

A dióda hőfüggése és kapacitása

Tartalomjegyzék

<u>1. A dióda hőmérsékletfüggése</u>	2
<u>1.1. A hőmérséklet hatása a nyitóirányú karakterisztikára</u>	2
<u>1.2. A hőmérséklet hatása a záróirányú karakterisztikára</u>	3
<u>2. A dióda kapacitásai</u>	5
<u>2.1. Záróirányú kapacitás</u>	5
<u>2.2. Nyitóirányú kapacitás</u>	5

1. A dióda hőmérsékletfüggése

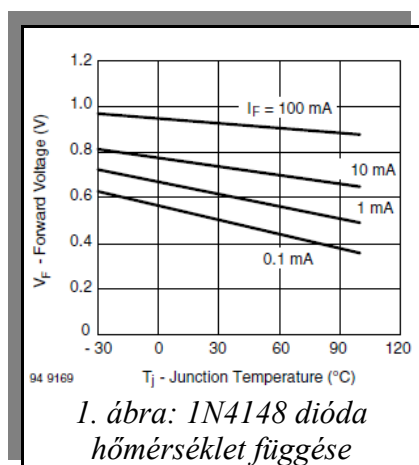
Egy alkatrész hőmérséklet függését a legtöbb esetben a **hőfoktényezőjével**¹ tudjuk jellemezni. Korábbi tanulmányaink során találkoztunk már ezzel a kifejezéssel. Egy ellenállásnál pl. az elsődleges hőfokfüggést a következőképpen tudjuk definiálni: $R_{(T)} = R_{(T_0)} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$, ahol a szokásos jelölés szerint α a hőfoktényező (egyes szakirodalmak itt is TK -t használnak).

A hőmérsékleti együttható a következőképpen számítható: $TK = \frac{\frac{\text{megváltozás}}{\text{névleges érték}}}{\Delta T}$.

mértékegysége: $\frac{1}{K}$, vagy $\frac{1}{^\circ C}$. Ellenállás esetén: $\alpha = TK = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\Delta T}$. Félvezetőknél a megváltozás általában áramra, vagy feszültségre vonatkozik. A hőfoktényezőt a legtöbb esetben százalékos, vagy ppm-es formában adjuk meg, így a mértékegység módosul: $\frac{\%}{K}$, $\frac{ppm}{K}$.

1.1. A hőmérséklet hatása a nyitóirányú karakterisztikára

A hőmérsékletfüggésről volt már szó áttételesen, hiszen az U_T termikus potenciál tartalmazza az abszolút hőmérsékletet. Mindemellett az I_0 , a kisebbségi töltéshordozók árama is erősen hőmérsékletfüggő (termikus képzés). Miután a dióda egyenlete nehezen kezelhető, ráadásul több paraméter együttes változását is figyelembe kellene vennünk, ezért a gyakorlatban egyszerűsítést és közelítést használva a következőt jelenthetjük ki a dióda hőmérséklet függéséről, szobahőmérséklet közelében: a jelleggörbe nyitóirányú szakasza² $\frac{-2mV}{K}$ -nel reagál a hőmérséklet megváltozására, vagyis a görbe *1 fok* növekedésre *2 mV*-al balra tolódik. Ez a változás megfelelő kialakítás mellett széles körben lineáris, ezért a dióda használható hőmérsékletmérésre is. A Moodle rendszerben található egy geogebra-val készült függvény a dióda karakterisztikájáról – ott tudjuk módosítani a hőmérsékletet és láthatjuk ennek hatását.



Az 1. ábrán az 1N4148 típusú dióda nyitóirányú hőmérséklet függését követhetjük nyomon. Jól látszik, hogy a **függvény** – széles hőmérséklet tartományban – **közel lineáris** és a jelleg szinte független³ a nyitóirányú áramtól.

Vizsgáljuk meg különböző munkaponti áramok esetén a hőmérséklet függést (1. táblázat)!

Hőmérséklet	U_D @ 1mA	U_D @ 10mA	U_D @ 100mA
-30 °C	0,72	0,81 V	0,98
90 °C	0,52	0,64	0,86
$\frac{\Delta U_F}{^\circ C}$	1,667 mV	1,417 mV	1 mV

1. táblázat

1 Hőmérsékleti együttható: TK (termikus koefficiens), TC (Temperature Coefficient).

2 Záróirányban a hőmérséklet növekedésével a záróirányú áram is növekszik, azonban a hatás nem lineáris. A záróirányú áram hőmérsékletfüggésének megismeréséhez tanulmányozzuk az adott diódátípus adatlapját!

