

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- โคทม อารียา และ วิจิตรวรรณ ประกอบสันติสุข. รายงานการวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ขนาด 5 kVA. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- ธนากร ศุภจินตกุล. เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูง ที่ใช้อินเวอร์เตอร์แบบสามสถานะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- เอกชัย ลีลาวัศมี. คู่มือการใช้งาน "เล็ก 5.0 ซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้นแบบก่อน. กรุงเทพมหานคร:ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- ยุทธนา กุลวิฑิต. การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์. เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการ เรื่อง Power Electronics & Applications. สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2532.

ภาษาอังกฤษ

- P.G.Simpson. Induction Heating : Coil and System Design. New York: Mcgraw - Hill, 1966.
- John Davies and Peter Simpson. Induction Heating Handbook. Mcgraw - Hill Book Company (UK) Limited, 1979.
- Fuji. High-Frequency Inverters for Induction Heating. Fuji Electric Review Vol.34 No.3, 1988.
- Thomson-CSF Semiconductor Division. This Power Transistor in Its Environment. Graphic Express, 1979.
- Kjeld Thorborg. Power Electronics. S.T. Teknik. Friggagatan 3 C, 1985.
- Fuji Semiconductors for Power Electronics Catalog. , 1988.

- K. Harada, H. Sakamoto and M. Shoyama. On the High-Speed Turn-Off of a Power Transistor by a Small Saturable Core. IEEE Transactions on Power Electronics Vol. PE-1 No.3 July, 1986.
- Keith H. Billings. Handbook of Switchmode Power Supplies. McGraw - Hill Publishing Company, 1989.
- MathSoft, Inc. MathCAD Release Notes Version 2.5. One Kendall Square Cambridge, MA 02139, 1989.
- SanRex Power Semiconductors Data Book., 1990
- Motorola Linear/Switchmode/Voltage Regulator Hand Book., 1983
- Joseph H. Rockett. Losses in High- Power Bipolar Transistors. IEEE Transactions On Power Electronics Vol. PE-2 No.1 January, 1987.
- Fuji Semiconductors for Power Electronics Data Book. , 1991.
- R.D. Middlebrook and Slobodan Cuk. Advances in Switched-Mode Power Conversion. Vol.1, 1981.
- Slobodan Cuk and R.D. Middlebrook. Advances in Switched-Mode Power Conversion. Vol.2, 1983.
- Siemens Component Services. , 1983.





ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรม Math CAD ช่วยวิเคราะห์ทางจลนศาสตร์ของขดลวดเหนี่ยวนำ

 Induction Heating Coil Calculation

Define constant $\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$

Running variable

$T := 20$, $i := 10, 12 \dots 100$

$\rho_w^T := 16 \cdot 10^{-8}$, $f(i) := i \cdot 10^3$

$\mu_r^T := 9.4$

Coil dimension and parameters

$N_c := 1$, $l_c := 6.2 \cdot 10^{-3}$, $d_c := 25.3 \cdot 10^{-3}$, $k_r := 1$, $T_c := 80$
 $\rho_{cu} := 1.7240 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0.00393 \cdot (T_c - 20))$, $\rho_{cu} = 2.131 \cdot 10^{-8}$,

$\delta_{cu}(i) := \sqrt{\frac{\rho_{cu}}{\mu_0 \cdot \pi \cdot f(i)}}$,

Work dimension and parameters

$d_w := 22 \cdot 10^{-3}$, $A_w := \frac{\pi \cdot d_w^2}{4}$, $\delta_w(i) := \sqrt{\frac{\rho_w^T}{\mu_0 \cdot \mu_r^T \cdot \pi \cdot f(i)}}$,

$A_g := \frac{\pi}{4} [d_c^2 - d_w^2]$, $A_{nl} := \frac{\pi \cdot d_c^2}{4}$, $p(i) := \frac{2}{1.23 + \left[\frac{d_w}{\delta_w(i)} \right]}$,

$q(i) := 2 \cdot \frac{\delta_w(i)}{d_w}$

Correction factor (By trial and error)

1. $K_c := 3.7$; correction factor for coil
2. $K_n := 4.24$; correction factor for no load air gap
3. $K_w := 2.17$; correction factor for workpiece
4. $K_g := 1.44$; correction factor for full load air gap

โปรแกรม Math CAD (ต่อ)

