

Tentti 14.12.2009, kello 13 ... 16, sali S3

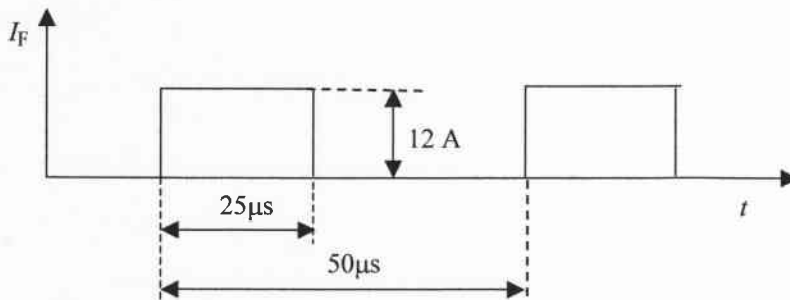
## Papereihin

- sukunimi ja etunimet
- opiskelijanumero
- koulutusohjelma.

## Tentissä sallitut apuvälineet

- kynät, kumit jne.
- taskulaskin
- lukion kaavakokoelma tms. + Laplace taulut

1. Selvitä lyhyesti (max. 2...4 lausetta + mahdollinen kuva), mitä seuraavilla termeillä tarkoitetaan
  - neutronisäteilytys
  - tyristorin toipumisaika
  - varistori
  - lähivaikutus
  - Hall-anturi.
2. Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
3. Esittele kirjassa esitetyt vastustyyppit, niiden ominaisuudet ja käyttötarkoitukset. Kerro myös mitä asioita on otettava huomioon vastuksen valinnassa ja mitoituksessa.
4. Taajuusmuuttajassa aiotaan käyttää Schottky-diodia IDH15S120. Diodin virran oletetaan olevan yksinkertaisuuden vuoksi alla olevan kuvan mukaista. Ympäristölämpötila on  $60\text{ }^\circ\text{C}$  ja jännite diodin siirtyessä estotilaan  $900\text{ V}$ . Mikä on tarvittavan jäähdytyslelementin lämpövastus? Oleta katkaisuhäviöenergian olevan yhtäsuuri kuin diodin liitoskapasitanssiin varautuva energia.



5. Ferriittisydämen omaava muuntaja, jonka häviöteho on  $2,5\text{ W}$ , on asennettu piirilevyllä siten, että sydän on tiivistä piirilevyä vasten. Muuntajan piirilevyä vasten olevan pinnan pinta-ala on noin  $15\text{ cm}^2$  ja muun osan pinta-ala on noin  $70\text{ cm}^2$ . Muuntajan lämpövastusta arvioidaan kaavalla  $R_{th} = 11,7 A^{-0,7} P_H^{-0,15}$  jossa  $R_{th}$  on lämpövastus, yksikkö  $\text{K/W}$ ,  $A$  on pinta-ala neliödesimetreissä ja  $P_H$  häviöteho watteina.
  - a) Mikä on muuntajan lämpövastus, jos sen oletetaan jäähtyvän kaikilta pinnoiltaan?
  - b) Mikä on muuntajan lämpövastus, jos oletetaan ettei piirilevyn kautta johdu lämpöä?
  - c) Mikä on muuntajan alla olevan piirilevyn lämpövastus jos sen paksuus on  $2\text{ mm}$  ja lämmönjohtavuus  $\lambda = 0,3 \frac{\text{W}}{\text{K m}}$ . Oleta, että lämpöä siirtyy vain muuntajan kokoiselta alueelta.
  - d) Mikä on muuntajan lämpövastus piirilevyn vaikutus huomioiden?



**thinQ!™ SiC Schottky Diode**

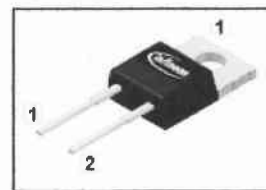
**Features**

- Revolutionary semiconductor material - Silicon Carbide
- Switching behavior benchmark
- No reverse recovery/ No forward recovery
- Temperature independent switching behavior
- High surge current capability
- Pb-free lead plating; RoHS compliant
- Qualified according to JEDEC<sup>1)</sup> for target applications
- Optimized for high temperature operation
- Lowest Figure of Merit  $Q_C/I_F$

