

P1 – Thermique

I. Résistance thermique

Un transistor MOS de puissance maintenu en fonctionnement dans la zone ohmique est traversé par un courant continu $I_D = 30$ A. Sa résistance Drain-Source vaut alors $R_{DS} = 0.1$ W.

Pour ce composant, les données du constructeur indiquent :

Température de jonction	$-55\text{ °C} < T_j < 150\text{ °C}$
Rés. thermique Jonction/air	$R_{ThJA} = 40\text{ °C/W}$
Rés. thermique Jonction/boitier	$R_{ThJB} = 0.2\text{ °C/W}$
Rés. Thermique Boitier/radiateur	$R_{ThJR} = 0.24\text{ °C/W}$

Le transistor peut-il fonctionner de façon permanente dans l'air à $T_A = 25\text{ °C}$ sans être équipé d'un radiateur ?

II. Régulateur de tension

A partir des paramètres ci-dessous, calculer la valeur numérique de la puissance maximum que peut dissiper en permanence le régulateur LM7805 (avec un boitier TO220) s'il est exposé à l'air libre (sans radiateur) avec de l'air à 60 °C

Absolute maximum ratings (LM7805)

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_i	Input Voltage	$V_O = 5V$	35	V
$R_{\theta_{JC}}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)		5	°C/W
$R_{\theta_{JA}}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)		65	°C/W
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM7805	-40 to +125	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		-65 to +150	°C

III. Transfert thermique

On désire obtenir un bain d'eau tiède à 37 °C , d'un volume total $V=250$ litres. Le robinet d'eau chaude délivre de l'eau à 70 °C , tandis que le robinet d'eau froide délivre de l'eau à 15 °C .

1. Déterminer le volume V_1 d'eau chaude et le volume V_2 d'eau froide qu'il faut mélanger pour cela.

Données : Chaleur massique de l'eau : $c_e=4185\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Masse volumique de l'eau : $r = 1000\text{ kg.m}^{-3}$.

IV. Transfert thermique

Pour obtenir des oeufs à la coque, avec un blanc bien cuit et un jaune parfaitement coulant, l'eau de cuisson doit idéalement être à une température de 65 °C .

1. Quelle doit être l'énergie thermique transférée à 2,0 litres d'eau initialement à une température de 20 °C pour qu'elle atteigne la température idéale de cuisson ?

2. On dispose de 2,0 litres d'eau froide (température ambiante 20 °C) et de 5 Litres d'eau juste bouillante, mais il n'a pas d'autre système de chauffage. On propose de mélanger l'eau froide et l'eau bouillante pour obtenir la bonne température. Est-ce possible ? Si oui, quel volume d'eau bouillante doit-il ajouter à l'eau froide pour atteindre la température idéale ?

3. Les oeufs étant cuits à point, on souhaite refroidir rapidement l'eau de cuisson. On ajoute 10 glaçons juste fondants (en cubes de 1,6 cm de côté). Quelle sera la température de l'eau lorsque l'équilibre thermique sera atteint ?

4. Faire la liste des sources d'erreur ou d'approximations de cet exercice.

Données :

Densité de la glace : 0,92

Masses molaires atomiques (g.mol^{-1}) : H : 1,0 ; O : 16,0

Chaleur latente (énergie molaire) de fusion de l'eau : $6,01\text{ kJ.mol}^{-1}$

Capacité thermique massique de l'eau à l'état liquide : $4,18\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

V. Conductivité thermique

On dispose d'un sol en granite et d'un sol en liège. Les deux sols ont la même épaisseur $e = 1,5 \text{ cm}$. Les deux sols sont à la température ambiante de $T_a = 20^\circ\text{C}$.

On pose le pied nu gauche sur le sol en granit et le pied nu droit sur le sol en liège. La température initiale de la surface de la voute plantaire est $T_i = 30^\circ\text{C}$.

La valeur de la conductivité thermique de chacun des matériaux (granit et liège) est : 3.5 et 0.038 à 0.043 respectivement. Préciser les unités.