Electrical equivalent circuit parameters of coil

$$R_w(i) := \left[\frac{2 \cdot \pi \cdot f(i) \cdot \mu_0 \cdot N_c^2}{K_w \cdot l_c} \right] \cdot \left[\frac{\mu_r \cdot p(i) \cdot A_w}{T} \right] ,$$

$$R_c(i) := \left[\frac{2 \cdot \pi \cdot f(i) \cdot \mu_0 \cdot N_c^2}{K_c \cdot l_c} \right] \cdot \frac{k_r \cdot \pi \cdot d_c \cdot \delta_{cu}(i)}{2} , \quad R_s(i) := R_w(i) + R_c(i) ,$$

$$R_{nl}(i) := R_c(i)$$

$$L_w(i) := \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N_c^2 \cdot q(i) \cdot A_w}{K_w \cdot l_c} , \quad L_g := \frac{\mu_0 \cdot N_c^2 \cdot A_g}{K_g \cdot l_c} , \quad L_c(i) := \frac{R_c(i)}{2 \cdot \pi \cdot f(i)}$$

$$L_s(i) := L_w(i) + L_g + L_c(i) , \quad L_{nl}(i) := \frac{\mu_0 \cdot N_c^2 \cdot A_{nl}}{K_n \cdot l_c} + L_c(i)$$

$$n(i) := \frac{R_w(i)}{R_w(i) + R_c(i)}$$

$$\cos\theta(i) := \frac{R_w(i) + R_c(i)}{\sqrt{(R_w(i) + R_c(i))^2 + (2 \cdot \pi \cdot f(i) \cdot L_s(i))^2}}$$

Electrical equivalent circuit calculation

Lp = paralel inductance , Rp = paralel resistance at frequency(i)

$$L_p(i) := \frac{R_s(i)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f(i) \cdot L_s(i))^2}{(2 \cdot \pi \cdot f(i))^2 \cdot L_s(i)} , \quad R_p(i) := \frac{R_s(i)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f(i) \cdot L_s(i))^2}{R_s(i)}$$

$$C_{pf1}(i) := \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f(i))^2 \cdot L_p(i)} ; C \text{ make pf} = 1$$

$$j := \sqrt{-1} ; \text{define imaginary unit}$$

$$Z_{coil}(i) := R_s(i) + (2 \cdot \pi \cdot f(i) \cdot L_s(i)) \cdot j ; \text{impedance of coil}$$

โปรแกรม Math CAD (ต่อ)

Component value refer to secondary of transformer

$$C := 333 \cdot 10^{-6} \quad \text{F} \quad ; \text{C paralel for boost power factor}$$

$$L1 := 120 \cdot 10^{-9} \quad \text{H} \quad ; \text{L series for power factor lag and resonance}$$

$$Cs := 73.3 \cdot 10^{-6} \cdot 16^2 \quad \text{F} \quad ; \text{C serie for prevent dc magnetizing current}$$

$$Rd := \frac{0.93}{16^2} \quad \text{Ohms} \quad ; \text{R serie for damping power system}$$

$$Zcoil_c(i) := \frac{1}{\left[\frac{1}{Zcoil(i)} \right] + j \cdot (2 \cdot \pi \cdot f(i)) \cdot C} \quad ; \text{Z of coil // C}$$

$$Zt(i) := Zcoil_c(i) + j \cdot (2 \cdot \pi \cdot f(i)) \cdot L1 + \frac{1}{j \cdot (2 \cdot \pi \cdot f(i)) \cdot Cs} + Rd \quad ; \text{total impedance}$$