**Product Summary**

$V_{DC}$	1200	V
$Q_C$	54	nC
$I_F, T_C < 130\text{ °C}$	15	A

**PG-TO220-2**



**thinQ!™ Diode designed for fast switching applications like:**

- SMPS e.g.; CCM PFC
- Motor Drives; Solar Applications; UPS

Type	Package	Marking	Pin 1	Pin 2
IDH15S120	PG-TO220-2	D15S120	C	A

**Maximum ratings**

Parameter	Symbol	Conditions	Value	Unit
Continuous forward current	$I_F$	$T_C < 130\text{ °C}$	15	A
Surge non-repetitive forward current, sine halfwave	$I_{F,SM}$	$T_C = 25\text{ °C}, t_p = 10\text{ ms}$	78	
		$T_C = 150\text{ °C}, t_p = 10\text{ ms}$	66	
Non-repetitive peak forward current	$I_{F,max}$	$T_C = 25\text{ °C}, t_p = 10\text{ μs}$	300	
$i^2t$ value	$\int i^2 dt$	$T_C = 25\text{ °C}, t_p = 10\text{ ms}$	30	A <sup>2</sup> s
		$T_C = 150\text{ °C}, t_p = 10\text{ ms}$	20	
Repetitive peak reverse voltage	$V_{RRM}$	$T_j = 25\text{ °C}$	1200	V
Diode dv/dt ruggedness	$dv/dt$	$V_R = 0 \dots 480\text{ V}$	50	V/ns
Power dissipation	$P_{tot}$	$T_C = 25\text{ °C}$	187.5	W
Operating and storage temperature	$T_j, T_{stg}$		-55 ... 175	°C
Mounting torque		<b>M3 and M3.5 screws</b>	60	Ncm



IDH15S120

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			min.	typ.	max.	

**Thermal characteristics**

Thermal resistance, junction - case	$R_{thJC}$		-	-	0.8	K/W
Thermal resistance, junction - ambient	$R_{thJA}$	Thermal resistance, junction- ambient, leaded	-	-	62	
Soldering temperature, wavesoldering only allowed at leads	$T_{sold}$	1.6 mm (0.063 in.) from case for 10 s	-	-	260	°C

**Electrical characteristics, at  $T_j=25\text{ °C}$ , unless otherwise specified****Static characteristics**

Diode forward voltage	$V_F$	$I_F=15\text{ A}, T_j=25\text{ °C}$	-	1.65	1.8	V
		$I_F=15\text{ A}, T_j=150\text{ °C}$	-	2.55	-	
Reverse current	$I_R$	$V_R=1200\text{ V}, T_j=25\text{ °C}$	-	15	360	μA
		$V_R=1200\text{ V}, T_j=150\text{ °C}$	-	60	1500	

**AC characteristics**

Total capacitive charge	$Q_c$	$V_R=400\text{ V}, I_F \leq I_{F,max}, di/dt=200\text{ A}/\mu\text{s}$	-	54	-	nC
Switching time <sup>2)</sup>	$t_c$	$T_j=150\text{ °C}$	-	-	<10	ns
Total capacitance	$C$	$V_R=1\text{ V}, f=1\text{ MHz}$	-	750	-	pF
		$V_R=300\text{ V}, f=1\text{ MHz}$	-	60	-	
		$V_R=600\text{ V}, f=1\text{ MHz}$	-	54	-	

<sup>1)</sup> J-STD20 and JESD22

<sup>2)</sup>  $t_c$  is the time constant for the capacitive displacement current waveform (independent from  $T_j$ ,  $I_{LOAD}$  and  $di/dt$ ), different from  $t_{rr}$  which is dependent on  $T_j$ ,  $I_{LOAD}$  and  $di/dt$ . No reverse recovery time constant  $t_{rr}$  due to absence of minority carrier injection.