- 1) Sachant que la surface de contact entre le pied et le sol est $S = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$, déterminer la résistance thermique surfacique R (en $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$).
- 2) Quelle est la valeur de la variation de température ΔT entre le sol et le pied ?
- 3) Pour chacun des sols, déterminer la valeur du flux thermique F qui a traversé chacun des sols.
- 4) Pour quel matériau, le transfert de chaleur dans le sol se fait-il rapidement ? Expliquer.
- 5) Quel pied se refroidit le moins vite ? Expliquer.

VI. Dissipateur thermique

La puissance dissipée P dans un matériau d'épaisseur e , de section transversale S , de conductivité thermique λ , soumis à une différence de température ΔT , est donnée par la relation :

$$P = \frac{\lambda S}{e} (T_{\text{dissip}} - T_{\text{amb}})$$

Donner l'équation aux dimensions de λ .

Pour refroidir un semi-conducteur, doit-on rechercher à avoir λ petit ou grand ?

Comparez les valeurs de l'aluminium et du fer et justifier le meilleur choix pour construire un dissipateur.

Matériaux	Conductivité thermique λ [W/m.°C]		ρ [Kg/m ³]	C_p [J/Kg.°C]
	0 °C	400 °C		
Air	0.023	0.048	2700	900
Aluminium	229	249	7900	450
Fer	73	40		

VII. Dissipateur thermique

Un régulateur de tension a une résistance de 65°C/W sans dissipateur et de 5°C/W lorsque le régulateur est monté sur un dissipateur

a) Quelle est la puissance maximale que peut dissiper le régulateur sans radiateur si la température ambiante est de 20°C et la température de jonction maximale de 150°C ?

b) Quelle est la nouvelle puissance si on lui adjoint un dissipateur de résistance thermique de 4°C/W .

c) Que représente physiquement la résistance thermique du dissipateur précédent ?

VIII. Rayonnement

Une plaque verticale noire de $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ est portée à une température uniforme de 70°C . La température ambiante est de 20°C .

a) Calculer les flux de chaleur dus à la convection et au rayonnement ($\epsilon = 0.8$),

b) En déduire la puissance ou le flux de chaleur qu'il faut apporter à la plaque pour que sa température reste constante.

IX. Dissipateur thermique

Un transistor de puissance (boîtier TO 3) doit dissiper la puissance $P = 50$ W. Il est monté sur un dissipateur thermique avec assemblage direct.

Les données sont les suivantes :

- température de la jonction, $T_j = 200$ °C ;
- résistance thermique jonction-boîtier, $R_{jb} = 1,4$ °C/W ;
- résistance thermique boîtier-dissipateur, $R_{bd} = 0,25$ °C/W ;
- température ambiante $T_a = 25$ °C.

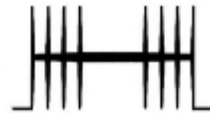
- Quelle est la résistance thermique maximale R_{da} du dissipateur thermique ?



9,6 °C/W



4,5 °C/W



1,6 °C/W

- Choisir un dissipateur qui convienne
- Calculer, pour ce dissipateur, les températures du dissipateur, du boîtier et de la jonction.
- Pourquoi tous ces dissipateurs sont-ils peints en noir mat ?
- Quels sont les avantages et inconvénients de la dissipation passive ?

X. Radiateur pour transistor de puissance

On prévoit de faire fonctionner à une température ambiante T_a de 40°C, un transistor de puissance de type BDY12 qui dissipe une puissance P de 8 W.

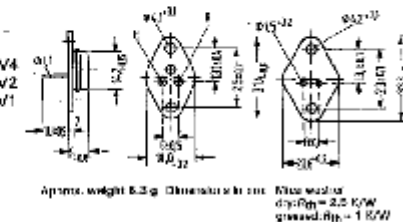
- Analyser les caractéristiques du transistor BDY12 données en annexes et en particulier ses caractéristiques thermiques.
- Dessiner le schéma thermique du transistor utilisé seul et montrer que l'installation du transistor sur un refroidisseur est indispensable.