$$Vs := 40 \quad Vp \quad ; \text{A sin voltage from full bridge invertor}$$

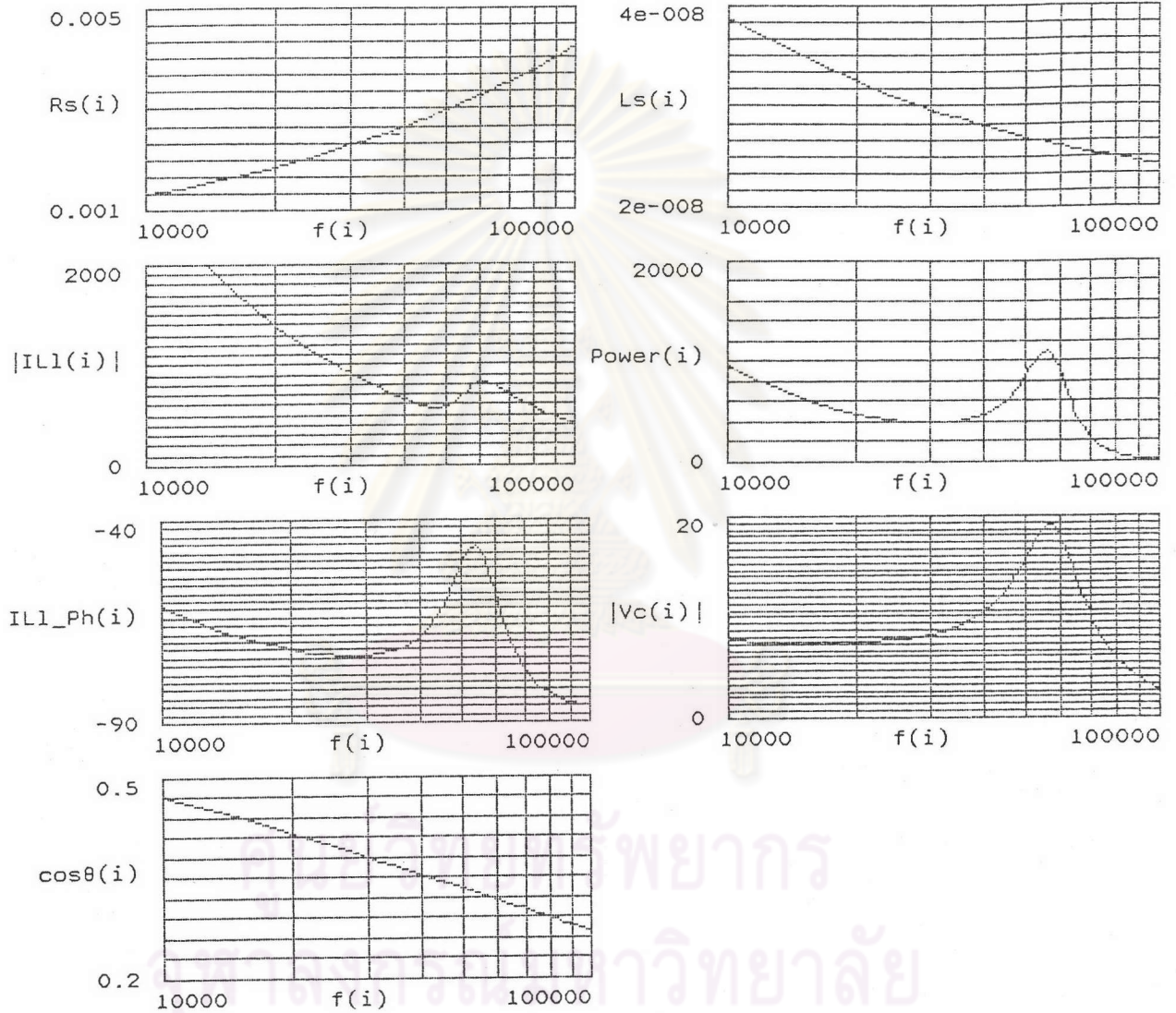
$$IL1(i) := \frac{Vs}{\sqrt{2} \cdot Zt(i)} \quad \text{Arms} \quad , \quad IL1_Ph(i) := \frac{180}{\pi} \cdot \arg(IL1(i)) \quad ; \text{Current in L1}$$

$$Vc(i) := IL1(i) \cdot Zcoil_c(i) \quad Vrms \quad ; \text{Voltage at coil (or C)}$$

$$IRs(i) := \frac{Vc(i)}{Zcoil(i)} \quad \text{Arms} \quad ; \text{Current pass load}$$

$$\text{Power}(i) := (|IRs(i)|)^2 \cdot R_w(i) \quad \text{W} \quad ; \text{Power at work piece}$$

โปรแกรม Math CAD (ต่อ)



ข้อมูลจำเพาะของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2DI100Z-100

2DI100Z-100(100A)

富士パワーモジュール

パワートランジスタモジュール
POWER TRANSISTOR MODULE

■ 特長 : Features

- 高耐圧 High Voltage
- フリーホイリングダイオード内蔵 Including Free Wheeling Diode
- ASO が広い Excellent Safe Operating Area
- 絶縁形 Insulated Type

