
Table des matières

Table des matières :

REMERCIEMENTS	6
<i>Table des matières</i>	7
<i>Introduction générale</i>	11
Chapitre I : Thermométrie et capteurs de température	13
Histoire	14
I.1. Échelles des températures	15
I.1.1 Échelles thermodynamiques ou absolues	15
I.1.1.1 Échelle de Kelvin	15
I.1.1.2 Échelle de Rankin	15
I.1.2 Échelles dérivées	15
I.1.2.1 Échelle de Celsius	15
I.1.2.2 Échelle de Fahrenheit	15
I.1.2.3 Conversion entre échelle de Celsius et de Fahrenheit	15
I.1.3 Échelles Internationale de Température (EIT 90)	16
I.1.4 Étalonnage d'un capteur	17
I.2 Thermométrie par résistance	17
I.2.1 Résistance Métallique	17
I.2.2 Thermistances	18
I.3 Thermométrie par thermocouple	18
I.4 Thermométrie par semi-conducteurs	20
Chapitre II : les composants utilisés dans le thermomètre à bargraph	21
II.1 Description de LM35 (capteur de température)	22
II.1.1 Configuration et fonctions de broches	23
II.1.2 Conditions de fonctionnement recommandées	24
II.1.3 Caractéristiques typiques	24

II.2 Le LM3914 pilote de LEDs / bargraphs	26
II.2.1 Description	26
II.2.2 Explication schématique interne du LM3914	27
II.2.2.1 Le comparateur	29
II.2.2.2 Tampon d'entrée (the buffer)	29
II.2.2.3 Tension de référence	29
II.2.3 Applications typiques	31
II.2.3.1 Un Bargraph pour voltmètre de 0 V à 5 V	31
II.2.3.2 Un Bargraph avec alarme visuelle	32
II.2.3.3 Un Bargraph à plage variable	32
II.3 Quelques exemples utilisant le LM3914	33
II.3.I Indicateur de niveau de liquides	33
II.3.2 Diagnostic d'une batterie	34
II.3.3 Un voltmètre	35
II.4 La LED	36
II.4.1 Principe physique de la LED (l'Electroluminescence)	36
II.4.2 Caractérisations électriques de la LED	37
II.4.3 Affichage à bargraph	38
Chapitre III : Simulation et Réalisation d'un thermomètre à bargraph	39
III.1 Présentation du Thermomètre à LEDs	40
III.2 Etude théorique du thermomètre visuel	41
III.2.1 Le capteur de température LM35	41
III.2.2 Le circuit intégré LM3914	42
III.2.3 Le conditionneur	43
III.2.4 Explication Modérée de fonctionnement du thermomètre visuel	43
III.3 Simulation sous ISIS	46
III.4 Réalisation du thermomètre	48
III.4.1 Réalisation du thermomètre sous plaque d'essai	48
III.4.2 Réalisation du thermomètre sous circuit imprimé	49
III.5 Réalisation du thermomètre visuel avec des LEDs ordinaires	51
III.6 Nomenclature	53

Conclusion générale 54
Liste des figures56
Liste des tableaux58
Bibliographie 59
Annexe A61

Introduction générale

Introduction

Les capteurs sont largement utilisés dans une multitude de domaines et sont employés dans la vie quotidienne pour transformer des événements mécaniques, chimiques ou thermiques en signal électrique. Ils forment ainsi une partie centrale et fondamentale de l'interface entre le monde physique et le monde électrique. Les cinquante dernières années et plus spécialement la première décennie du XXI^{ème} siècle ont été le siège d'un réel progrès technologique dans les activités capteurs [1].

On a également, assisté à la multiplication des types de capteurs de température, ces composants répondent à la demande croissante pour des réseaux de capteurs communicants autonomes pour des applications distribuées de surveillance, d'analyse ou encore de diagnostique [2]-[3].

Dans le but d'évaluer le potentiel de capteur de température LM35 et pour réaliser un thermomètre visuel à LEDs, nous avons décidé de le faire à l'aide d'un histogramme numérique qui se présente sous la forme d'un bargraphe à 10 LEDs. Il sera alimenté par une batterie de 9V, donc une consommation limitée. La gamme de la température à mesurée est entre 10°C et 40°C. Nous verrons donc comment étalonner, mesurer et visualiser la température à l'aide d'un bargraphe à LEDs.