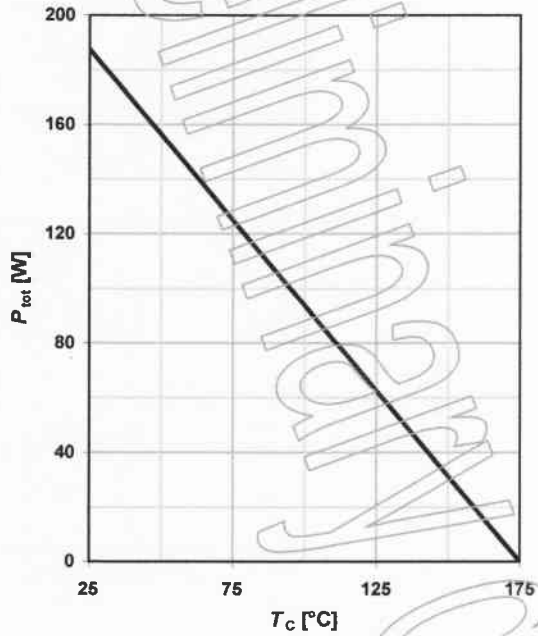
<sup>3)</sup> Under worst case  $Z_{th}$  conditions.

<sup>4)</sup> Only capacitive charge occurring, guaranteed by design



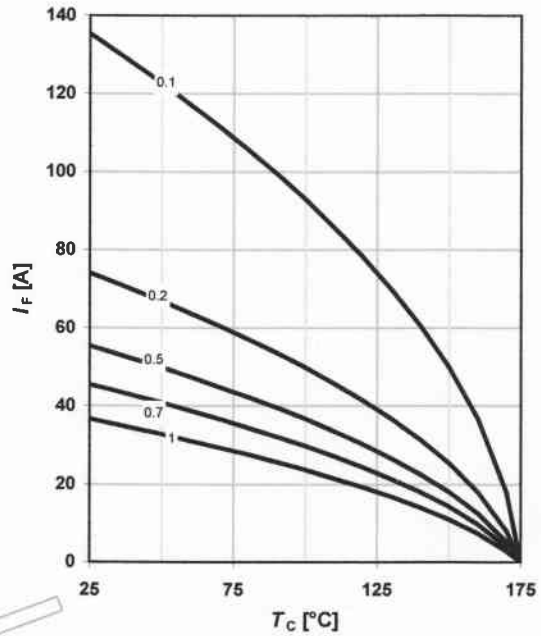
1 Power dissipation

$P_{tot}=f(T_C)$



2 Diode forward current

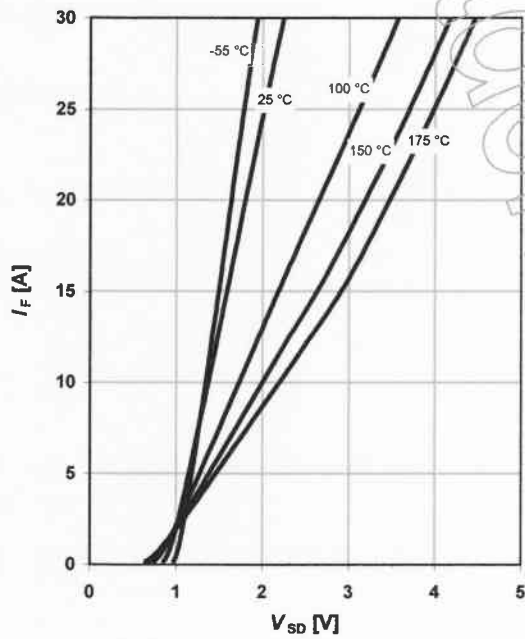
$I_F=f(T_C); T_j \leq 175\text{ }^\circ\text{C}$



