

TP caractérisation thermique et modélisation d'un dissipateur pour boîtier TO220

But de la manipulation :

La conception de circuit électronique nécessite de prendre en compte non seulement les aspects purement électroniques mais aussi thermiques. En particulier en électronique de puissance, où les composants peuvent être soumis à des puissances importantes (plusieurs watts). Dans ce cas, il est nécessaire de placer sur le composant un dissipateur thermique comme montré sur l'exemple ci-contre. Dans ce TP il faudra calculer, mesurer et vérifier l'efficacité d'un tel dissipateur.

I. RAPPELS

1° Assemblage d'un circuit intégré

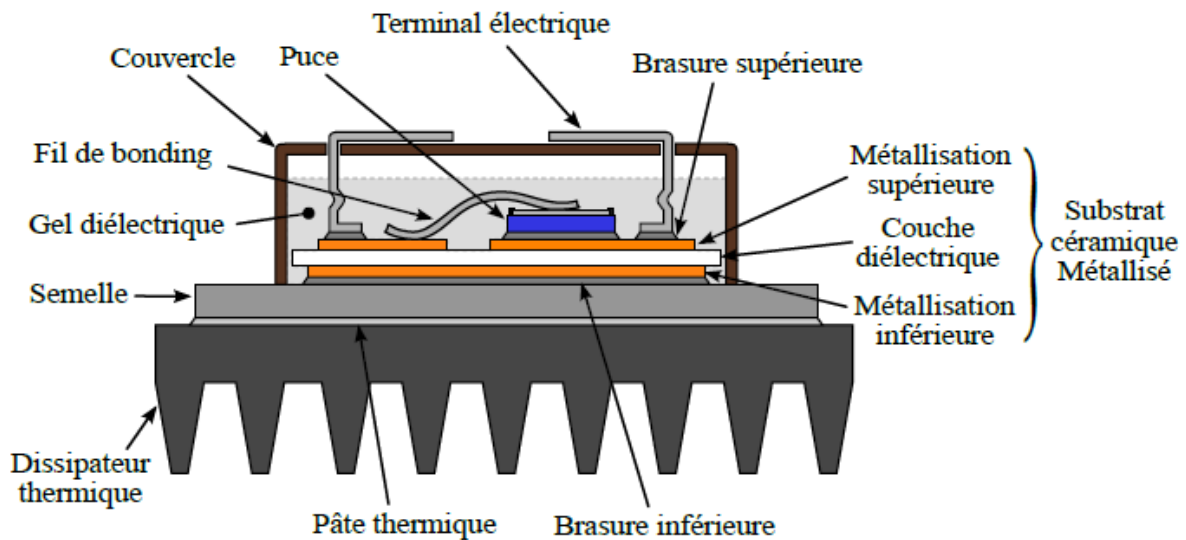
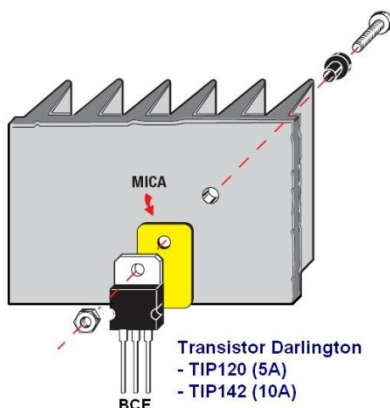


Figure 1 : exemple d'assemblage de puissance SMI



ATTENTION : Dans le cas d'un transistor de puissance Bipolaire ou MOS, le dos du boîtier est connecté électriquement au Collecteur ou au Drain. Il faut donc insérer entre le composant et le dissipateur, une feuille isolante électriquement et conductrice d'un point de vue thermique (cf. figure 1) et monter le tout, avec une vis isolée.

Figure 2 : exemple de montage d'un transistor boîtier TO220 sur un dissipateur

2° Equivalence entre grandeurs électriques et thermiques

Grandeurs thermiques			Grandeurs électriques		
T :	Température	[°K]	U	Tension	[V]
J	Flux de chaleur	[W/m ²]	J	Densité de courant	[A/m ²]
P	Chaleur	[W]	I	Courant	[A]
Q	Quantité de chaleur	[J]=[W·s]	Q	Charge	[C]=[A·s]
λ_{th}	Conductivité	[W/(°K·m)]	σ	Conductivité	[1/(Ω ·m)]
R_{th}	Résistance	[°K/W]	R	Résistance	[V/A] = [Ω]
C_{th}	Capacité	[W·s/°K]	C	Capacité	[A·s/V] = [F]