Tout d'abord nous présenterons comment mettre en œuvre la détection de la température. Ensuite en expliquerons le fonctionnement complet du circuit intégré qui permet d'allumer les LEDs en fonction d'une tension.

Rapport-Gratuit.com

Chapitre I

Thermométrie et capteurs de température

Historique :

Le terme « thermomètre » a été inventé en 1624 par le jésuite Jean Leurechon dans son ouvrage « Récréation mathématique ». Le principe qu'il décrit (un changement de température faisant monter le niveau de l'eau dans une conduite) fut expérimenté par un médecin vénitien Sanctorius, ami de Galilée à qui la paternité de l'invention est souvent attribuée.

En 1654, le grand-duc de Toscane à Florence, Ferdinand II de Médicis, perfectionna l'instrument de Sanctorius et créa le premier véritable thermomètre en emprisonnant de l'alcool dans un tube de verre hermétique². Il portait 50 graduations. En hiver, il descendait jusqu'à 7 degrés et montait, en été, à 40 degrés. Dans la glace qui fond, il montrait 13 degrés.

Au départ la température a un lien avec la sensation de chaud et de froid. Par ailleurs les premiers thermoscopes étaient gradués en très chaud, chaud, tempéré, froid, très froid. Mais très vite nous pouvons voir les limites de cette notion. En effet si vous plongez la main dans de l'eau froide puis dans de l'eau tiède, celle-ci vous paraîtra chaude, maintenant plongez la main dans de l'eau chaude et remettez-la dans la même eau tiède, celle-ci vous paraîtra plus froide qu'après. Cette notion n'étant ni précise, ni fidèle, les scientifiques ont voulu trouver un autre moyen de définir et de mesurer la température. Ainsi la physique statistique est venue pour définir la température comme un degré d'agitation des atomes et/ou des molécules. Un peu plus tard viendra la notion de désordre avec l'entropie. La thermodynamique apporte une énorme contribution dans la définition de la température. En effet celle-ci est introduite par Sadi Carnot en 1824 dans la notion de machine thermique parfaite décrite par un cycle. Dans cette notion le rapport de températures est défini par un rapport d'énergies. La température est une grandeur intensive, c'est-à-dire qu'elle traduit un "état" du système étudié au même titre qu'une tension électrique, une altitude ou un potentiel chimique, etc. On peut comparer les valeurs d'une grandeur intensive de deux systèmes, mais on ne peut pas en faire la somme. Une grandeur intensive est un potentiel d'où dérive un champ. À une grandeur intensive est associée une grandeur extensive. En thermique, la grandeur extensive associée à la température est l'entropie. Afin de mesurer la température il est nécessaire que le capteur mesure une grandeur physique qui dépend de la température de l'élément à mesurer [4].

C'est-à-dire qu'il existe une relation mathématique qui relie la grandeur G à la température :

$$G = f(T)$$

Enfin de mesurer la température de manière indirecte, il a fallu mettre en place une échelle de température, ensuite fabriquer des capteurs mesurant la température à partir de grandeur telle la résistivité, le potentiel, etc.[3]

I.1. Échelles des températures :

Pour réaliser une mesure, il faut définir une échelle de température ayant un caractère universel et donc il faut qu'elle soit basée uniquement sur des lois de la thermodynamique.

I.1.1 Échelles thermodynamiques ou absolues :

La température thermodynamique est la température définie uniquement à partir du premier et second principe de la thermodynamique. Elle ne dépend donc pas des thermomètres utilisés pour mesurer la température et possède ainsi une définition universelle [3].

I.1.1.1 Échelle de Kelvin :

L'unité est le Kelvin (K). Cette échelle se base sur la valeur de la température du point triple de l'eau étant fixé à 273,16. Le point triple de l'eau est la température d'équilibre entre la phase solide, liquide et vapeur.

I.1.1.2 Échelle de Rankin :

L'unité est le degré Rankin (°R) qui est égal à 9/5 de kelvin; la température du point triple de l'eau est donc de 491,69 °R.

