz (pA-nA nagyságrend), hogy impedanciáját tisztán kapacitívnak tekinthessük. Például 5kHz-es vizsgálójel esetén, ha a záróréteg kapacitása 32pF, akkor az impedancia értéke:

$$Z_C = \frac{1}{2\pi f C} = 10^6 \Omega = 1M\Omega$$

Ilyenkor, ha pl. 2V zárófeszültség esetén a dióda visszárama 20nA, akkor az ohmos tag értéke $10^8\Omega$ értéket ad, ami két nagyságrendnyi eltérés, a párhuzamos eredőt tehát Z_C fogja meghatározni. Meg kell azonban jegyezni, hogy a két érték összemérhető is lehet.

Fontos, hogy a mérésekhez viszonylag kis mérőjelet alkalmazzunk, mivel a $C(U)$ függvény nem lineáris, ezért a mérőjelre átlagolt kapacitásérték nagyobb amplitúdójú jelnél már lényegesen eltér az adott U_Z zárófeszültséghez tartozó tényleges kapacitásértéktől.



2. ábra: Mérőáramkör pn-átmenet kapacitásának meghatározásához

A mérőáramkör működése:

A **2. ábra** szerinti mérési elrendezés három részből tevődik össze: a mérőkör, a követőfokozat, és a szelektív erősítő. A mérőkör bemenetére mV_{eff} nagyságrendű szinusz jelet kapcsolunk, U_z pontra a D_x mérendő dióda zárófeszültségét. A mérőáramkör tulajdonképpen C_1 , C_2 kondenzátorok, és D_x dióda soros eredő kapacitását méri, mivel azonban a dióda kapacitása μF nagyságrendű, így ez az érték dominál a 220nF kapacitásokkal szemben. A következő fokozat egy földelt kollektoros erősítő, melyre nagy bemeneti ellenállása miatt van szükség / $r_{be}=R_3 \times (\beta \cdot R_4)$ /, erősítése egységnyinek tekinthető. A harmadik fokozat a szelektív erősítő, melynek bemeneti ellenállása csupán R_5 értékű. A visszacsatoló ágban elhelyezésre került egy TT-szűrő, mely a mérésben nem használt frekvenciakomponenseket (zajt) szűri ki. Ennek megfelelően a mérést a TT-szűrő frekvenciáján kell végezni ($R=20\text{k}$, $C=1,65\text{nF}$):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

(A TT-szűrőről bővebb információ: ELII. / AnDil. Hangolt körös ÁK. című útmutató.)

Mérési feladat:

2.1.1 A mérődobozon feltüntetett jelöléseknek megfelelően adjunk $\pm 15\text{V}$ szimmetrikus tápfeszültséget a FOK-GYEM TR9175/A tápegység kimeneteiről. Az áramkorlátot mindkét kimeneten előzetesen állítsuk alacsony értékre. Az V_R kapcsok közé kössük a HM8040-es tápegység egyik 0-20V állítható kimenetét; ez szolgáltatja a mérendő diódák záróirányú előfeszültségét. A BNC csatlakozós bemenetre csatlakoztassuk a DG1022-es függvénygenerátor kimenetét, egyúttal az egyik HM8012-es multimétert is (ACmV állásban); az alacsony zajszint érdekében javasolt a T-elosztó használata. A szintén BNC csatlakozású kimenetet a másik HM8012-es ACmV mérőre kapcsoljuk.

2.1.2 A függvénygenerátoron állítsunk be 150mVpp szinusz jelet (multiméterről olvassuk a pontos értéket). A mintatartóba helyezzünk be a mellékelt kondenzátorok közül egyet tetszőlegesen (U_z értéke nem számít a kondenzátoros mérési pontok során). A bemeneti jel frekvenciáját a TT-szűrő f_0 frekvenciájának közelében állítsuk mindaddig, amíg a kimeneti jel maximális értéket nem vesz fel. A frekvenciát jegyezzük fel, és ne módosítsuk a továbbiakban.

2.1.3 Az előző pontban behelyezett kondenzátort távolítsuk el, majd olvassuk le a kimeneti jel értékét. Vizsgálandó minta híján a leolvasott hiba ofszethiba, ezzel kompenzálni kell valamennyi mérési eredményt.