Table 1 : Equivalence Thermique électrique

Grandeurs thermiques	Grandeurs électriques
$C_{th} = \frac{dQ}{dT}$	$C = \frac{dQ}{dU}$
$C_{th} = c \cdot \rho \cdot d \cdot S$	$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$
$R_{th} = \frac{d}{\lambda_{th} \cdot S}$	$R = \frac{d}{\sigma \cdot S}$
$Q(t) = \int_0^t p(t) \cdot dt$	$Q(t) = \int_0^t i(t) \cdot dt$
$p(t) = \frac{T_A(t) - T_B(t)}{R_{th}} + C_{th} \frac{d}{dt} (T_A(t) - T_B(t))$	$i(t) = \frac{u_A(t) - u_B(t)}{R} + C \frac{d}{dt} (u_A(t) - u_B(t))$

Table 2 : Comparaison des principales formulations des grandeurs thermique/électrique

	ρ [g/cm ³]	λ [W/(m°K)]	c [J/(g°K)]
Silicium	2.4	140	0.7
Soudure (Sn-Pb)	9	60	0.2
Cu	7.6 ... 8.9	310 ... 390	0.385 ... 0.42
Al	2.7	170 ... 230	0.9 ... 0.95
Al ₂ O ₃	3.8	24	0.8
FR4	-	0.3	-
Pâte conductrice	-	0.4 ... 2.6	-
Feuille isolante	-	0.9 ... 2.7	-

Table 3 : Valeurs classiques pour les matériaux utilisés

3° Schéma équivalent pour le calcul des dissipateurs

L'étude thermique détaillée d'un assemblage peut se faire par simulation 3D avec éléments finis type ANSYS/SILVACO. Cependant en électronique, un schéma très simplifié peut généralement répondre aux besoins du concepteur. En effet, à partir des équivalences données ci avant, on peut établir un schéma équivalent électrique représentant le comportement thermique de l'assemblage. En supposant que la plus grande partie de la chaleur s'échappe par la semelle au dos du composant et à travers le dissipateur, cette modélisation permet d'évaluer la température aux différents points de l'assemblage avec une précision suffisante pour dimensionner un dissipateur.

On appelle ici :

T_j la température sur la surface de la puce,

T_{case} la température interface boîtier/ feuille isolante,

T_{int} la température interface feuille isolante/dissipateur

T_{surf} la température interface surface dissipateur/air

$T_{ambient}$ la température ambiante lointaine (à plusieurs cm du composant).

$R_{th_{jc}}$ la résistance thermique puce/boîtier (°C/W)

R_{thf} la résistance thermique de la feuille isolante électrique

R_{thrad} la résistance thermique dissipateur

R_{ex} la résistance thermique représentant le coefficient d'échange radiateur/air ambiant lointain.

$C_{th_{jc}}$ la capacité thermique puce/boîtier (W.s/°C)

C_{thf} la capacité thermique de la feuille isolante (très faible)