3 Kis mértékben látszik a görbe meredekségének változása ez azonban nem jelentős.

1.2. A hőmérséklet hatása a záróirányú karakterisztikára

Záróirányban közönséges diódákon I_R **driftáram** folyik, ami – miután termikus képzés során jön létre – **erősen hőmérsékletfüggő**.⁴ A 2. ábrán és 3. ábrán láthatjuk, hogy **a hőmérséklet növekedésével a záróirányú áram jelentősen megnövekedhet** (2. táblázat).⁵

Dióda típus	Szobahőmérsékleten	A hőmérséklet növekedésének hatása
1N4148	25 nA	50 μ A (150 °C)
1N400x	5 μ A	50 μ A (100 °C)

2. táblázat

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F			1	V
Reverse current	$V_R = 20\text{ V}$	I_R			25	nA
	$V_R = 20\text{ V}, T_J = 150^\circ\text{C}$	I_R			50	μ A
	$V_R = 75\text{ V}$	I_R			5	μ A
Breakdown voltage	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}, t_p/T = 0.01, t_p = 0.3\text{ ms}$	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}, V_{HF} = 50\text{ mV}$	C_D			4	pF
Rectification efficiency	$V_{HF} = 2\text{ V}, f = 100\text{ MHz}$	η_r	45			%
Reverse recovery time	$I_F = I_R = 10\text{ mA}, i_R = 1\text{ mA}$	t_{rr}			8	ns
	$I_F = 10\text{ mA}, V_R = 6\text{ V}, i_R = 0.1 \times I_R, R_L = 100\text{ }\Omega$	t_{rr}			4	ns

2. ábra: 1N4148 gyors működésű kapcsoló dióda jellemzői

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T _A = 25°C unless otherwise specified									
Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%.									
Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Working Peak Reverse Voltage	V _{RWM}								
DC Blocking Voltage	V _R								
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ T _A = 75°C	I _O	1.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	30							A
Forward Voltage @ I _F = 1.0A	V _{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current @T _A = 25°C	I _{RM}	5.0							μA
at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 100°C		50							
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	15				8			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}	100							K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T _A	+150							°C
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to +150							°C

Notes:

1.

Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.

2.

Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.

3.

EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

3. ábra:

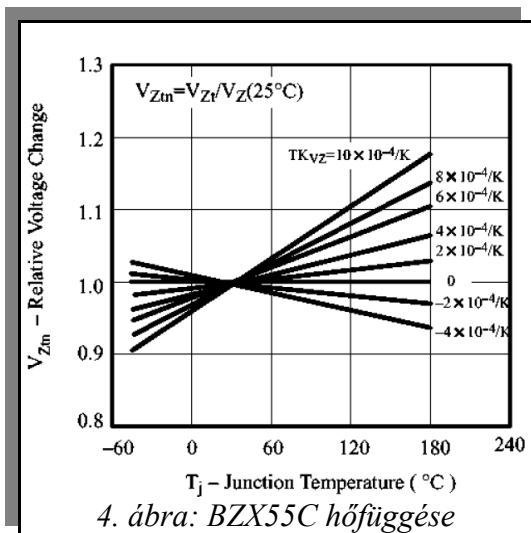
1N400x típusú egyenirányító dióda határértékei és jellemzői

Notes:

1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

3. ábra: 1N400x típusú egyenirányító dióda határértékei és jellemzői

- 4 A 2. ábrán megadott adatokból kitűnik, hogy a záróirányú áram erősen (exponenciálisan) függ a záróirányú feszültségtől is. Azoknál a diódáknál, ahol a záróirány is fontos szerephez jut (pl. egyenirányítás) a maximális záróirányú feszültségre adják a záróirányú áramot (3. ábra).
- 5 A növekedés minden esetben megtörténik, azonban annak mértéke függ az alkalmazott dióda besorolásától (egyenirányító, kapcsoló, Schottky, stb) és a konkrét típustól is.



Zárárányban a hőmérséklet hatására történő I_R megváltozás általában nem befolyásolja a működést – a diódát lezártak tekintjük.

A hőmérséklet gondot okoz azonban azoknál a diódáknál, amiket speciálisan zárárányban a letörési szakaszon üzemeltetünk (*Zener dióda*).

A 4. ábrán láthatjuk, hogy a hőmérséklet hogyan befolyásolja az U_{ZT} Zener feszültséget. Azért van több görbe is ábrázolva, mert a relatív hőmérséklet függést befolyásolja a névleges feszültség értéke is. Ezt az 5. ábrán láthatjuk. **Amíg a Zener hatás dominál** ($U_{ZT} < 4V$), **addig a hőfoktényező negatív**, amint a **lavina hatás lesz erősebb** ($U_{ZT} > 6V$) a **hőfoktényező pozitív** lesz. A két érték között mindkét hatás fellép.

Type	V_{Znom}	I_{ZT} for V_{ZT} and r_{ZT}			r_{ZK} at I_{ZK}		I_R and I_R at V_R			TK_{VZ}
BZX55C	V	mA	$V^{(1)}$	Ω	Ω	mA	μA	$\mu A^{(2)}$	V	%/K
2V4	2.4	5	2.28~2.56	<85	<600	1	<50	<100	1	-0.09~-0.06
2V7	2.7	5	2.5~2.9	<85	<600	1	<10	<50	1	-0.09~-0.06
3V0	3.0	5	2.8~3.2	<85	<600	1	<4	<40	1	-0.08~-0.05
3V3	3.3	5	3.1~3.5	<85	<600	1	<2	<40	1	-0.08~-0.05
3V6	3.6	5	3.4~3.8	<85	<600	1	<2	<40	1	-0.08~-0.05
3V9	3.9	5	3.7~4.1	<85	<600	1	<2	<40	1	-0.08~-0.05
4V3	4.3	5	4.0~4.6	<75	<600	1	<1	<20	1	-0.06~-0.03
4V7	4.7	5	4.4~5.0	<60	<600	1	<0.5	<10	1	-0.05~-0.02
5V1	5.1	5	4.8~5.4	<35	<550	1	<0.1	<2	1	-0.02~-0.02
5V6	5.6	5	5.2~6.0	<25	<450	1	<0.1	<2	1	-0.05~-0.05
6V2	6.2	5	5.8~6.6	<10	<200	1	<0.1	<2	2	0.03~0.06
6V8	6.8	5	6.4~7.2	<8	<150	1	<0.1	<2	3	0.03~0.07
7V5	7.5	5	7.0~7.9	<7	<50	1	<0.1	<2	5	0.03~0.07
8V2	8.2	5	7.7~8.7	<7	<50	1	<0.1	<2	6.2	0.03~0.08
9V1	9.1	5	8.5~9.6	<10	<50	1	<0.1	<2	6.8	0.03~0.09
10	10	5	9.4~10.6	<15	<70	1	<0.1	<2	7.5	0.03~0.1
11	11	5	10.4~11.6	<20	<70	1	<0.1	<2	8.2	0.03~0.11
12	12	5	11.4~12.7	<20	<90	1	<0.1	<2	9.1	0.03~0.11
13	13	5	12.4~14.1	<26	<110	1	<0.1	<2	10	0.03~0.11
15	15	5	13.8~15.6	<30	<110	1	<0.1	<2	11	0.03~0.11
16	16	5	15.3~17.1	<40	<170	1	<0.1	<2	12	0.03~0.11

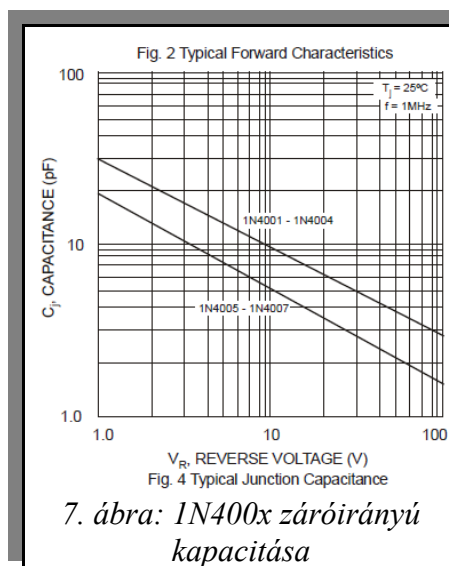
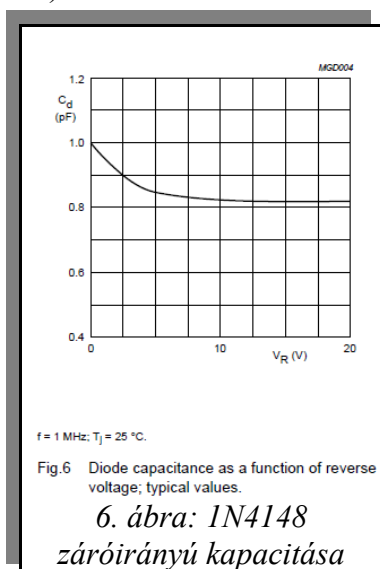
5. ábra: BZX55C jellemzői a Zener feszültség függvényében

2. A dióda kapacitásai

2.1. Záróirányú kapacitás

A *PN átmenet* felfogható egy síkkondenzátornak. A kiürített rétegben lévő atomok alkotják a két fegyverzetet. A záróirányú feszültség megnöveli a kiürített réteg szélességét, így megnövelve a dióda kapacitását is. Ezt a tulajdonságot a speciálisan erre a célra gyártott *varicap* (*varaktor*) diódák használják ki, amelyekkel létre tudunk hozni villamos jellel (feszültséggel) változtatható kondenzátorokat. Az ilyen eszközöket használhatjuk a híradástechnikában hangolásra (rádiók, TV tunerek)⁶. A kapacitás káros is lehet nagyfrekvenciás használat esetén. Magasabb frekvenciákra a gyártók a *tűsdiódákat* fejlesztették ki, amelyeknél a *PN átmenetet* a lehető legkisebb felületre csökkentik. Ezt úgy lehet elérni, hogy az alap *N rétegre* – ami jellemzően *germánium* – egy *volfrám szálat* hegesztenek egy rövid ideig tartó nagy áramimpulzus segítségével. A szál és a réteg összehegesztett részén alakul ki a *PN átmenet*. A kis felület nagyon kis ($<1\text{pF}$) kapacitást eredményez, ami ideálissá teszi az alkatrészt nagyfrekvenciás üzemeltetésre.

A 2. ábrán meg van adva az *1N4148* típusú diódára a maximális záróirányú kapacitás ($C_d = 4\text{pF}$). Fontos azonban tudnunk, hogy **ez függ** a hőmérséklettől és a **záróirányú feszültségtől** is (6. és 7. ábra).



2.2. Nyitóirányú kapacitás

Ahhoz, hogy a diódát egyik munkapontból a másikba vigyük, töltéseket kell megmozgatnunk. Ez felfogható úgy is, hogy a dióda kapacitással rendelkezik. A nyitóirányú kapacitás főleg akkor okoz gondot, ha a diódát nyitóirányból záróirányba kívánjuk előfeszíteni. A katalógusok nem is kapacitást adnak meg, hanem azt a minimális időt, amin a dióda még kapcsolóüzemben működtethető. Amennyiben gyorsan szeretnénk a diódát kapcsolni, speciálisan erre a célra kifejlesztett kapcsolódiódát alkalmazzunk (pl. *1N4148*: $t_{rr} = 4\text{ns}$), mert pl. egy egyenirányító diódának nagyon nagy nyitóirányú kapacitása van (pl. *1N400x*: $t_{rr} = 30\mu\text{s}$). A t_{rr} paraméter pontos értelmezéséhez tanulmányozzuk az *Adatlapok elemzése* című dokumentumot a Moodle rendszerben!

A 8. 9. és 10. ábrákon láthatjuk, hogy milyen gondot okozhat a nyitóirányú kapacitás, vagyis helyesebben a t_{rr} érték. Az *1N4007*-es diódát nagyobb frekvenciákon már nem tudjuk kikapcsolni, a dióda záróirányú előfeszítés esetén is átvezet. A 11. ábrán láthatjuk, hogy az *1N4149*-nél – a kis t_{rr} értéke miatt – nincs ilyen jellegű probléma.

⁶ A *varicap* diódák kapacitásai igen kis tartományba esnek (pF nagyságrend),