■ 用途 : Applications

- 大電力スイッチング High Power Switching
- AC モータ制御 A.C Motor Controls
- DC モータ制御 D.C Motor Controls
- 無停電電源装置 Uninterruptible Power Supply

■ 定格と特性 : Maximum Ratings and Characteristics

● 絶対最大定格 : Absolute Maximum Ratings

Items	Symbols	Ratings	Units
コレクタ・ベース間電圧	V_{CB0}	1000	V
コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CE0}	1000	V
コレクタ・エミッタ間電圧	$V_{CE0(SUS)}$	—	V
エミッタ・ベース間電圧	V_{EB0}	10	V
コレクタ電流	DC	I_C	100 A
	1ms	I_{CP}	200 A
	DC	$-I_C$	100 A
ベース電流	DC	I_B	5 A
	1ms	I_{BP}	10 A
コレクタ損失	one Transistor	P_C	800 W
	two Transistors	P_C	1600 W
接合部温度	T_j	+150	°C
保存温度	T_{stg}	-40 ~ +125	°C
重量	m	470	g
絶縁耐圧	AC, 1min	V_{iso}	2500 V
締付けトルク	Mounting ※1	35	kg·cm
	Terminals ※2	45	kg·cm

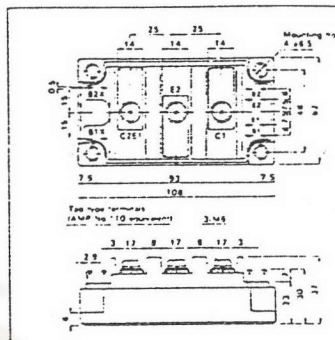
● 電気的特性 : Electrical Characteristics ($T_j=25^\circ\text{C}$)

Items	Symbols	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
コレクタ・ベース間電圧	V_{CB0}	$I_{C0}=2\text{mA}$	1000			V
コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CE0}	$I_C=2\text{mA}$	1000			V
コレクタ・エミッタ間電圧	$V_{CE0(SUS)}$					V
	$V_{CEA(SUS)}$	$V_{EE}=-3\text{V}$	1000			V
エミッタ・ベース間電圧	V_{EB0}	$I_{E0}=400\text{mA}$	10			V
コレクタシャ断電流	I_{C0}	$V_{CE0}=1000\text{V}$			20	mA
エミッタシャ断電流	I_{E0}	$V_{EB0}=10\text{V}$			400	mA
コレクタ・エミッタ間電圧	$-V_{CE}$	$-I_C=100\text{A}$			15	V
	I_{FE}	$I_C=100\text{A}, V_{CE}=5\text{V}$ $I_C=100\text{A}, V_{CE}=2.8\text{V}, T_j=125^\circ\text{C}$	100	75		
コレクタ・エミッタ飽和電圧	$V_{CE(SAT)}$	$I_C=100\text{A}, I_B=1.4\text{A}$			2.3	V
ベース・エミッタ飽和電圧	$V_{BE(SAT)}$				3.5	V
スイッチング時間	t_{on}	$I_C=100\text{A}$			2.5	μs
	t_{off}	$I_B=+1.4\text{A}$			120	μs
	t_r	$I_B=-2.0\text{A}$			2.0	μs
	t_f	$-I_C=100\text{A}, V_{EE}=-6\text{V}, -di/dt=100\text{A}/\mu\text{s}$			0.7	μs

● 熱的特性 : Thermal Characteristics

Items	Symbols	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
熱抵抗	$R_{\theta j-c}$	Transistor			0.156	°C/W
熱抵抗	$R_{\theta j-d}$	Recovery Diode			0.65	°C/W
熱抵抗	$R_{\theta jc-\eta}$	With Thermal Compound		0.03		°C/W

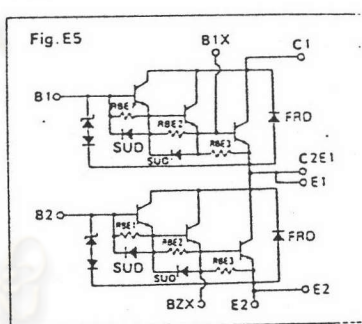
■ 外形寸法 : Outline Drawings



CASE	M210
UL	E82988(M)