I.1.2 Échelles dérivées :[3]

I.1.2.1 Échelle de Celsius :

L'unité est le degré Celsius (°C). Cette échelle se base sur l'échelle absolue de Kelvin :

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273,15$$

I.1.2.2 Échelle de Fahrenheit :

L'unité est le degré Fahrenheit (°F). Cette échelle s'obtient par décalage de l'échelle absolue de Rankin [3]:

$$T(^{\circ}F) = T(^{\circ}R) - 459,67$$

I.1.2.3 Conversion entre échelle de Celsius et de Fahrenheit :

$$T(^{\circ}C) = (T(^{\circ}F) - 32) \frac{5}{9}$$

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES 

Tableau de correspondance :

Températures	Échelles thermométriques			
	Kelvin (K)	Celsius (°C)	Rankine (°R)	Fahrenheit (°F)
Zéro absolu	0	- 273,15	0	- 459,67
Mélange eau-glace sous p.a.n	273,15	0	491,67	32
Point triple de l'eau	273,16	0,01	491,69	32,018
Ébullition de l'eau sous p.a.n	373,15	100	671,67	212

Tableau I.1 : les états de l'eau de différentes échelles thermométriques

p.a.n : pression atmosphérique normale (=101 325 Pa)

I.1.3 Échelles Internationale de Température (EIT 90)

Il est possible en interpolant de fabriquer un thermomètre à gaz capable de mesurer des températures absolues. Cependant ces thermomètres à gaz sont énormes donc encombrant et sa manipulation doit être faite de manière délicate. Ces thermomètres ont été utilisés dans certains laboratoires de métrologie afin de déterminer à partir de certains phénomènes comme le changement d'état des étalons dit primaire ou **points fixes**.

Substance	Type de point*	T(K)	T(°C)
Hydrogène	Tr	13,8033	- 259,3467
Néon	Tr	24,5561	- 248,5939
Oxygène	Tr	54,3584	-218,7916
Argon	Tr	83,8058	- 189,3442
Mercure	Tr	234,3156	- 38,8344
Eau	Tr	273,16	0,01
Gallium	F	302,9146	29,7646
Indium	C	429,7485	156,5985
Étain	C	505,078	231,928
Zinc	C	629,677	419,527
Aluminium	C	933,473	660,323
Argent	C	1234,93	961,78
Or	C	1337,33	1064,18
Cuivre	C	1357,77	1084,62

Tableau I.2 : **Tr** : point triple, **C** : point de congélation sous p.a.n , **F** : point de fusion sous p.a.n

I.1.4 Étalonnage d'un capteur :

Nous avons vu précédemment qu'il existait un certain nombre de points fixes qui nous serviront d'étalons comme le point triple de l'eau, le point de fusion du Gallium ou encore le point de congélation du cuivre. Mais comment vérifier si un capteur est bien étalonné ? Il existe différentes manières d'étalonner un capteur en fonction du point fixe avec lequel nous effectuons l'étalonnage[5].

I.2 Thermométrie par résistance :

La thermométrie par résistance utilise, comme son nom l'indique, la variation de la résistance d'un matériau en fonction de la température. Cette variation de résistance peut être faite aussi bien avec un métal (dans ce cas-là nous parlerons de résistance métallique) mais aussi avec des oxydes (dans ce cas-là nous parlerons de thermistances) [3].

I.2.1 Résistance Métallique :

Dans le cas des métaux, la résistance varie avec la température suivant la loi suivante :

$$R = R_0 (1 + \alpha T + b T^2 + c T^3)$$

Tous les métaux voient leur résistance varier avec la température mais seulement quelques uns sont utilisés comme capteur. En effet un bon capteur doit avoir une bonne sensibilité, être le plus fidèle possible, être le moins encombrant possible, linéaire même si ce n'est pas obligatoire, avoir un temps de réponse convenable et une étendue de mesure suffisante. Les quatre métaux les plus utilisés sont le platine, le tungstène, le nickel et le cuivre.

Métal	Caractéristiques	Étendue de mesure
Platine	Précis, stable, durable Coût important : 30 €	-200 °C, 600 °C
Tungstène	S tungstène > S platine Moins Stable que platine Meilleure linéarité en haute température	-100 °C, 1 400 °C
Nickel	Sensibilité la plus élevée Résistivité élevé Faible linéarité Peu stable	-60 °C, 180 °C
Cuivre	Linéaire, Peu stable Résistivité faible donc encombrement	-190 °C, 150 °C

Tableau I.3 : Les caractéristiques et l'étendue de mesure de quelques métaux.