C_{thrad} la capacité thermique du dissipateur

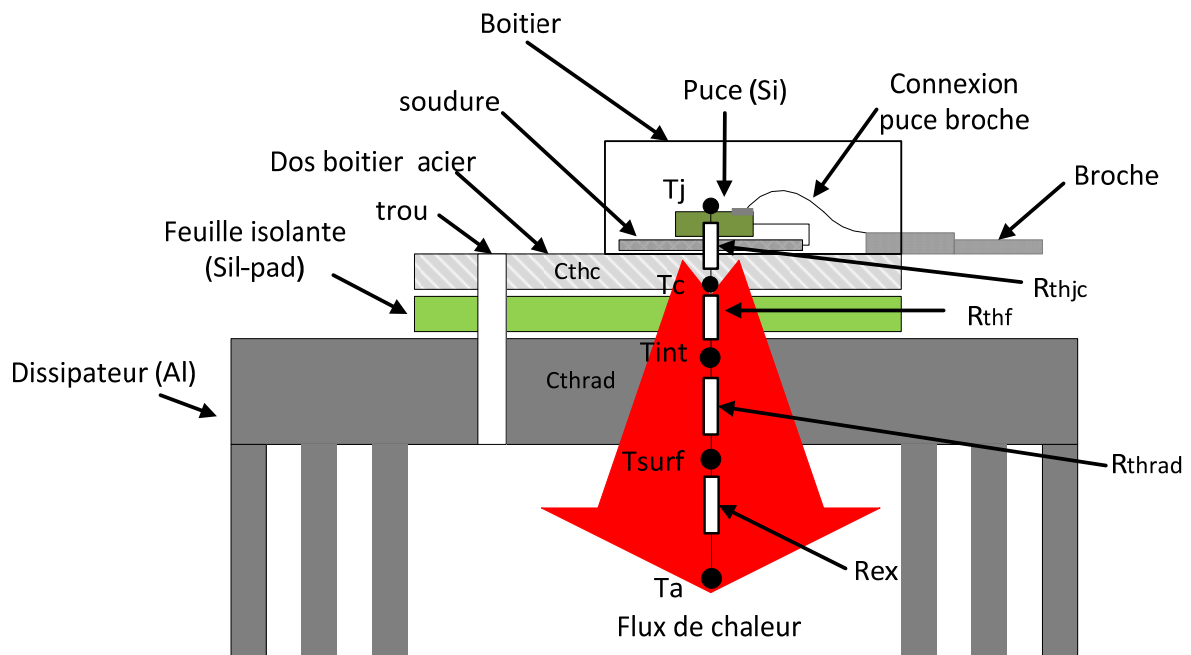


Figure 3 : schéma de l'assemblage

Le circuit thermique peut alors se représenter simplement comme suit :

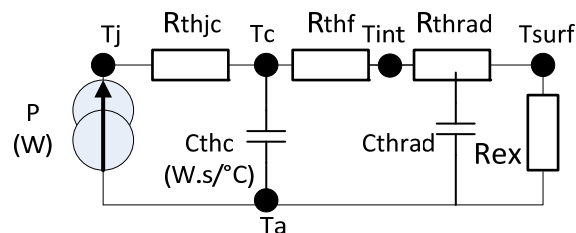


Figure 4 : schéma électrique équivalent

Pour représenter l'inertie thermique de l'assemblage, les principales capacités thermiques ont été rajoutées pour former, avec les résistances, des réseaux R, C de type passe-bas.

Les produits R.C homogène à un temps, ($^{\circ}\text{C}/\text{W} \cdot \text{W.s}/^{\circ}\text{C}$) donne les constantes de temps thermique de l'assemblage.

II. PRINCIPE DE MESURE

La platine de test permet de tester la réponse thermique d'un transistor TIP31 NPN monté sur un dissipateur classique.

Pour mesurer les résistances et capacités thermiques, il est nécessaire d'injecter un échelon de puissance P (W) calibré et connu dans le transistor. Il faut ensuite mesurer la température ambiante, la température à l'interface boîtier/ radiateur et la température de jonction.

L'analyse de la réponse temporelle à cet échelon permettra de déterminer les constantes de temps et régime permanents donc les C et R des principaux éléments de l'assemblage.

Les températures ambiantes et à l'interface boîtier radiateur peuvent être mesurées par des thermocouples correctement placés. Quant à la température de jonction, il n'est pas possible d'y accéder directement sans détruire le boîtier.

La mesure de température de la puce repose sur le principe suivant : Une jonction silicium parcourue par un courant direct **constant** voit sa tension diminuer linéairement de $2\text{mV}/^\circ\text{C}$.

Il suffit donc d'imposer un courant constant dans le transistor et mesurer la tension Base Emetteur pour obtenir une image de la température sur la puce. Ce principe est d'ailleurs utilisé sur les appareils de mesure thermique nommés delta-vbemètre.

En parallèle, l'évolution de la température de surface du dissipateur peut être suivie par une caméra infrarouge après calibration de l'émissivité.

III. DESCRIPTION DE LA MAQUETTE

La maquette est alimentée sous une tension de V_a 10V à 15V maximum.

Un asservissement maintient la tension V_{ce} du transistor et le courant le traversant constants pendant la durée de l'expérience. Le générateur de courant constant est constitué par la résistance $R=22\text{ohms}$ soumise à une tension constante de 5V. ($I_{nom}=5\text{V}/22=227\text{mA}$). La tension V_{ce} est égale à $V_a-5\text{V}$; Elle est donc comprise entre 5V et 10V selon le réglage de V_a par l'utilisateur. Le pulse de puissance peut donc être compris entre 1,13W et 2,27W.

Un premier appui sur un bouton poussoir au moment voulu permet d'injecter la puissance grâce à un interrupteur MOS. La LED rouge est allumée pendant l'application du pulse de puissance au transistor. Un second appui sur le bouton poussoir coupe le courant et la led rouge est alors éteinte.