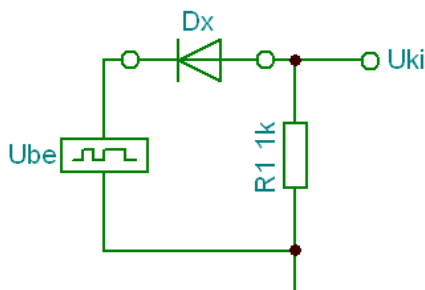
2.1.4 Sorra helyezzük be a méréshez mellékelt kondenzátorokat (C_x), majd jegyezzük a kimeneti feszültségértékeket. Határozzuk meg a mérési elrendezés lineáris tartományát (ahol a mérési pontokra illesztett egyenes korrelációs együtthatójának négyzete: $R^2 > 0,9995$). A lineáris szakaszra illesztett egyenes egyenletét alkalmazzuk a továbbiakban a mért feszültségek kapacitásértékre történő konvertálása során.

2.1.5 Helyezzük be sorra a mellékelt diódákat előjel-helyesen. A diódákra adott válaszjeleket rögzítsük 1-15 V záróirányú előfeszültség-tartományban 1 V felbontással. Célszerű ezt 0,5 V zárófeszültség mellett is megtenni. A kapott értékekből vegyük fel a diódák zárófeszültség-kapacitás (U_z-C , ofszet kompenzálás!), valamint a zárófeszültség-impedancia (U_z-Z_c) jelleggörbéit!

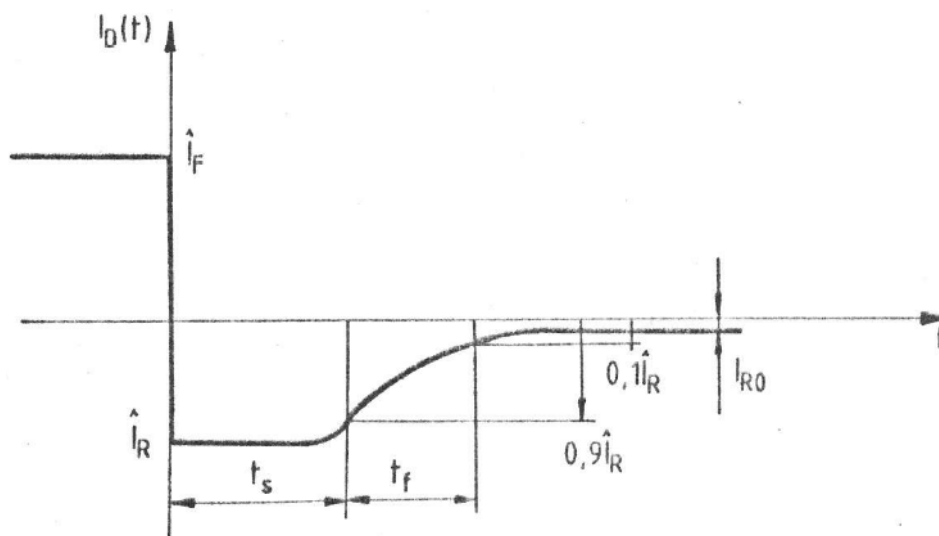
2.1.6 Határozzuk meg, hogy a mellékelt tranzisztor BE és BC átmenete lépcsős vagy pedig lineáris adalékolási profillal jellemezhető.

2.2. Záróirányú feléledési idő

A nyitóirányban előfeszített diódaszerkezetet záróirányú előfeszítésre átkapcsolva a diódán átfolyó áram a **4. ábrának** megfelelően változik. A t_s töltéstárolási idő és a t_f esési idő összegét tekintjük szerkezet záróirányú feléledési idejének.



3. ábra: Feléledési idő mérési elrendezése



4. ábra: A beállítandó jelalak feléledési idő mérésénél

Fontos megjegyezni, hogy a **4. ábrán** látható jelalak egy nagyobb amplitúdójú négyszögjelre szuperponálódva tűnik fel, mint tranzien্স jel, ezért külön gondnal kell az oszcilloszkóp megjelenítését kezelni a jeltartomány kinagyítása érdekében.