Le nickel serait le meilleur capteur s'il était linéaire sur une plus grande étendue. Le plus utilisé reste tout de même le platine et plus précisément la Pt 100 qui a comme particularité de valoir 100 Ohm à 0 °C. La Pt 100 peut se trouver sur plusieurs formes, l'une d'elle étant la Pt 100 surmoulée qui permet d'accroître son étendue de mesure mais qui augmente son temps de réponse. Si l'étendue de mesure est satisfaisante, il est possible d'utiliser la Pt 100 sur couche mince permettant d'avoir un bon contact entre l'objet dont on souhaite connaître la température et le capteur et aussi d'avoir un bon temps de réponse.

I.2.2 Thermistances :

Pour les thermistances, le matériau dont on observe la résistance est un agglomérat d'oxydes métalliques rendus compacts par haute pression exercée à température élevée. Il existe trois grandes sortes de thermistance : les Coefficient de Température Négatif (CTN), les Coefficient de Température Positif (CTP) et les résistances à variation critique (critical variation resistor) qui sont des CTN à variation brusque de résistance. Les CTN ont la particularité de voir sa résistance diminuer avec la température ce qui en fait une des thermistances les plus utilisés. Les CTN peuvent se trouver sous diverses formes : perles de verre, disques, barreaux, pastilles, rondelles, puces etc.

I.3 Thermométrie par thermocouple :

Les thermocouples sont des capteurs actifs qui délivrent une f.é.m. lorsque ceux-ci sont soumis à une modification de la température. Une fois que l'on a la f.é.m. pour pouvoir remonter à la valeur de la température, il faut connaître l'une des deux jonctions et surtout sa température. Celle-ci se nommera jonction de référence. La nature des matériaux conducteurs utilisés définit le type du thermocouple. Il existe beaucoup de type de thermocouple qui sont pour la plupart repérée par une lettre ainsi un thermocouple de type J est constitué d'une jonction en fer et d'une jonction en constantan. Le tableau suivant indique les thermocouples les plus utilisés [3] :

Lettre	Conducteur positif	Conducteur négatif
T	Cuivre	Nickel-Cuivre (Constantan)
J	Fer	Constantan
E	Nickel-Chrome (Chromel)	Constantan
K	Chromel	Nickel-Aluminium (Alumel)
S	Platine-10 % Rhodium	Platine-6 % Rhodium
R	Platine-13 % Rhodium	Platine
B	Platine-30 % Rhodium	Platine-6 % Rhodium
N	Nickel-Chrome-Silicium (Nicrosil)	Nickel-Chrome-Magnésium (Nisil)
U	Cuivre	Constantan
G	Tungstène	Tungstène-26 % Rhénium
C	Tungstène-5 % Rhénium	Tungstène-26 % Rhénium
D	Tungstène-3 % Rhénium	Tungstène-25 % Rhénium

Tableau I.4 : Les lettres de références des thermocouples les plus utilisés

L'un des premiers éléments pour choisir un capteur est souvent le domaine d'utilisation mais aussi sa sensibilité. Le tableau suivant donnera les valeurs de ces deux paramètres pour quelques capteurs.

Lettre	Domaine d'utilisation (°C)	Sensibilité moyenne ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
T	-200 à 370	51
J	-40 à 800	55
E	-270 à 870	78,5
K	-270 à 1270	41
S	-50 à 1600	11,4
R	-50 à 1600	12,9
B	0 à 1700	10,6
N	-270 à 1300	38
G C et D	0 à 2600	20
Pt/Au	0 à 1000	25

Tableau I.5 : L'intervalle de température et la sensibilité moyenne de quelques capteurs

Ces thermocouples ont des caractéristiques différentes et par la même occasion ont une utilisation qui leur sont plus favorable. Par exemple, un thermocouple de type **E** possède la plus grande sensibilité mais il est possible qu'il y ait une dérive. Le type **J** ne doit pas être utilisé pour de basses températures sinon la jonction risque de casser et le fer sera oxyder. Le thermocouple de type **K** est

Chapitre II

*Les composants utilisés dans le thermomètre
à bargraphs*

II.1 Description de LM35 (capteur de température):

Les séries de LM35 sont des capteurs de température à circuit intégré avec précision, c'est-à-dire une tension de sortie linéairement proportionnelle à la température centigrade qui est dans notre cas le mesurande. le dispositif LM35 est avantageux par rapport au autres capteurs de température linéaires calibrés en Kelvin, tant que l'utilisateur est pas tenue de soustraire une tension constante, et large du sortie mise à l'échelle pour obtenir un centigrade pratique [9] .