La sortie J11 est l'image de la température à l'interface rondelle isolante- dissipateur, (thermocouple 1 type K, *placé entre le dissipateur et la feuille isolante*)

La sortie J12 est l'image de la température ambiante à proximité du dissipateur, (thermocouple 2 type K)

La sortie J13 image du top départ/fin du cycle de mesure peut être utilisée pour synchroniser un oscilloscope par exemple (signal logique 0-5V)

La sortie J14 est l'image de la température de jonction, (mesure du V_{be})

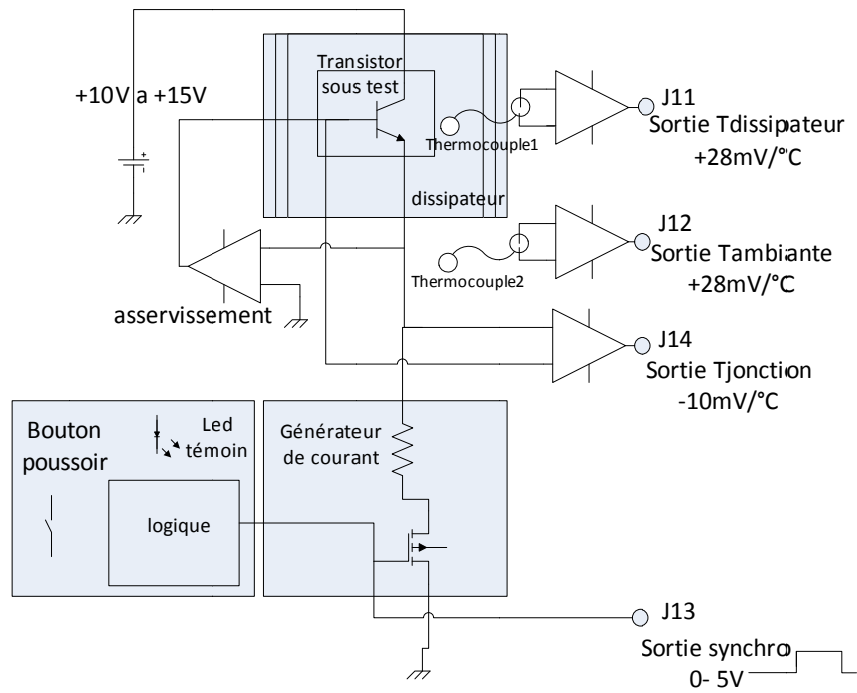


Figure 5 : Schéma simplifié de la maquette.