■ 等価回路

Equivalent Circuit Schematic



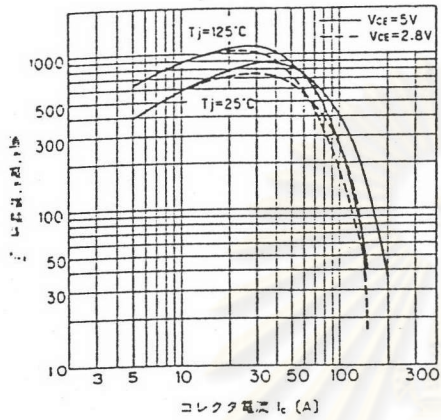
- ※1: 推奨値 Recommendable Value: 25 ~ 30 kg·cm (M5 or M6)
- ※2: 推奨値 Recommendable Value: 35 ~ 40 kg·cm (M6)

ข้อมูลจำเพาะของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2DI100Z-100(ต่อ)

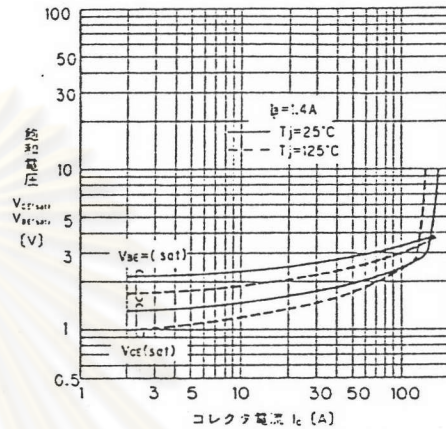
富士パワーモジュール

2DI100Z-100(100A)

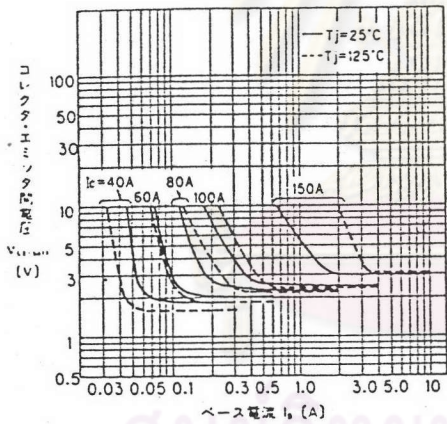
特性曲线 : Characteristics



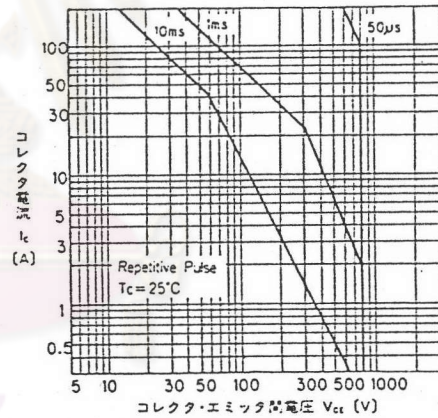
直流電流増幅率—コレクタ電流特性
DC Current Gain



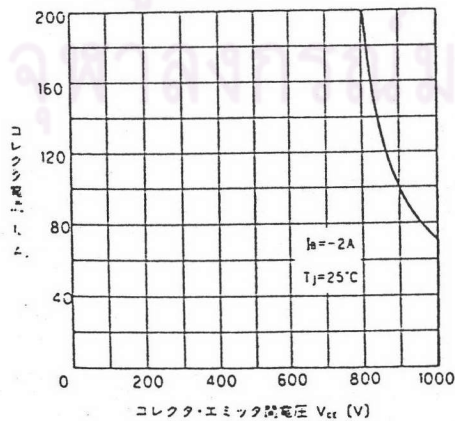
飽和電圧—コレクタ電流特性
Base and Collector Saturation Voltage



