

A varicap dióda működése

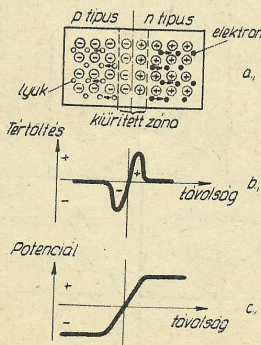
Szabó József
okl. vill. mérnök

A VARICAP DIÓDA

Az elektronika területén a félvezető eszközök előretérése már évekkel ezelőtt megindult. Jelen cikkben egy elterjedt diódatípusról — mely varicap és voltacip néven terjedt el — adunk ismertetést. A jelenség már régóta ismeretes. A lezárt p-n átmenet jellegzetes tulajdonsága, hogy a zárófeszültségtől függően különböző kapacitást képvisel. Ezen hatás kihasználása, csak azután vált lehetségessé, amikor nagy tisztaságú germániumot és szilíciumot tudtak előállítani. A dióda kis mérete, nagy mechanikai szilárdsága és közel hőfok független paraméterei lehetővé teszik, hogy az áramkörökben a hangoló kondenzátorokat, a feszültségfüggő kerámiakondenzátorokat, a reaktanciaváltakat, stb. ezen félvezető eszközzel helyettesítsük.

Elméleti áttekintés, működési elv

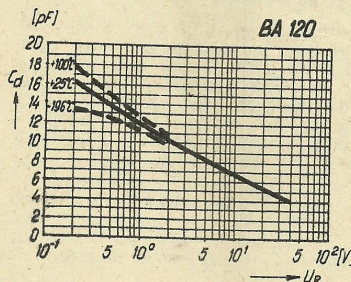
A többi rétegdiódához hasonlóan a varicap dióda is félvezető lapocskából áll, melynek alapanyaga germánium vagy szilícium. Általában az n vezető szilícium, míg a p-zónát alumínium vagy bór ötvöztetésével, diffundálásával állítják elő. Röviden vizsgáljuk meg, mi történik, ha p és n típusú félvezetőt összekapcsolunk. Az első pillanatban nagy diffúziós áram indul meg a határretegben keresztül: az n típusú félvezetőből elektronok kerülnek át a p típusú részbe, s az ellenkező irányban lyukak áramlása megy végbe. A határreteg két oldalán így ellenkező előjelű töltések halmozódnak fel (nem mozgékony ionok): a töltések ellentétes felhalmozódása következtében fellép egy megfelelő nagyságú elektrosztatikus potenciál, mely olyan irányú, hogy akadályozza a p-n átmenettől távolabb eső lyukak, illetve elektronok mozgását. Az 1/a. ábrán láthatjuk a határreteg két oldalán kialakuló töltéshordozó elrendeződést. A b. ábra a kialakuló tértöltést, míg a c. ábra az elektromos potenciál menetét mutatja. A kialakult potenciáltér gátolja ugyan a töltéshordozók mozgását, de elősegíti a kisebbségi töltéshordozók átjutását a határretegben: azaz elektronok áramolhatnak át a p-rétegből, és lyukak az n-rétegből.



1. ábra

Ez az áramlás telítésszerű, és emelkedő hőmérséklet hatására igen erősen növekszik, mivel a hőmérséklet emelkedése elősegíti a kisebbségi lyuk-elektron párok keletkezését.

A határreteg két oldalán az előbb említettek szerint pozitív, illetve negatív tértöltés keletkezik hasonlóan, mint a kondenzátorok két fegyverzetén. Vizsgáljuk meg, mi is történik tehát, ha a diódára zárófeszültséget adunk. A lyukak a p-, az elektronok pedig az n-tartomány felé mozognak. A diódára helyezett feszültségtől függően a kiürített zóna távolsága megváltozik, amely természetesen kapacitásváltozásnak felel meg (mintha egy kondenzátor lemezpárja távolodna egymástól). Más megfogalmazásban: a diódára adott feszültségtől függően a határreteg két oldalán a töltések felhalmozódnak vagy csökkennek, s ha a feszültség és töltés kapcsolata nem lineáris, ez kapacitásváltozással egyenértékű.



2. ábra

A diódára kapcsolt feszültség függvényében létrejövő kapacitást az elmélet szerint az alábbi formula adja:

$$C = \frac{K_c}{(U_R + U_d)^{\frac{1}{n}}}, \text{ ahol}$$

K_c minden diódára meghatározható konstans, mely magában foglalja az elektromos elemi töltést, a szilícium dielektromos állandóját és a mozgó töltéshordozók sűrűségfüggvényét. U_R a diódára adott zárófeszültség, U_d a diffúziós feszültség, mely szilícium alapanyag esetében $\approx 0,7$ V. Az n értéke diffundált diódáknál 3-at, ötvöztötteknél a 2-t közelíti meg leginkább, azaz

$$C = \frac{K_c}{3 \sqrt{U_R + U_d}} \text{ ill. } C = \frac{K_c}{\sqrt{U_R + U_d}}$$

adódik.