A rendelkezésre álló műszerek nem teszik lehetővé az igen gyors (ns) kapcsolási idejű diódák (Schottky-k) vizsgálatát. Ezért lassú, hálózati egyenirányító diódákat vizsgálunk, amelyek konstrukciós szempontból az úgynevezett „szélesbázisú” diódák családjába sorolhatók.

Egyes számítások szerint a feljelölt időtartamok a következő kapcsolatban állnak az eszköz és a mérési elrendezés egyéb paramétereivel:

$$t_s = 0,23\tau_p \quad t_f = 1,1(\tau_p + R_1 \cdot C_j) \quad \text{amennyiben} \quad |\hat{I}_F| = |\hat{I}_R|$$

A képletben R_1 a mérőpanelon szereplő 1 k Ω értékű ellenállás, C_j a pn-átmenet átlagos zárókapacitása, τ_p a lyukak élettartama, t_s és t_f a **4. ábra** jelalakján leolvasható idők.

Az **3. ábrán** szereplő impulzusgenerátornak kettős feladata van; egyrészt záróirányú impulzusokkal, másrészt nyitóirányú előfeszültséggel (offset voltage) látja el a D_x mérendő diódát. \hat{I}_F a nyitóáram (forward), \hat{I}_R pedig a záróáram (reverse) csúcsértéke.

Mivel a mérés során R_1 ellenálláson eső feszültség hullámformáját vizsgáljuk, így az minden esetben egyenesen arányos a D_x mérendő dióda áramával.

Mérési feladat:

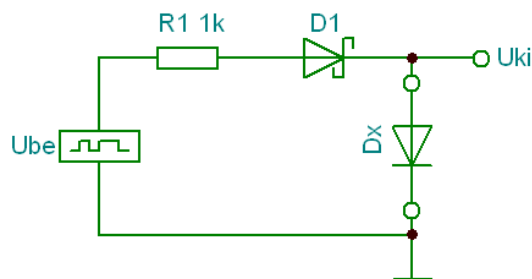
2.2.1 A mérődobozon valósítsuk meg az **3. ábrának** megfelelő elrendezést. A bemenetre csatlakoztassuk a Rigol függvénygenerátort, a kimenetre pedig digitális oszcilloszkópot.

A függvénygenerátoron állítsunk be 10 V amplitúdójú, 50 kHz ismétlődési frekvenciájú, 50% kitöltési tényezőjű négyszögjelet. Diódánként kísérletezzünk más-más generátor beállítással (akár beállíthatunk offset feszültséget is), hogy a **4. ábrának** megfelelő hullámformát kapjuk az oszcilloszkóp képernyőjén.

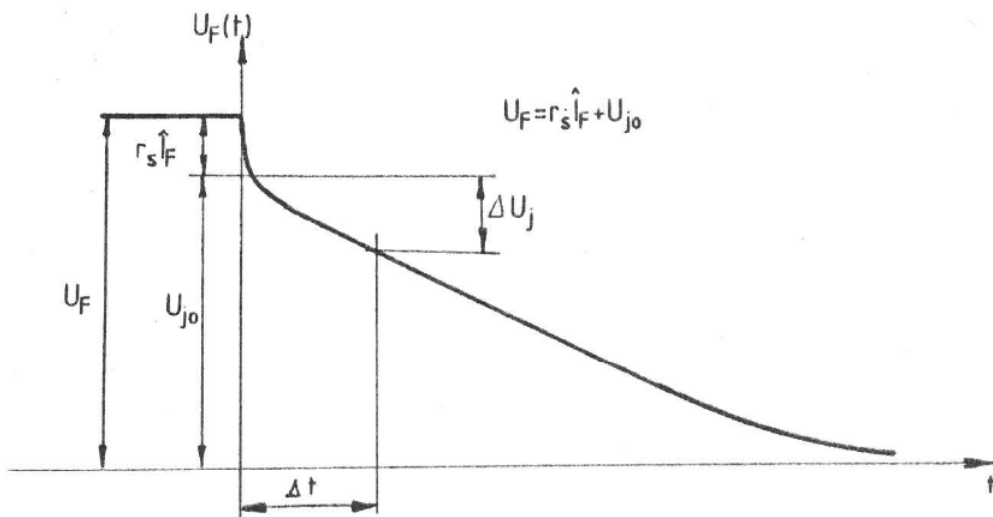
2.2.2 Határozzuk meg a mérendő diódák t_s és t_f értékeit néhány tápfeszültség-impulzusamplitúdó kombináció mellett úgy, hogy a diódák előfeszültsége ne haladja meg a 10 V-ot (ezt többnyire a függvénygenerátor nem is engedi). Ellenőrizzük az egyenleteket a nyitó- és záróáram egyenlősége mellett.