- Le boîtier du transistor est maintenant fixé sur un radiateur (refroidisseur) de résistance thermique $R_{th}(r)$ avec une rondelle de mica $R_{th}(m)$ pour isoler électriquement le collecteur (réuni au boîtier) de la masse (qui correspond au radiateur). Dessiner le schéma thermique du montage.
- Calculer la valeur maximale que doit avoir la résistance thermique $R_{thmax}(r)$ du radiateur pour qu'à la puissance prévue, la température de jonction ne dépasse pas $T_j(max)$
- Quelles seraient dans ces conditions limites la température du boîtier et celle du radiateur ?
- On désire limiter T_j à 150°C. A l'aide de la documentation annexe, choisir un dissipateur.

25C D ■ 8295605 0004433 T ■ STEG T-33-09
NPN Silicon Planar Transistors
SIEMENS AKTIENGESellschaft 433 D
BDW 25
BDY 12
BDY 13

BDW 25, BDY 12, and BDY 13 are epitaxial NPN silicon planar power transistors in SOT 8 case (9 A 2 DIN 41875). The collector is electrically connected to the case. In order to ensure insulated fixing of the transistors on the chassis, a mica washer, each, and two insulating nipples are provided for. These have to be ordered separately. The transistors are particularly suitable for use in high C.F. output stages and as switches.

Type	Ordering code
BDW 25	C62702 D378
BDW 25-4	C62702-D370-V4
BDW 25-5	C62702-D378-V2
BDW 25-10	C62702-D378-V1
BDY 12	C60204-Y12
BDY 12-E	C60204-Y12-B
BDY 12-10	C60204-Y12-C
BDY 12-16	C60204-Y12-D
BDY 13	C60204-Y13
BDY 13-E	C60204-Y13-B
BDY 13-10	C60204-Y13-C
BDY 13-16	C60204-Y13-D
Mica washer	C62901-B18-A
Insulating nipple	C62901-B18-C



Maximum ratings		BDW 25	BDY 12	BDY 13	
Collector-emitter voltage	V_{CE0}	125	40	60	V
Collector-base voltage	V_{CB0}	130	60	80	V
Emitter-base voltage	V_{EB0}	5	5	5	V
Collector current	I_C	5	5	5	A
Emitter current	I_E	3.6	—	—	A
Emitter peak current ¹⁾	I_{EM}	6	—	—	A
Base current	I_B	0.5	0.3	0.3	A
Base peak current ¹⁾	I_{BM}	1	—	—	A
Junction temperature	T_J	175	175	175	°C
Storage temperature range	T_{stg}	-85 to +125			°C
Total power dissipation ($T_{case} = 45\text{ °C}; V_{CE} < 13\text{ V}$)	P_{tot}	26	26	26	W
Thermal resistance					
Junction to ambient air	R_{thJA}	≤85	≤86	≤86	K/W
Junction to case	R_{thJC}	≤5	≤5	≤5	K/W

1) $V \leq 10\text{ V}; t_p \leq 10\text{ ms}$



FE3728
Dissipateur pour TO5-T039 -
Rth=55°C/W
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.40 Euro



FI344SE
Dissipateur pour TO220, Rth=27°
C/W
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.45 Euro



FI306SE
Dissipateur pour TO220, Rth=20°
C/W
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.50 Euro



FE37210
Dissipateur pour TO5-T039 -
Rth=44°C/W
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.45 Euro



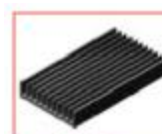
FI3005N
Dissipateur pour TO220,
Rth=29.5°C/W
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.50 Euro



PR863SE
Dissipateur pour DIL14-16 -
Rth=50°C/W - 18.9x6.3x4.8mm
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.65 Euro



PR833SE
Dissipateur pour DIL24 - Rth=13°
C/W - 18.9x33x4.8mm
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.65 Euro