Le dispositif LM35 ne nécessite aucun calibrage externe ou tailler pour fournir des précisions typiques de $\pm \frac{1}{4}^{\circ} \text{C}$ à la température ambiante et de $\pm \frac{3}{4}^{\circ} \text{C}$ sur une pleine plage de température du $- 55^{\circ} \text{C}$ à 150°C . Un coût bas est assuré par la coupe et le calibrage au niveau de la plaquette.

Une sortie linéaire et à faible impédance, le LM35 procède un étalonnage précis qui facilite la lecture pour les circuits de commande.

le dispositif LM35 est conçu pour fonctionner sur une gamme de température du $- 55^{\circ} \text{C}$ à 150°C , tandis que le dispositif LM35C est évalué pour une plage de $- 40^{\circ} \text{C}$ à 110°C ($- 10^{\circ} \text{C}$ avec une précision améliorée). La série des dispositifs LM35 sont disponibles emballés aux paquets de transistors imperméable, tandis que les dispositifs LM35C, LM35CA, et LM35D sont disponibles dans l'emballage plastique de transistors TO-92.

Le dispositif LM35D est disponible dans un petit paquet de 8 broches monté dans un emballage en plastique TO-220 [18].

<i>Numéro de la pièce</i>	<i>Paquet</i>	<i>Taille du corps</i>
Lm 35	<i>TO-CAN</i>	4.699 mm × 4.699 mm
	<i>TO-92 (3)</i>	4.30 mm × 4.30 mm
	<i>SOIC (8)</i>	4.90 mm × 3.91 mm
	<i>TO-220 (3)</i>	14.986 mm × 10.16 mm

Tableau II.1 : Informations de dispositif

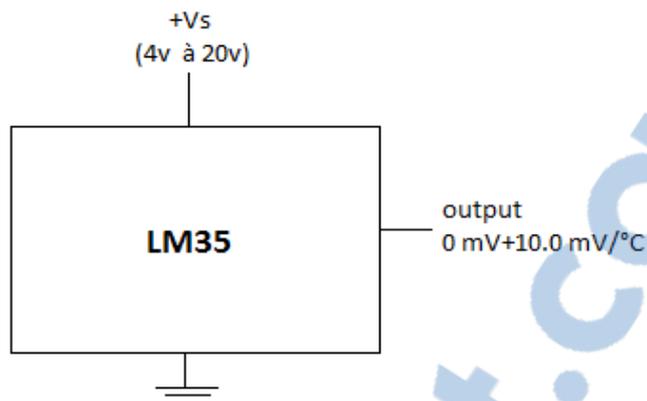
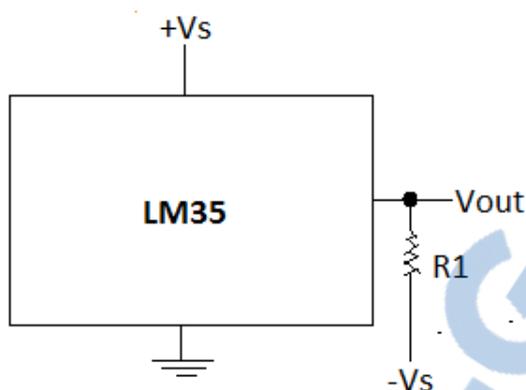


Figure II.1 : Schéma électrique du capteur de température le LM35 dans la plage de 2°C à 150°C



Choisissons :

$$R_1 = -V_S / 50 \mu A$$

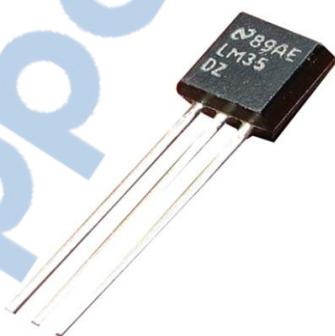
$$V_{OUT} = 1500 \text{ mV à } T = 150 \text{ °C}$$

$$V_{OUT} = 250 \text{ mV à } T = 25 \text{ °C}$$

$$V_{OUT} = -550 \text{ mV à } T = -55 \text{ °C}$$

Figure II.2 : Schéma électrique du capteur de température le LM35 à pleine gamme

II.1.1 Configuration et fonctions de broches



emballage en plastique
3-pin t0-92
vue de dessous

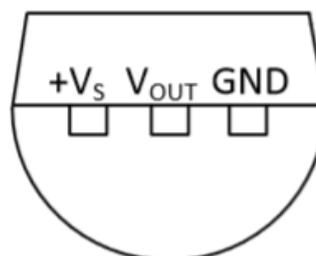


Figure II.3 : Brochage de LM35

Vout : sortie analogique de capteur de température.