2.3. Kisebbségi töltéshordozók élettartama

A pn-átmenet nyitóirányú előfeszítése esetén a kiürített réteg határainál felhalmozódnak az átmeneten átlépett többségi töltéshordozók. Ezek, az átlépés után kisebbségi töltéshordozókként, a neutrális tartományok felé sodródva fokozatosan rekombinálnak a tartomány többségi töltéshordozóival. A nyitóirányú előfeszítés megszűnése után ennek a töltéscsomagnak el kell tűnnie a szerkezetből, ez külső áramfolyás nélkül csak a rekombináció útján valósulhat meg.



5. ábra: Élettartam mérés kapcsolási rajza



6. ábra: Élettartam mérés helyes jelalakja

A **6. ábrán** látható jel értékelése az alábbi elméleti megfontoláson alapul: az impulzusgenerátor nyitóirányú impulzusokat ad a diódának (diódáknak). A nyitóáram megszűnése (az impulzus vége) után a D_1 dióda (Schottky) gyorsabban lezár, mint a D_x mérendő dióda, tehát a diódában tárolt töltés csak a félvezető kristályban lejátszódó rekombináció következtében csökkenhet. Ehhez feltételezni kell, hogy vizsgáló berendezés, jelen esetben az oszcilloszkóp bemeneti impedanciája elegendően nagy; ezt az $1\text{ M}\Omega$ teljesíti. Helyes beállítás esetén tehát az oszcilloszkóp képernyőjén a D_x dióda feszültségének időfüggvénye jelenik meg.

A nyitóáram megszűnésekor a nyitófeszültség gyors feszültségesése: $r_s \cdot \hat{I}_F$ abból adódik, hogy a dióda r_s soros ellenállásán az impulzusok közötti szakaszban nem folyik áram.

Amennyiben p^+n diódát feltételezünk, a nyitóáram megszűnése után az n -típusú félvezető tartományban az átmenetnél lévő p_0 lyuksűrűség a rekombináció miatt közelítőleg exponenciálisan csökken az idő függvényében:

$$p_0(t) = p_{00} \cdot e^{\left(-\frac{t}{\tau_p}\right)} + p_{n0}$$

Ahol p_{00} az átmenetnél lévő lyuksűrűség a $t=0$ időpillanatban, τ_p a lyukak élettartama az n -típusú bázisban, p_{n0} az egyensúlyi lyuksűrűség az n -típusú anyagban.

A pn -átmenet elméletéből ismeretes, hogy az injektált lyuksűrűség:

$$p_0 = p_{n0} \cdot e^{\left(-\frac{U_j}{U_T}\right)}$$

alapján függ az U_j (junction voltage) nyitófeszültségtől, ahol $U_T = kT/q$ termikus feszültség, szobahőmérsékleten $25,85\text{mV}$ (26mV).

Ezen két egyenlet összerendezéséből adódik:

$$U_j(t) = U_T \cdot \ln \left(1 + \frac{p_{00}}{p_{n0}} \cdot e^{\left(-\frac{t}{\tau_p}\right)} \right)$$

A kezdeti időszakaszban még a természetes alapú logaritmus második tagja jóval nagyobb egynél, ezért az alábbi közelítés alkalmazható:

$$U_j(t) \cong U_{j0} - U_T \frac{t}{\tau_p}$$

Ez az egyenlet szerint a dióda feszültsége a nyitóáram megszűnése után, a kezdeti időszakaszban (tehát kis 't' értékeknél) lineárisan csökken, ezért az élettartammérésnél a **6. ábrán** látható csökkenő szakasz kezdeti részének meredekségét kell mérnünk. Így τ_p , azaz a lyukak élettartama az alábbi összefüggésből számítható:

$$\tau_p = U_T \cdot \frac{\Delta t}{\Delta U_j}$$

Mérési feladat:

2.3.1 Valósítsuk meg a **5. ábrán** látható mérési elrendezést. A mérendő diódákat rendre csatlakoztassuk a mintabefogó aljzatba a jelzett polaritással. A mérést csak szilícium-diódákkal végezzük el.