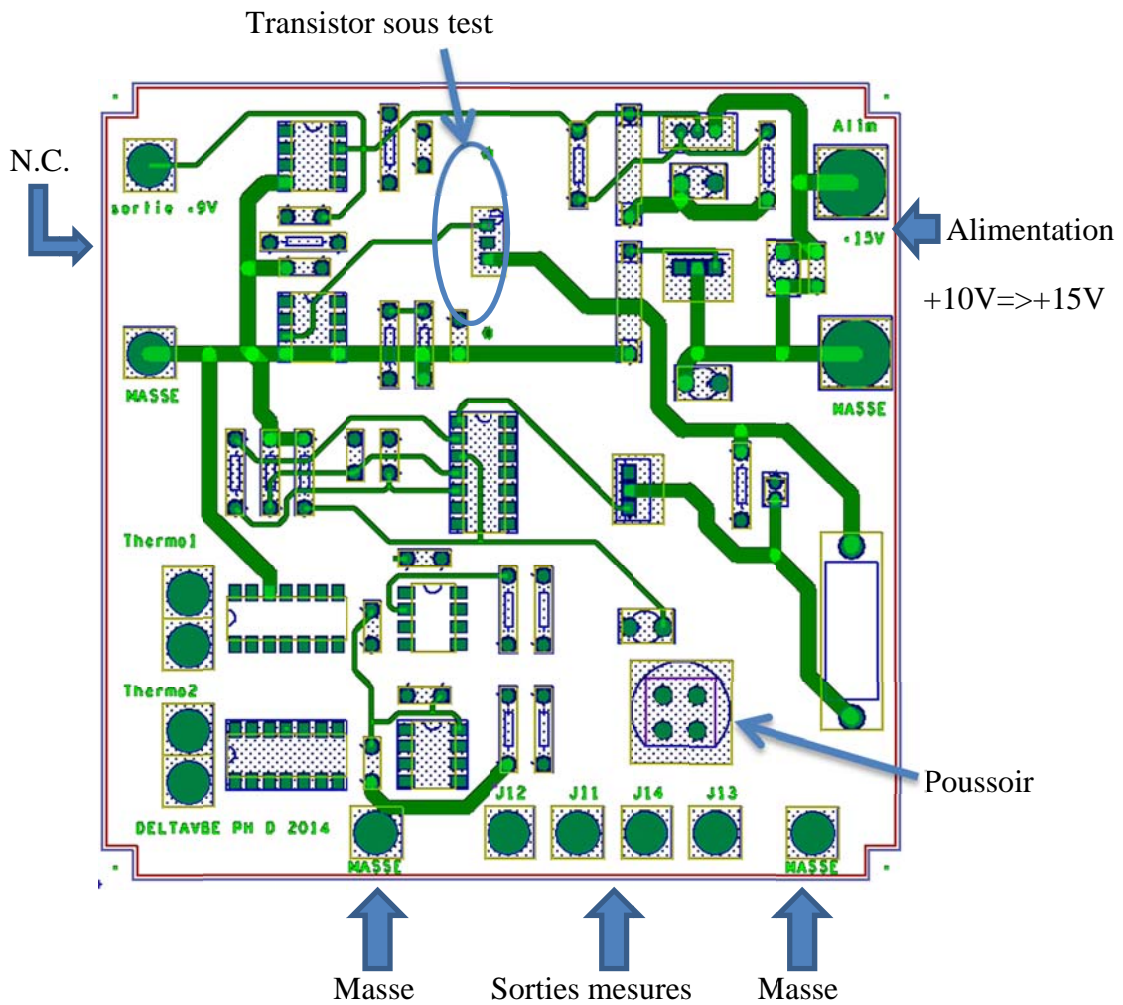


Figure 6 : Implantation vue de haut.

IV. MANIPULATIONS

Les mesures thermiques sont délicates. Il faut une longue attente entre deux mesures pour retour à l'équilibre thermique. Trois mesures sont à effectuer : une mesure sans radiateur, une mesure avec radiateur et une mesure avec radiateur +ventilateur. Il faut donc, si possible, les réussir dès le premier essai. On suppose qu'au départ les températures ambiantes données par chaque capteur sont identiques. Si ce n'est pas le cas, on corrigera les offset si besoin dans le tableau de mesure.

IV.1) Utilisation des thermocouples type K : sorties amplifiées J11 et J12 ; $25^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 0.700 \text{ mV}$, sensibilité $+28\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

IV.2) Sortie J14 Vbe : #3,6V pour 25°C , sensibilité $-10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

IV.3) Utilisation de la caméra infrarouge FLIR B335

3.1 prise en main

3.2 « Etalonnage » émissivité/fond.

IV.4) Multimètre mesure statique

IV.5) Oscilloscope numérique 4 voies :

Utilisation assez particulière :

base de temps très basse 20s/div ou 50s/div,

mode « monocoup », couplage DC, déclenchement front montant sur sortie synchro niveau 2,5V

a) faire une mesure avec TIP31 en boîtier TO220 nu (support pré-monté)

-extraire la résistance $R_{th_{ja}}$ et capacité thermique $C_{th_{ja}}$ et résistance d'échange superficiel

b) refaire la mesure sur le transistor avec dissipateur (second support pré-monté),

-extraire la résistance $R_{th_{red}}$ et la capacité thermique $C_{th_{rad}}$ du radiateur ainsi que la résistance d'échange superficiel avec l'air R_{ex}

c) Refaire la mesure avec dissipateur et ventilateur.

-extraire la nouvelle valeur de résistance d'échange superficiel

d) Faire le schéma électrique équivalent comme indiqué en I.3 ; Retrouver et comparer les valeurs fournies dans les datasheet

Heatsink

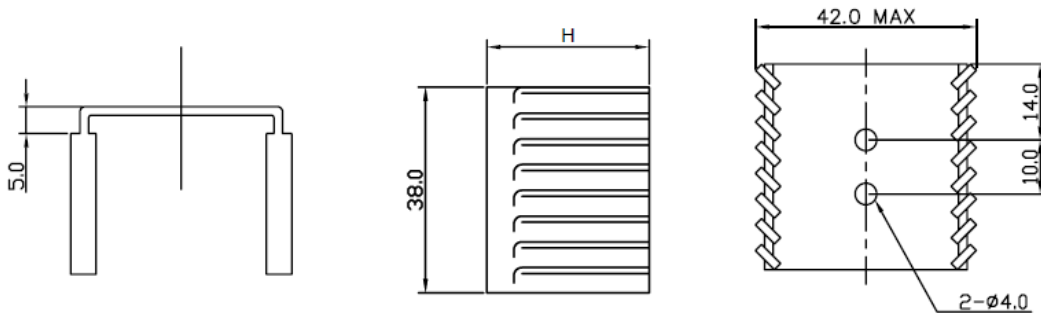


Description:

Twisted vane horizontal heatsinks pre-drilled to accept one or two TO-220 packages.