GND : Broche de terre de l'appareil, connecté à la borne négative d'alimentation.

+Vs : Broche d'alimentation positive.

II.1.2 Conditions de fonctionnement recommandées

Le tableau suivant représente plusieurs types de LM35 selon la plage de température à l'air libre en fonction de la tension d'alimentation [18]:

		<i>T min</i>	<i>T max</i>
<i>Température de fonctionnement spécifiée :</i> <i>Tmin à Tmax</i>	LM35, LM35A	-55 °C	150 °C
	LM35C, LM35CA	- 40 °C	110 °C
	LM35D	0 °C	100 °C
<i>Tension d'alimentation (+Vs)</i>		4 V	30 V

Tableau II.2 : plage de mesure de la série LM35

II.1.3 Caractéristiques typiques :

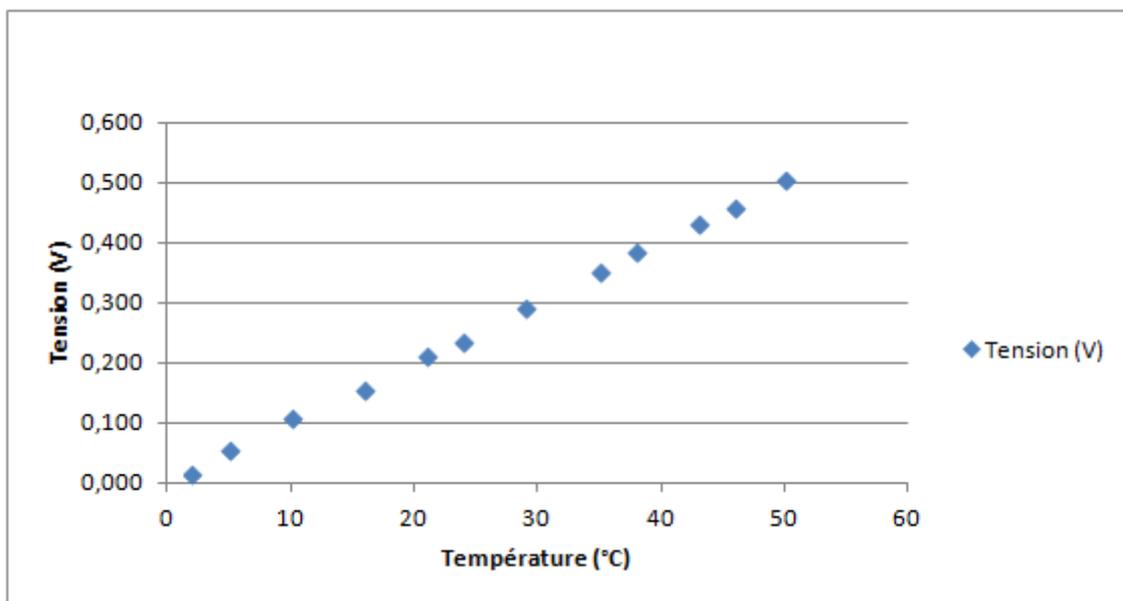


Figure II.4 : Tension de sortie du lm35 en fonction de la température

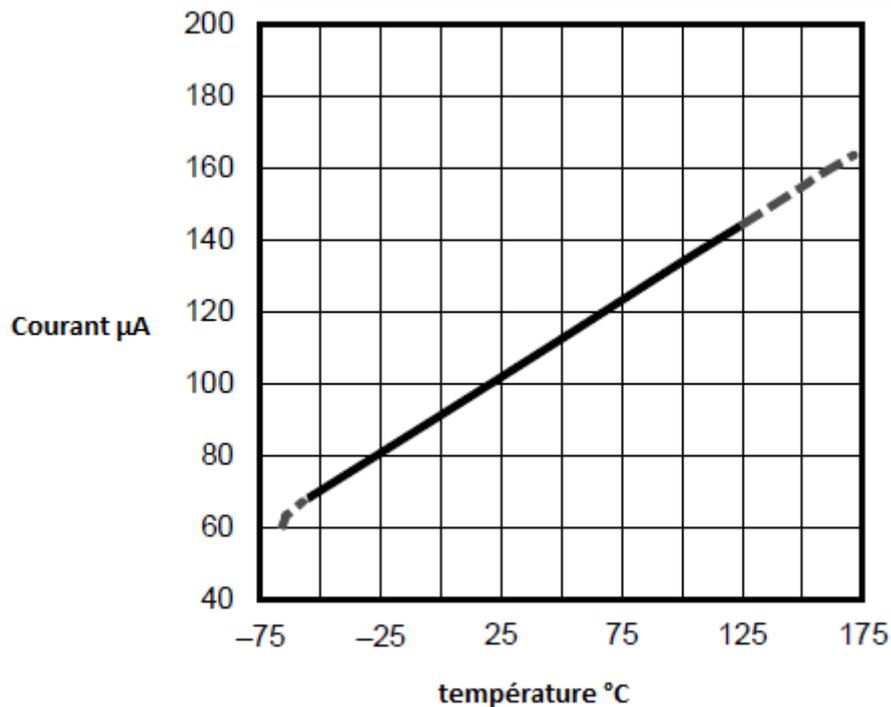


Figure II.5 : Courant en fonction de la température