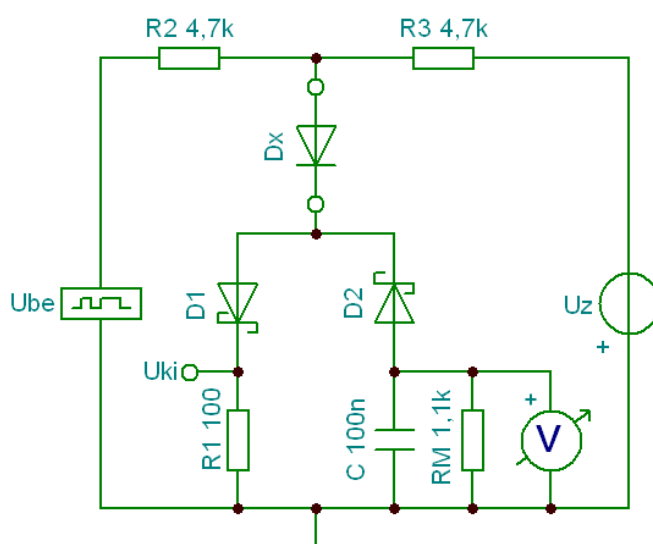
A függvénygenerátoron állítsunk be 10 V amplitúdójú, 1 kHz-es négyszögjel sorozatot, (melynek kitöltési tényezője (duty cycle) 50 %). A megfelelő „output” megnyomásával engedélyezzük a függvénygenerátor kimenetét. Az oszcilloszkópon nagyítsuk ki a jelet úgy, hogy a **6. ábrának** megfelelő hullámformát lássunk. Kísérletezzünk a függvénygenerátor diódánkénti más-más beállításával.

2.3.2 Határozzuk meg valamennyi rendelkezésre álló mérendő dióda esetében a τ_p időállandót az ismert összefüggések felhasználásával.

2.4. Diódában tárolt töltés

A 2.3. mérési pontban említettek szerint, a nyitóirányban előfeszített pn-átmenet ú.n. diffúziós kapacitása töltést tárol.

A tárolt töltés mérését a **7. ábrán** látható kapcsolás segítségével végezzük. A megadott kapcsolásban a tápegység által záróirányban előfeszített D_x diódára nyitóirányú áramimpulzusokat vezetünk, amelyek hatására a mérendő D_x diódán töltés halmozódik fel.



7. ábra: Mérőkapcsolás a diódában tárolt töltés meghatározására

A nyitóirányú áramimpulzusokat a D_1 dióda továbbítja az R_1 ellenállás felé, míg a tárolt töltés okozta záróáramot a D_2 dióda vezeti át. A kapcsolás helyes működésének feltétele, hogy D_1 és D_2 diódák sokkal gyorsabbak a D_x mérendő diódáknál.

A nyitóáramot az $R_1 = 100 \Omega$ ellenállás sarkai közé kapcsolt oszcilloszkópon látható impulzussorozat U_1 csúcsertékéből határozhatjuk meg:

$$\hat{I}_F = \frac{\hat{U}_1}{R_1}$$

Itt is megjegyzendő, hogy a képlet csak akkor ad helyes értéket, ha az oszcilloszkóp bemeneti ellenállása jóval nagyobb R_1 -nél; mivel $R_{be} = 1 \text{ M}\Omega$ lényegesen nagyobb, így az erre vonatkozó feltétel teljesül.