PR719SE
Dissipateur pour DIL14-16 -
Rth=46°C/W - 10x6.3x4.8mm
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.75 Euro



PR1920SE
Dissipateur pour TO220
29x20x12mm - Rth=13.5°C/W
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.95 Euro



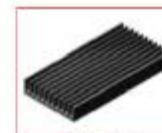
PR29375SE
Dissipateur pour TO220 -
Rth=12°C/W
> Sélectionner
> Plus d'infos

1.20 Euro



PR785SE
Dissipateur pour DIL6-8 -
Rth=80°C/W - 8.5x6.3x4.8mm
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.70 Euro



PR837SE
Dissipateur pour DIL28 -
Rth=11.5°C/W - 18.9x37x4.8mm
> Sélectionner
> Plus d'infos

0.85 Euro



PR1935SE
Dissipateur pour TO220 -
Rth=12°C/W
> Sélectionner
> Plus d'infos

1.20 Euro



FI311SE
Dissipateur pour
TO3, TO66, SOT9, SOT32, TO220
Rth=7°C/W - 45x45x25mm
> Sélectionner
> Plus d'infos

1.50 Euro

XI. Capacité thermique massique

On a dans un récipient une quantité d'un litre d'eau à 4°C et nous souhaitons la chauffer à 65°C. Quelle sera l'énergie en [Wh] nécessaire pour chauffer l'eau ?

XII. Bouilloire électrique

Une bouilloire électrique est munie d'un thermoplongeur de puissance 2000W.

On peut chauffer 3 litres d'eau à partir de 20°C.

Calculer le temps nécessaire à la bouilloire pour faire amener l'eau à ébullition.

XIII. Limitation de la valeur efficace de l'intensité du courant parcourant un câble électrique

En fonction de la nature du câble électrique et de la nature de l'énergie électrique transportée, une intensité maximale admissible pour chaque câble est déterminée pour une température d'air ambiant de 30°C afin que la valeur de la température des brins métalliques ne dépassent pas la température maximale de :

- 70°C pour un câble basse tension multibrins en cuivre isolant PolyChlorure de Vinyle (PVC) ;
- 90°C pour un câble basse tension multibrins isolant Polyethylene Reticule (PR).

On donne :

- Conductivité thermique du PVC : $\lambda_{PVC} = 0,18 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$
- Conductivité thermique du PR : $\lambda_{PR} = 0,4 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$

Pour un câble multibrins en cuivre, le courant maximum admissible est donné dans le tableau suivant :

Isolant PVC	Section 1,5 mm ²	Section 2,5 mm ²	Section 4,0 mm ²
Alimentation triphasée	18,5 A	25 A	34 A
Alimentation monophasés ou continue	22 A	30 A	40 A
Isolant PR	Section 1,5 mm ²	Section 2,5 mm ²	Section 4,0 mm ²
Alimentation triphasée	23 A	31 A	42 A
Alimentation monophasés ou continue	26 A	36 A	49 A

1. Pour un câble de section 2,5 mm² et en supposant que l'épaisseur d'isolant est égale au diamètre du câble, calculer, pour les deux types d'isolants considérés, la résistance thermique pour 1 m de câble.
2. En déduire, pour les deux cas, la puissance thermique maximale que peut évacuer un mètre de câble.

3. Calculer la résistance électrique linéique d'un mètre de câble à 20°C, puis à la température maximale.

Données : résistivité du cuivre à 0°C :

$$\rho_{Cu0^\circ C} = 15,88.10^{-9} \Omega.m ;$$

$$\text{résistivité du cuivre à } T^\circ C : \rho_{CuT^\circ C} = \rho_{Cu0^\circ C}(1+4,27.10^{-3}.\Delta T);$$

4. En déduire les valeurs des courants maximum admissibles. Comparer avec les valeurs du tableau. Discuter.
5. Que se passe-t-il si la température ambiante passe à 50°C ? Refaire les calculs. Conclure.