3 Typ. forward characteristic

$I_F=f(V_F); t_p=400\text{ }\mu\text{s}$

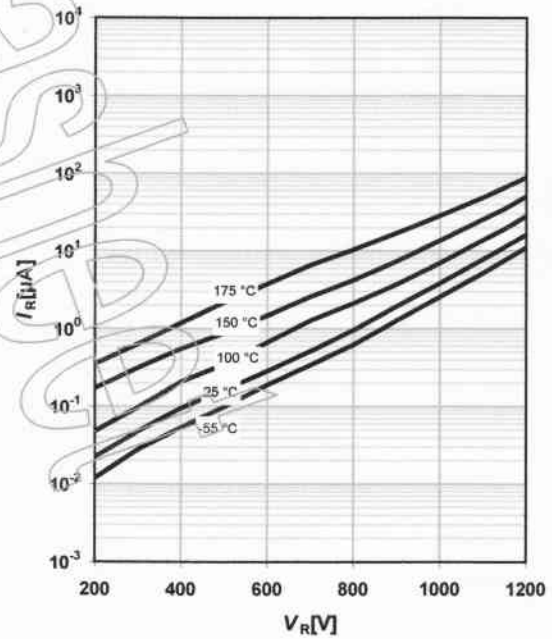
parameter:  $T_j$



5 Typ. reverse current vs. reverse voltage

$I_R=f(V_R)$

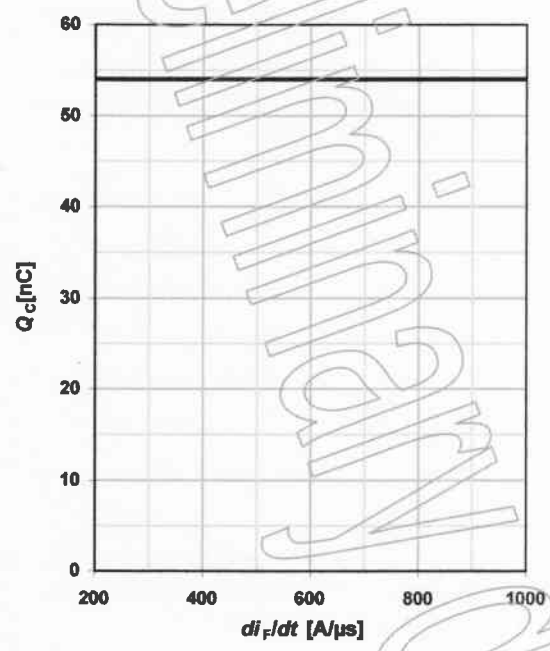
parameter:  $T_j$





5 Typ. capacitance charge vs. current slope

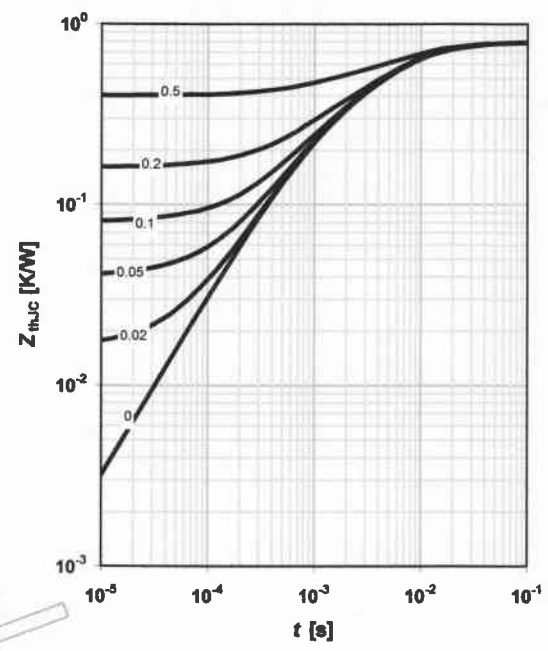
$Q_C = f(di_F/dt)^2; T_J = 150^\circ C$



6 Transient thermal impedance

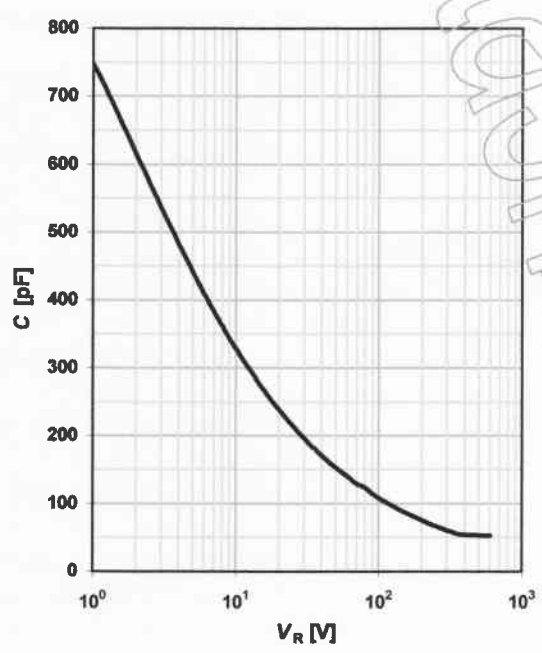
$Z_{thJC} = f(t_p)$

parameter:  $D = t_p/T$



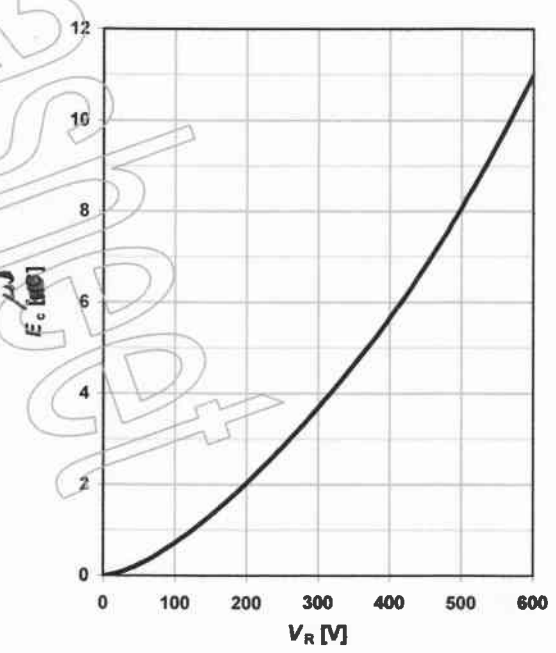
7 Typ. capacitance vs. reverse voltage

$C = f(V_R); T_C = 25^\circ C, f = 1 \text{ MHz}$



8 Typ. C stored energy

$E_C = f(V_R)$



Tentti 14.12.2009

## RATKAISUT

Tehtävät 1-3: Katso kirjaTehtävä 4:

Kuvasta 3 nähdään, että  $I_F = f(V_{SD})$  on melko lineaarinen virta-alueella 10...15 A kun  $T_J = 175^\circ\text{C}$

$$\text{Interpoloidaan: } I_F = 10 \text{ A} \Rightarrow V_{SD} \approx 2.2 \text{ V}$$

$$I_F = 15 \text{ A} \Rightarrow V_{SD} \approx 2.9 \text{ V}$$

$$V_{SD}(12 \text{ A}) \approx \frac{2.9 \text{ V} - 2.2 \text{ V}}{15 \text{ A} - 10 \text{ A}} (12 \text{ A} - 10 \text{ A}) + 2.2 \text{ V}$$

$$\approx 2.5 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \text{Johtohäviöt } E_{H_{ON}} = I_F \cdot V_{SD} \cdot t_{ON} = 12 \text{ A} \cdot 2.5 \text{ V} \cdot 25 \mu\text{s}$$