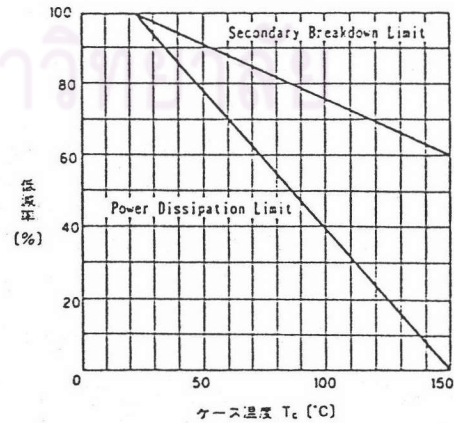
出力特性
Collector Output Characteristics



安全動作領域特性
Safe Operating Area



安全動作領域(逆バイアス)
Reverse Biased Safe Operating Area



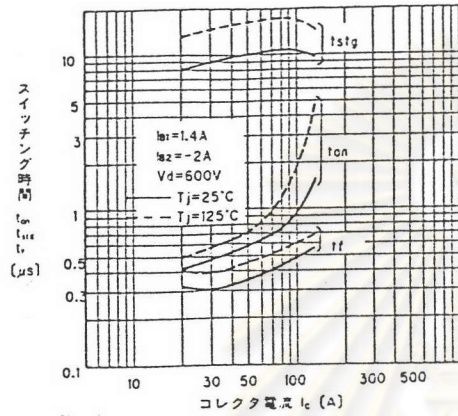
ASO 低減特性
ASO Derating



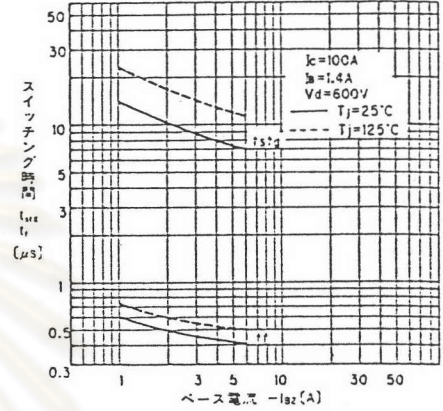
ข้อมูลจำเพาะของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2DI100Z-100(ต่อ)

2DI100Z-100(100A)

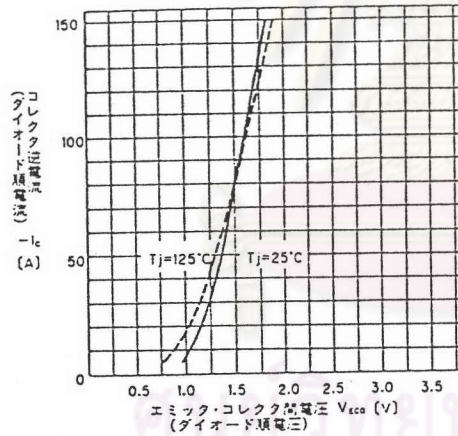
富士パワーモジュール



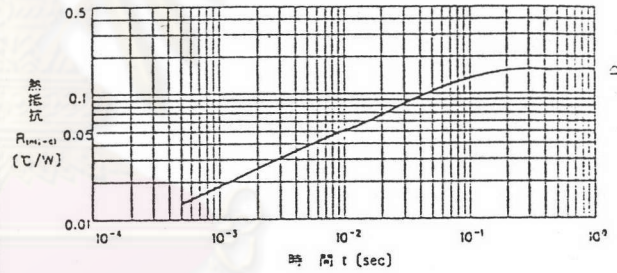
スイッチング時間-コレクタ電流特性
Switching Time



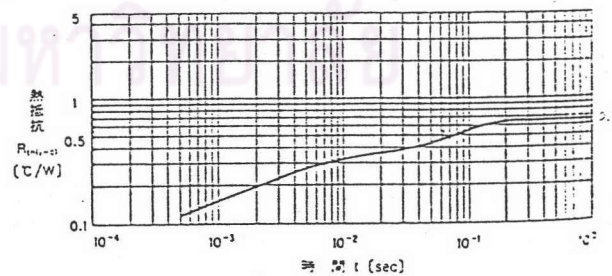
スイッチング時間-ベース電流特性
Switching Time



高速フリーホイールダイオード順電圧
Forward Voltage of Free Wheeling Diode



過渡熱抵抗(トランジスタ)特性
Transient Thermal Resistance
(Transistor)



過渡熱抵抗(ダイオード)特性
Transient Thermal Resistance (Diode)



ประวัติผู้เขียน

นาย อมร ตันวรรณรักษ์ เกิดวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2511 ที่จังหวัด นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (อิเล็กทรอนิกส์) จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2531 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (ออกแบบ วงจรอิเล็กทรอนิกส์) ณ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันเป็น วิศวกรอิสระ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย