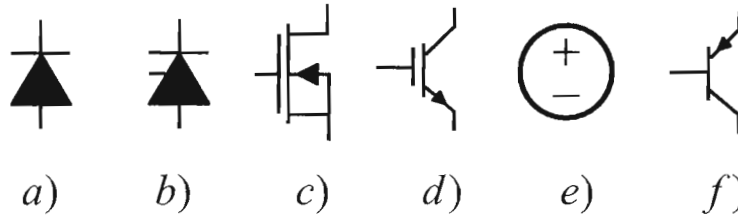


**Tehtävä 1.**

Kuvassa 1 on esitetty kuusi komponenttia symbolien muodossa. Mitä ko. komponentit ovat? 1p/komponentti

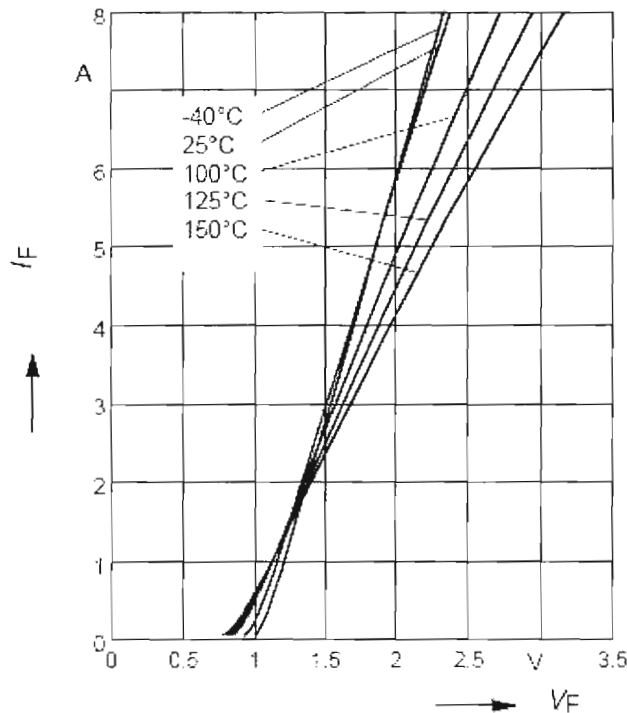


Kuva 1

**Tehtävä 2.**

Kuvassa 2 on esitetty annettu erään SIC-diodin virta-jännitekäyrästä.

- Määritä ko. käyrästä ko. diodin jatkuvan tilan vastinpiiri, kun  $I_F = 4 \text{ A}$  ja diodin lämpötila  $150^\circ\text{C}$  (2 p)
- Oletetaan, että kokonaisvirta on  $12 \text{ A}$  ja aiot kytkeä kaksi ko. diodia rinnan. Miten virta jakautuu ko. diodien kesken? Pysykö likimain tasan vai pyrkiikö toinen ottamaan enemmän kuin toinen? Perustelet vastaus kuvan 1 käyrän antaman informaation pohjalta (2 p)
- Diodin virran keskiarvo on  $4 \text{ A}$  ja tehollisarvo  $5 \text{ A}$  ja rajapintalämpötila  $150^\circ\text{C}$ . Mikä on diodin tehohäviö (2 p) (Kuva 1).



Kuva 2

**Tehtävä 3.**

Taulukossa I on esitetty erään IGBT:n parametrejä. Määritä ko. taulukon perusteella

- a) Mikä on IGBT:n  $C_{gc}$ -kondensaattorin tyypillinen arvo (1 p)?
- b) Mikä on IGBT:n  $C_{ge}$ -kondensaattorin maksimi arvo (1 p)?
- c) Kuinka paljon tehoa tyypillisesti tarvitaan IGBT päälle kytkemiseen 50 kHz taajuudella hilajännitteen ollessa 5 V (1 p)?
- d) Mikä on IGBT:n maksimi käyttövirta (1 p)?
- e) Mikä on IGBT:n tyypillinen päällekytkentä tehohäviö 50 kHz taajuudella (1 p)?
- f) Mikä on IGBT:n tyypillinen katkaisutehohäviö 50 kHz taajuudella (1 p)?

**Taulukko I**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$g_{fs}$	Forward Transconductance	$V_{CE} = 25 \text{ V}$ $I_C = 8 \text{ A}$ $T_J = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	7	12		S
$C_{ies}$	Input Capacitance	$V_{CE} = 25 \text{ V}$ $f = 1 \text{ MHz}$ $V_{GE} = 0$		1800	2800	pF
$C_{oes}$	Output Capacitance			120	185	pF
$C_{res}$	Reverse Transfer Capacitance			19	28	pF
$Q_G$	Gate Charge	$V_{CE} = 400 \text{ V}$ $I_C = 8 \text{ A}$ $V_{GE} = 5 \text{ V}$		30		nC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{OL}$	Latching Current	$V_{damp} = 480 \text{ V}$ $\rho_{width} = 200 \text{ V}\mu\text{s}$ $T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	20			A
$E_{CF}$	Forward Clamping Energy	$T_{start} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ $V_{damp} = 480 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ A}$ $L = 4.2 \text{ mH}$ - Single Pulse	210			mJ
$E_{AR}$	Reverse Avalanche Energy		10			mJ

**SWITCHING ON**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Delay Time	$V_{CE} = 480 \text{ V}$ $I_C = 8 \text{ A}$ $V_{GE} = 5 \text{ V}$ $R_{\theta} = 1 \text{ k}\Omega$		0.7		$\mu\text{s}$
$t_r$	Rise Time			1.9		$\mu\text{s}$
$(di/dt)_{cr}$	Turn-on Current Slope	$V_{CE} = 480 \text{ V}$ $I_C = 8 \text{ A}$ $R_{\theta} = 1 \text{ k}\Omega$ $V_{GE} = 5 \text{ V}$ $T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$		6		A/ $\mu\text{s}$
$E_{on}$	Turn-on Switching Losses			2.5		mJ

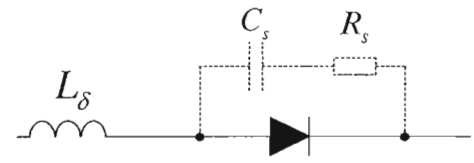
**SWITCHING OFF**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_c$	Cross-Over Time	$V_{CE} = 480 \text{ V}$ $I_C = 8 \text{ A}$ $R_{\theta} = 1 \text{ k}\Omega$ $V_{GE} = 5 \text{ V}$ $T_J = 25 \text{ }^\circ\text{C}$		4		$\mu\text{s}$
$t_{r(off)}$	Off Voltage Rise Time			2.5		$\mu\text{s}$
$t_f$	Fall Time			1.5		$\mu\text{s}$
$E_{off}^{(*)}$	Turn-off Switching Loss			9.0		mJ
$t_c$	Cross-Over Time	$V_{CE} = 480 \text{ V}$ $I_C = 8 \text{ A}$ $R_{\theta} = 1 \text{ k}\Omega$ $V_{GE} = 5 \text{ V}$ $T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$		8		$\mu\text{s}$
$t_{r(off)}$	Off Voltage Rise Time				2.3	
$t_f$	Fall Time			2.5		$\mu\text{s}$
$E_{off}^{(**)}$	Turn-off Switching Loss			10.5		mJ

(\*) Pulse width limited by safe operating area  
 (\*\*) Pulsed: Pulse duration = 200  $\mu\text{s}$  duty cycle 1.5 %  
 (\*\*\*) Losses include also the Tail (see standardization)

**Tehtävä 4.**

Tehtävänäsi on suunnitella diodin estotilaan kytketymisen aikana ilmenevän värähtelyn vähentävä piiri (s.o. snubber) käyttäen sarjaan kytkettyä  $RC$ -piiriä kuvan 3 mukaisesti. Tiedetään, että ko. värähtelyn taajuus  $f = 24$  MHz ja se johtuu piirin hajainduktansseista ja – kapasitansseista. Hajainduktanssin suuruudeksi on määritetty  $10 \mu\text{H}$ . Käytä Raymond Ridley'n kehittämää resonanssipiirin karakteriseen impedanssiin perustuvaa menetelmää.  $Z_o = \sqrt{L/C}$   $\omega_o = 1/\sqrt{LC}$

**Kuva 3**

- Mitoita  $C_s$  (2 p)
- Mitoita  $R_s$  (2 p)
- Mikä on alkuperäisen piirin hajakapasitanssin suuruus? (2 p)

**Tehtävä 5.**

Tehopuolijohteen häviöteho on  $5 \text{ W}$ . Jäähdytyslevyn (heat sink) ja kotelon (case) välissä käytetään piirasvaa, jolloin  $R_{th(j-c)} = 2.5^\circ\text{C/W}$  ja  $R_{th(c-hs)} = 0.1^\circ\text{C/W}$ .

- Piirrä tilannetta havainnollistava kuva ja merkitse siihen b- ja c-kohdissa tarvittavat suureet (2p).
- Mitoita tarvittava jäähdytyslevy (s.o.,  $R_{th(e-a)}$ ), kun komponentin kotelon lämpötilan sallitaan olevan maksimissaan  $60^\circ\text{C}$  ympäristön (ambient) ollessa  $50^\circ\text{C}$  (2p).
- Mikä on b-kohdan tilanteessa puolijohteen rajapintalämpötila (junction) (1p)?
- Kuinka suureksi piirasvan kuivaessa  $R_{th(c-hs)}$  saa kasvaa, jotta puolijohteen rajapintalämpötila pysyy alle  $150^\circ\text{C}$  (1p)?