Features:

- Accommodates two devices
- Twisted vane
- Black anodize finish



Dimensions : Millimetres

Part Number	Height	Width	Length	Thermal Resistance
MC33278	20	42	38	7.6°C/W
MC33279	25			7.1°C/W

Dimensions : Millimetres

Part Number Table

Description	Part Number
Heatsink TO-220 × 2 7.6°C/W	MC33278
Heatsink TO-220 × 2 7.1°C/W	MC33279

Important Notice : This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the Information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the Information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2012.

www.element14.com
 www.farnell.com
 www.newark.com



ANNEXE 2 : data sheet TIP31A

**TIP31G, TIP31AG, TIP31BG,
TIP31CG (NPN),
TIP32G, TIP32AG, TIP32BG,
TIP32CG (PNP)**

**Complementary Silicon
Plastic Power Transistors**

Designed for use in general purpose amplifier and switching applications.

Features

- High Current Gain – Bandwidth Product
- Compact TO–220 Package
- These Devices are Pb–Free and are RoHS Compliant*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector – Emitter Voltage TIP31G, TIP32G TIP31AG, TIP32AG TIP31BG, TIP32BG TIP31CG, TIP32CG	V_{CEO}	40 60 80 100	Vdc
Collector–Base Voltage TIP31G, TIP32G TIP31AG, TIP32AG TIP31BG, TIP32BG TIP31CG, TIP32CG	V_{CB}	40 60 80 100	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	3.0	Adc
Collector Current – Peak	I_{CM}	5.0	Adc
Base Current	I_B	1.0	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	40 0.32	W W/°C
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016	W W/°C
Unclamped Inductive Load Energy (Note 1)	E	32	mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	°C

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. $I_C = 1.8\text{ A}$, $L = 20\text{ mH}$, P.R.F. = 10 Hz, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_{BE} = 100\ \Omega$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	°C/W
Thermal Resistance, Junction–to–Case	$R_{\theta JC}$	3.125	°C/W

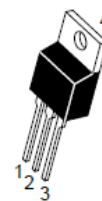
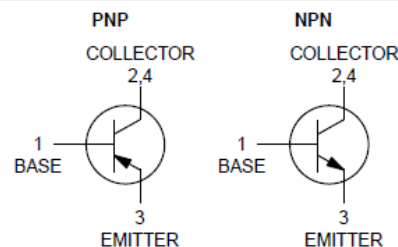
*For additional information on our Pb–Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERM/D.



ON Semiconductor®

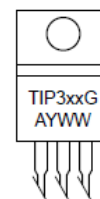
<http://onsemi.com>

**3 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY SILICON
40–60–80–100 VOLTS,
40 WATTS**



TO–220
CASE 221A
STYLE 1

MARKING DIAGRAM

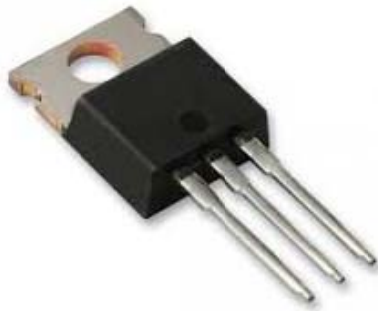


TIP3xx = Device Code
xx = 1, 1A, 1B, 1C,
2, 2A, 2B, 2C,
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
G = Pb–Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 6 of this data sheet.

ANNEXE 3 : Données techniques boîtier TO 220



Le boîtier TO-220 se compose de différents matériaux. Le transistor est composé de silicium dopé, encapsulé dans une résine époxy. Les 3 fils de connexion, puce-broches, sont en or (ou aluminium) et les plots en cuivre. Le boîtier est en alliage d'acier AISI 4340 ainsi que le boulon de fixation qui assure le contact thermique avec le dissipateur de chaleur (généralement en alliage d'aluminium 6063).

Le tableau ci-après donne les caractéristiques principales des matériaux.