$$= 0.75 \text{ mJ}$$

Estotilan häviöt:

Kuvasta 5:  $I_R \approx 18 \mu\text{A}$  kun  $T_J = 175^\circ\text{C}$  ja  $V_R = 900 \text{ V}$

$$E_{H_{OFF}} = V_R \cdot I_R \cdot t_{OFF} = 900 \text{ V} \cdot 18 \mu\text{A} \cdot 25 \mu\text{s} \approx 0.4 \mu\text{J}$$

Päällekytkentähäviöt ovat mitättömät koska datalehden sivun 1 mukaan diodilla "No forward recovery". Lisäksi diodin jännitteen muutoksen määrää lähinnä taajuusmuuttajassa käytetty transistori, joten liitoskapasitanssiin varastoitunut energia muuttuu lämmöksi lähimmässä siellä.

Virran katkaisussa syntyvät liitoskapasitanssin varautumisesta johtuvat häviöt voidaan "varman päälle" laskeksi arvioida olevan yhtäsuuret kuin liitoskapasitanssiin varautuva energia

Teht. 4 jatkoa

Datalehden kuva 8 antaa suoraan ko. energian, mutta valitettavasti jännite loppuu 600V arvoon. Siten joudutaan ekstrapoloimaan käyrää 900V arvoon.  
Lihpittäen

$$E_c \approx 23 \mu\text{J}$$

Kokonaishäviöenergia on siten jakson aikana

$$E_{\text{TOT}} = E_{\text{HON}} + E_{\text{HOFF}} + E_c \approx 0,75 \text{ mJ} + 0,0004 \text{ mJ} + 0,023 \text{ mJ} \\ \approx 0,773 \text{ mJ}$$

Selvästikin estotilan häviöillä eikä edes katkaisuhäviöillä ole tässä tapauksessa suurta merkitystä.