A 2. ábrán láthatjuk a BA 120 varicap dióda karakterisztikáját, az 1. táblázatban pedig több dióda adatait.

A kapacitásra vonatkozó fenti kifejezést U_R szerint differenciálva kapjuk a dC/dU_R hányadost, mely a dióda meredeksége.

Diffundált szilíciumdiódára elvezetve ezt a műveletet kapjuk:

$$S = \frac{dC}{dU_R} = \frac{-C}{3(U_R + U_d)}$$

A kifejezésből látható, hogy a dióda meredeksége az $U_R = 0$ környezetben a legnagyobb, amelyet egyes alkalmazásoknál ki is használnak.

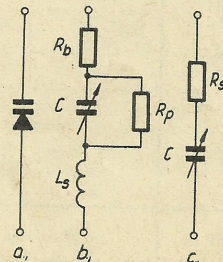
A 3/a. ábrán láthatjuk a varicap dióda jelölését, melyet célszerűen egy kapacitás és egy dióda összevonásából nyerhetünk. A b. ábrán a helyettesítő képet tüntettük fel. Az R_b ellenállás képviseli a félvezető réteg ellenállását, mely függ a szilícium alapanyag specifikus (fajlagos) ellenállásától, a keresztmetszettől, s az elválasztó nagyohmikus (félvezető átmenet) réteg vastagságától. Mivel ez az ellenállás főleg nagyfrekvencián befolyásolja a dióda használhatóságát, ezért célszerű, ha ennek értéke minél kisebb. Ebből következik, hogy a zárórétegnek a lehetőségekhez mérten kicsinek kell lennie, mely feltételt legkönnyebben a diffúziós diódáknál lehet teljesíteni. Az R_p ellenállás képviseli a záróréteg ellenállását. L_s soros induktivitás, mely igen magas frekvenciáknál határozza meg a dióda alkalmazási lehetőségeit. Az induktivitás értéke függ a kivezető huzalok átmérőjétől és hosszúságától. Közepes frekvenciáknál a dióda helyettesíthető a 3/c. ábrán látható módon, amikor is az R_b és R_p ellenállást egyetlen R_s soros ellenállással vontuk össze:

$$R_s \approx R_b + \frac{1}{(2\pi f \cdot C)^2 \cdot R_p}$$

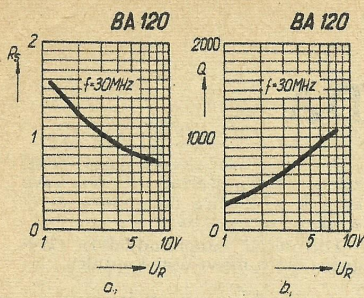
A dióda jellemzői a felhasználási frekvenciáknál közel frekvenciafüggetlenek.

A jósági tényező az alábbi összefüggésből határozható meg:

$$Q \approx \frac{1}{2\pi f \cdot C \cdot R_b + \frac{1}{2\pi f \cdot C \cdot R_p}}$$



3. ábra



4. ábra

A jósági tényező maximuma az

$$f_{Q_{max}} = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_b \cdot R_p}} \text{ frekvenciánál van, és értéke}$$

$$Q_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_p}{R_b}}$$

és független a dióda kapacitásától. Az összefüggésekből megállapítható, hogy $f_{Q_{max}}$ alatti frekvenciáknál a jósági tényezőt az R_p , míg felette az R_b ellenállás határozza meg.

A felső határfrekvencia, ameddig a dióda használható, ott van, ahol a jósági tényező az 1-et éri el:

$$f_{Q_1} = \frac{1}{2\pi R_p C}$$

A varicap diódák R_s veszteségi ellenállása a záróréteg vastagságától függ. Ha R_s nagyfrekvenciánál jelentkező hatásától eltekintünk, az R_s ellenállás változását a diódára adott feszültség függvényében a 4/a. ábrán láthatjuk: kisebb ellenállás nagyobb jósági tényezőt eredményez. Ennek menetét a 4/b. ábrán mutatjuk be. A legnagyobb gyakorlati jóságot akkor kapjuk, ha

a feszültséget olyan nagyra választjuk, hogy a dióda meredekségével meghatározott kapacitásváltozás még éppen elegendő legyen az adott áramkör működéséhez.

A diódának a hőmérséklet hatására megváltoznak a tulajdonságai, és ezt közvetve a diffúziós feszültség negatív hőegység határozza meg. Ezen feszültség megváltozásának hatása annál kisebb, mennél nagyobb a diódára adott zárófeszültség (U_R). A jósági tényező az R_b és R_p ellenállások megváltozása következtében szintén hőfokfüggő. R_b a félvezető anyag fajlagos ellenállásának függvénye, így negatív hőegység hatására csökken, és R_p szintén csökken — növekvő hőmérséklet hatására.

A dióda zaját, gondos felületkezelést feltételezve, csak az R_s ellenállás értéke határozza meg, melynek értéke:

$$U_z = 2 \sqrt{k \cdot T \cdot R_s \cdot \Delta f}$$

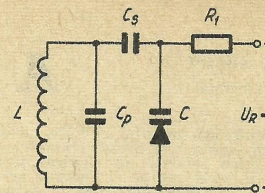
Az érintkező felületek nem elég tiszta volta kisfrekvenciás zajokat okozhat.

Alapkapcsolás

Egyes speciális esetektől eltekintve, a varicap diódákra záróirányú feszültséget kell adnunk. A záróirányú áram nagyon csekély, de a szükséges egyenfeszültség miatt a legtöbb esetben leválasztó kondenzátort kell kötnünk a diódával sorosan. Az eredő kapacitása

$$C_{er} = \frac{C_s \cdot C}{C_s + C} \text{ lesz, míg a jósági tényező}$$

$$Q_{er} = \frac{C_s + C}{C_s} \cdot Q \text{ értékre nő meg.}$$



5. ábra

A kapacitásváltozás azonban lecsökken, így:

$$\frac{d C_{er}}{d C} = \left(\frac{C_s}{C_s + C} \right)^2$$

A leghasználatosabb áramkör az 5. ábrán látható. A rezgőkör frekvenciáját külső telepről elektronikusán változtatni tudjuk: az R_s ellenállás nagyértékű lehet, rajta a feszültségesés a kis visszarám miatt elhanyagolható. A C_s kondenzátor az egyenfeszültséget választja le, C_p a rezgőkör alapkfrekvenciájának beállítására szolgál. Az R_s ellenállást úgy kell megválasztanunk, hogy a rezgőkört ne söntölje. Az így kialakított kapcsolás eredő kapacitása:

$$C_{er} = \frac{C_s \cdot C}{C_s + C} + C_p$$

A kapacitásváltozásra az összefüggés:

$$\frac{d C_{er}}{d C} = \left(\frac{C_s}{C_s + C} \right)^2$$

Az így kialakított rezgőkör jósági tényezője, csak a kondenzátorokat véve figyelembe:

$$Q_{er} = (C_p + C) \cdot \left(\frac{1}{C_s} + \frac{1}{C} \right) \cdot Q$$

(Folytatjuk)

1. táblázat

Típus	$U_R = -2 \text{ V}$		$U_R = -4 \text{ V}$		$U_R = -10 \text{ V}$		$U_R = -2 \text{ V}$		$U_R = -2 \text{ V}$		$I_F = 60 \text{ mA}$	$U_R = -10 \text{ V}$	U_Z
	C (pF)	f (MHz)	C (pF)	f (MHz)	C (pF)	f (MHz)	$R_S (\Omega)$	f (MHz)	Q	f (MHz)	$U_F (\text{V})$	$I_R (\text{nA})$	(V)
BA 110	10 (8...12)	30	8,3	30	6,3	30	1	30	540	30	<0,95	< 50	>30
BA 111	55 (45...65)	30	43,7	30	34,7	30	0,5	30	200	30	<0,95	<100	>20
BA 112	100 (80...120)	30	83	30	63	30	0,5	30	100	30	<0,95	<200	>20
BA 123	2000 (1600...2400)	0,5	1500	0,5	—	—	—	—	2000	0,015	<0,95	<500	>11
BA 119	45...65	30	—	—	—	—	1	30	100	30	<0,9	<100	>50
BA 120	8...12	30	—	—	—	—	1,2	30	440	30	<0,9	< 50	> 50
OA 910	35	30	32	30	—	—	<3	30	—	—	—	<100	>20
Típus	Kapacitás C (pF) $U_R = U_F = 0$		Meredekség dC/dU [pF/V] $U_R = U_F = 0$		Soros ellenállás $R_S (\Omega)$ $U = 0$		Záróirányú ellenállás $U_R/I_R (\Omega)$ $U_R = 20 \text{ mV}$		Zárófeszültség $U_Z (\text{V})$				
BAY 35	100 (80...120)		44		0,6		>20		5				
BAY 34	100		60		40		>2		10				