A mérendő dióda által tárolt töltés okozta áramot $C = 100 \text{ nF}$ kondenzátor integrálja, majd az átlagáramot az R_M mérőellenállás sarkaira kapcsolt digitális voltmérővel határozhatjuk

meg. A voltmérőt ehhez DCmV állásba kell kapcsolni. U_M feszültséget mérve, $R_M = 1,1 \text{ k}\Omega$ ismeretében a tárolt töltés:

$$Q = \frac{U_M}{R_M} t_i$$

A képletben t_i jelenti a függvénygenerátor szolgáltatott impulzusok periódusidejét. Ha U_M -et voltban, R_M -et ohmban, t_i -t pedig szekundumban helyettesítjük be, úgy a tárolt töltést coulombban kapjuk meg.

A C kondenzátor és R_M ellenállás alkotta párhuzamos RC tag időállandója:

$$\tau = R_M \cdot C = 0,1 \text{ ms}$$

A mérés akkor működik helyesen, ha az RC tag τ időállandója jóval nagyobb, mint a vizsgálójel t_i periódusideje. A diódában tárolt töltés függ a dióda nyitóirányú töltéstárolási állandójától, τ_{DF} -től és a nyitóáram csúcsértékétől, \hat{I}_F -től:

$$Q = \tau_{DF} \cdot \hat{I}_F$$

Tehát \hat{I}_F növelésével Q értéke is nőni fog. Fontos továbbá megjegyezni, hogy a tárolt töltés és a dióda feléléési ideje között szoros összefüggés áll fenn. A tárolt töltés megegyezik a **4. ábrán** látható I_R záróáram-függvény alatti területtel (integráltjával).

Mérési feladat:

2.4.1 Valósítsuk meg a **7. ábra** szerinti mérési elrendezést. V_{in} pontra csatlakoztassuk a Rigol függvénygenerátort, V_R pontok közé pedig a FOK-GYEM kettős tápegység egyik kimenetét (előzetesen beállított alacsony értékű áramkorlát után). V_{out} BNC csatlakozóra a digitális oszcilloszkópot, DMM pontok közé pedig Hameg multimétert kössünk DCmV állásnak megfelelően.

A függvénygenerátoron állítsunk be 50 kHz-es (20 μ s periódusidejű), 50 % kitöltési tényezőjű impulzussorozatot, melynek amplitúdója 10 V, offset feszültsége +5 V.

U_Z zárófeszültség értéke legyen -30V. Az egyik D_x dióda behelyezését követően ellenőrizzük, hogy V_{outi} pontokon megjelennek-e a nyitóirányú impulzusok.

*U₁ oszcilloszkópos mérése esetén a zaj miatt a csúcsértékek eltérőnek mutatkoznak digitális oszcilloszkópon; célszerű lehet a tüskék megjelenítésére az analóg használata.

2.4.2 Mérjük és határozzuk meg a rendelkezésre álló diódák mindegyike esetén a töltéstárolási időállandót (τ_{DF}), a nyitóáram csúcsértékét (\hat{I}_F), valamint tárolt töltés (Q) mennyiségeket.

3. Műszerek és kellékek:

- Mérődoboz,
- Hameg HM8012 digitális multiméter, 2db,
- FOK-GYEM TR9175/A kettős tápegység,
- Hameg HM8040 kettős tápegység (dióda előfeszültséghez),
- Rigol DS1052 digitális oszcilloszkóp,
- Rigol DG1022 funkció generátor.

4. Mérési jegyzőkönyv

A mérési jegyzőkönyvet e-mailben kell benyújtani a mérést követő két héten belül (ha az oktató szóban másképp nem kéri).

A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell:

- A mérést végzők nevét, a mérés helyét, idejét, tárgyát.
- Nyilatkozatot arról, hogy a mérést a nevezett személyek saját maguk végezték és az eredményeket maguk értékelték ki.
- A műszerek jegyzékét.
- Mérési feladatonként külön-külön a mért adatokat, az azokból kiértékelt adatokat, és a karakterisztikák grafikus megjelenítését.
- Mérési feladatonként külön-külön az eredmények értékelését.

KERÜLJÉK a jegyzőkönyvek másolását! Azonos vagy nagyon hasonló jegyzőkönyvek NEM FOGADHATÓK EL!

A jegyzőkönyvek meg kell, hogy feleljenek az intézeti honlapon megadott általános követelményeknek.

A mérési eredményeket ne pendrive-on, illetve egyéb adathordozón vigyék haza a mérés befejeztével, hanem e-mailben küldjék el maguknak!