Kokonaishäviöteho on keskiarvoltaan

$$P_{\text{H AVE}} = f \cdot E_{\text{TOT}} = \frac{1}{50 \mu\text{s}} \cdot 0,773 \text{ mJ} \approx 15,5 \text{ W}$$

Lämpövastus  $R_{\text{thJC}} = 0,8 \text{ K/W}$  datalehden mukaan.

Koska kytkentätaajuus on paljon suurempi kuin 1 kHz, voidaan laskea lämpenemä käyttäen keskimääräistä häviötehoa. Siten

$$T_{\text{J MAX}} \leq P_{\text{HAVE}} (R_{\text{thJC}} + R_{\text{thCA}}) + T_A$$

$$\text{josta saadaan } R_{\text{thCA}} \leq \frac{T_{\text{J MAX}} - T_A - R_{\text{thJC}} P_{\text{HAVE}}}{P_{\text{HAVE}}} \\ = \frac{175^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C} - 0,8 \text{ }^\circ\text{C/W} \cdot 15,5 \text{ W}}{15,5 \text{ W}}$$

$$\approx \underline{\underline{6,6 \text{ }^\circ\text{C/W}}}$$

Teht. 5

$$P = 2,5 \text{ W}$$

$$a) \quad A = 0,15 \text{ dm}^2 + 0,7 \text{ dm}^2 = 0,85 \text{ dm}^2 \quad (\text{kaikki pinnat})$$

$$R_{th_a} = 11,7 \cdot 0,85^{-0,7} \cdot 2,5^{-0,15}$$

$$\approx \underline{\underline{11,4 \frac{\text{K}}{\text{W}}}}$$

$$b) \quad A = 0,7 \text{ dm}^2 \quad (\text{ei pohjan kautta jäähdytystä})$$

$$R_{th_b} = 11,7 \cdot 0,7^{-0,7} \cdot 2,5^{-0,15}$$

$$\approx \underline{\underline{13,1 \frac{\text{K}}{\text{W}}}}$$

$$c) \quad R_{th} = \frac{l}{A \lambda} \quad \text{Piiirelevy}$$

$$l = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

$$A = 0,15 \text{ dm}^2 = 0,0015 \text{ m}^2$$

$$\lambda = 0,3 \frac{\text{W}}{\text{K m}}$$

$$\Rightarrow R_{th_{levy}} = \frac{0,002 \text{ m}}{0,0015 \text{ m}^2 \cdot 0,3 \frac{\text{W}}{\text{K m}}} \approx \underline{\underline{4,44 \frac{\text{K}}{\text{W}}}}$$

d) Lasketaan arvio ensin sille, kuinka suuri on muuntajan "pohjan" lämpövastus ilman piiirelevyä

$$\frac{1}{R_{th_{pohja}}} + \frac{1}{R_{th_b}} = \frac{1}{R_{th_a}}$$



$$\Rightarrow R_{th_{pohja}} = \frac{R_{th_b} \cdot R_{th_a}}{R_{th_b} - R_{th_a}} = \frac{13,1 \frac{\text{K}}{\text{W}} \cdot 11,4 \frac{\text{K}}{\text{W}}}{13,1 \frac{\text{K}}{\text{W}} - 11,4 \frac{\text{K}}{\text{W}}} \approx 87,8 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$



Teht. 5 jatkoa

Piirilevyn kanssa pohjan lämpövastus on siten suurimpiirtein

$$R_{th_{\text{pohja+levy}}} = R_{th_{\text{pohja}}} + R_{th_{\text{levy}}} \approx 87,8 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 4,44 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\approx 92,3 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Ja koko muuntajan lämpövastus noin

$$R_{th} = \frac{R_{thb} \cdot R_{th_{\text{pohja+levy}}}}{R_{thb} + R_{th_{\text{pohja+levy}}}}$$

$$= \frac{13,1 \frac{\text{K}}{\text{W}} \cdot 92,3 \frac{\text{K}}{\text{W}}}{13,1 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 92,3 \frac{\text{K}}{\text{W}}}$$

$$\approx \underline{\underline{11,5 \frac{\text{K}}{\text{W}}}}$$

Toisin sanoen piirilevy ei sinänsä vaikuta paljoakaan muuntajan jäähtymiseen.

Piirilevyllä olevat muut komponentit sen sijaan estävät ilman virtausta ja lämmittävät ympäristöä.

Siten todellinen muuntajan lämpövastus on käytännössä isompi.