Material	Density (kg/m ³)	Heat Capacity (J/kg-K)	Thermal Conductivity (W/m-K)
Silicon	2,300	710	150
Copper	8,700	385	400
Gold	19,300	129	318
PLCC	900	1,700	0.2
Steel AISI 4340	7,850	477	54
Mica	2,883	500	0.71
Aluminum Alloy 6063	2,700	900	200

Pour obtenir la capacité thermique (en W.s/°C) il faut multiplier la capacité thermique massique du tableau par la masse de l'objet :

masse moyenne boîtier TO220. 1.89 g => moins celle du capot supérieur #1.5g

ANNEXE 4 : extrait tableau des émissivités infrarouges. (Gamme LW pour caméra B335)

Figure 35.1 T : Spectre total ; SW : 2–5 μm ; LW : 8–14 μm ; LLW : 6,5–20 μm ; 1 : Matériau ; 2 : Caractéristiques ; 3 : Température en °C ; 4 : Spectre ; 5 : Emissivité ; 6 : Référence

1	2	3	4	5	6
3M type 35	Ruban adhésif isolant vinyle (plusieurs couleurs)	< 80	LW	Environ 0,96	13
3M type 88	Ruban adhésif isolant vinyle noir	< 105	LW	Environ 0,96	13
3M type 88	Ruban adhésif isolant vinyle noir	< 105	MW	< 0,96	13
3M type Super 33+	Ruban adhésif isolant vinyle noir	< 80	LW	Environ 0,96	13
Acier inoxydable	alliage, 8 % Ni, 18 % Cr	500	T	0,35	1
Acier inoxydable	feuille, polie	70	LW	0,14	9
Acier inoxydable	feuille, polie	70	SW	0,18	9
Acier inoxydable	feuille non traitée, légèrement grattée	70	LW	0,28	9
Acier inoxydable	feuille non traitée, légèrement grattée	70	SW	0,30	9
Acier inoxydable	laminé	700	T	0,45	1
Acier inoxydable	sablé	700	T	0,70	1
Acier inoxydable	type 18–8, poncé	20	T	0,16	2
Acier inoxydable	type 18-8, oxydé à 800 °C	60	T	0,85	2
Aluminium	anodisé, gris clair, mat	70	LW	0,97	9
Aluminium	anodisé, gris clair, mat	70	SW	0,61	9
Aluminium	anodisé, noir, mat	70	LW	0,95	9
Aluminium	anodisé, noir, mat	70	SW	0,67	9
Aluminium	déposé sous vide	20	T	0,04	2



Technical Data

FLIR B335 (9 Hz)

Part number:

45610-0201

Copyright

© 2011, FLIR Systems, Inc.

All rights reserved worldwide. Names and marks appearing herein are either registered trademarks or trademarks of FLIR Systems and/or its subsidiaries. All other trademarks, trade names or company names referenced herein are used for identification only and are the property of their respective owners.

May 09, 2011, 01:03 AM

Corporate Headquarters

FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Ave.
Wilsonville, OR 97070
USA
Telephone: +1-503-498-3547

Website

<http://www.flir.com>

Customer support

<http://support.flir.com>

Legal disclaimer

Specifications subject to change without further notice. Camera models and accessories subject to regional market considerations. License procedures may apply.

Information and equipment described herein may require US Government authorization for export purposes. Diversion contrary to US law is prohibited.



General description

FLIR B335 is a small and light-weight infrared camera with excellent image quality and high sensitivity, ideal for building diagnostics and energy declaration surveys. The camera has Picture-in-Picture, text/voice annotations and interchangeable lenses.

Key features:

- Tilttable IR unit
- Touch screen
- High image quality (320 x 240)
- High sensitivity (50 mK)
- Digital camera 3.1 Mpixel
- Laser pointer
- Picture-in-Picture (scalable)
- Voice/Text annotation
- Zoom 2x
- MeterLink connection
- Copy to USB
- Humidity & insulation alarm
- FLIR QuickReport analysing s/w

Unmatched quality, outstanding ease of use, excellent ergonomics, lightweight and small!

Imaging and optical data

Field of view (FOV)	25° x 19°
Minimum focus distance	0.4 m (1.31 ft.)
Focal length	18 mm (0.7 in.)
Spatial resolution (IFOV)	1.96 mrad
Lens identification	Automatic
F-number	1.5
Thermal sensitivity/NETD	< 0.05°C @ +30°C (+86°F) / 50 mK
Image frequency	9 Hz
Focus	Automatic or manual
Digital zoom	1-2x continuous
Panning	Panning over zoomed-in images

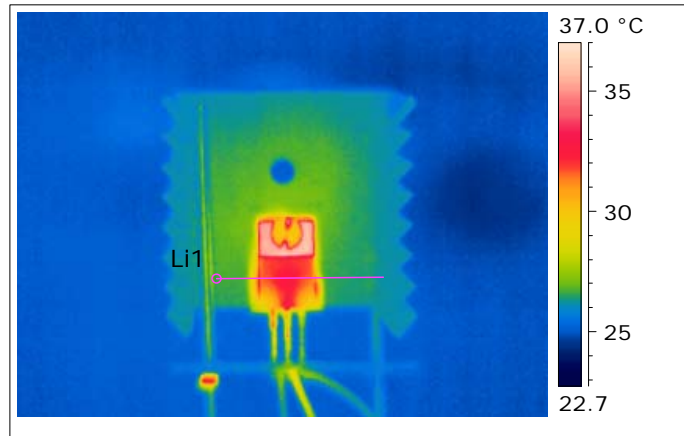
Detector data

Detector type	Focal plane array (FPA), uncooled microbolometer
Spectral range	7.5-15 µm
IR resolution	320 x 240 pixels

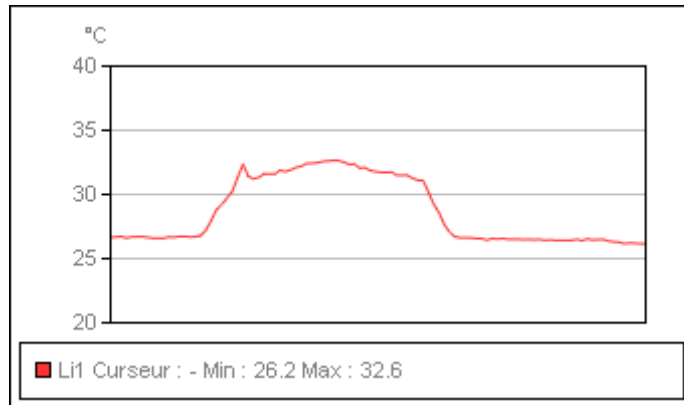
Image presentation

Display	Built-in touch screen, 3.5 in. LCD, 320 x 240 pixels
Image adjustment	Auto (min span 4°C / 7.2°F) or manual (min span 2°C / 3.6°F)

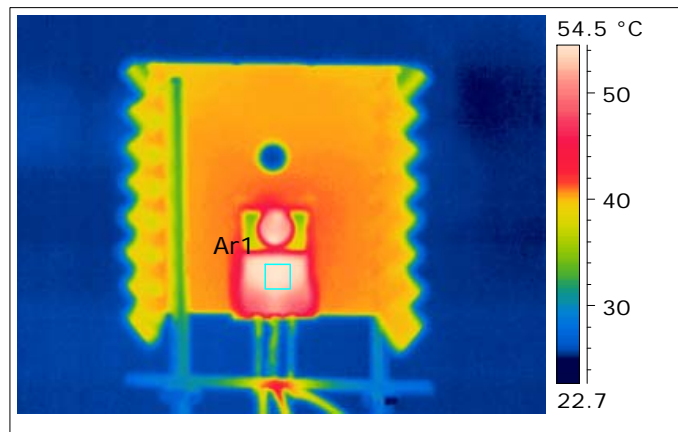
ANNEXE 5 : exemple image infrarouge TO220+dissipateur, air libre



Régime transitoire: pulse 1,2W dans TIP31 après 3 minutes



Profil de température le long de la section Li1



Régime permanent après 10 minutes (température homogène sur le dissipateur)

ANNEXE 5 : acquisition automatique des mesures

(Si carte d'acquisition arduino avec micro SD card disponible)

-Brancher l'alimentation générale de la carte de test.

-Vérifier que le voyant sur la carte arduino est allumé,

-Vérifier que la carte SD est enfichée dans le logement prévu.

-Faire un reset du programme d'acquisition en appuyant sur le poussoir situé à côté de la carte mémoire SD

-Lancer le cycle de mesure par un appui sur le poussoir vert. Les mesures s'enregistrent automatiquement dans un fichier *essai.xls* sur la carte SD.

-Arrêter le cycle de mesure par un second appui sur le bouton poussoir vert, après quelques minutes lorsque le régime permanent est atteint.

Retirer délicatement la carte SD de son logement.

La mettre sur un PC comme un périphérique USB.

Ouvrir le fichier avec Excel. « Fichier différent....blabla... » Répondre oui.

Sélectionner la colonne A, puis dans le menu « données », « convertir »,

type de fichier : cocher « délimité », puis « virgule » et « terminer ».

Les colonnes contiennent alors les champs :

Date	heure	ta	tb	tpuce
------	-------	----	----	-------

Si version Excel français, changer les « points » en « virgule » dans les colonnes numériques avec menu Accueil « rechercher/ remplacer »

On peut alors tracer les courbes. Insertion graphique nuage, attention à l'échelle des temps horizontale format hh:mm:ss