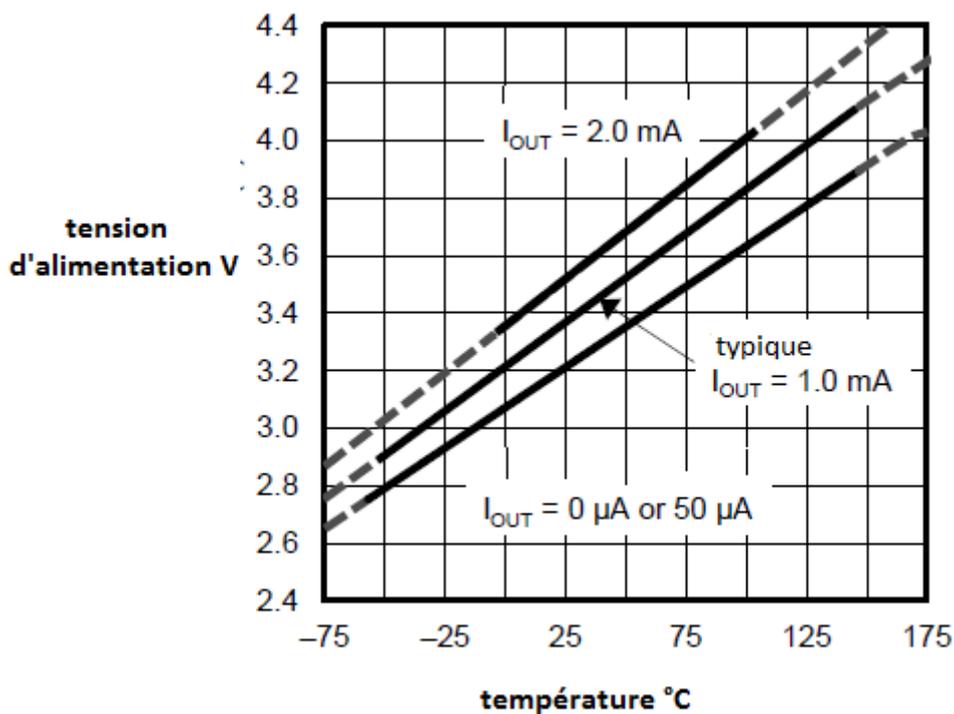


Figure II.6 : Tension d'alimentation minimum par rapport à la Température

Le tableau suivant représente l'erreur relative de la température du LM35 à différentes plages de températures [18] :

<i>Paramètres</i>	<i>valeurs</i>
<i>Précision à 25°C</i>	$\pm 0.25^{\circ}\text{C}$
<i>Précision aux limites</i>	$\pm 0.75^{\circ}\text{C}$
<i>Pente de Température</i>	$10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

Tableau II.3 : marge d'erreur de LM35

II.2 Le LM3914 pilote de LEDs / bargraphs:

II.2.1 Description :

Le LM3914 est un circuit intégré monolithique qui est sensible aux niveaux des tensions analogiques et entraîne 10 LEDs qui fournissent un affichage analogique linéaire. Une seule broche change l'affichage d'un point mobile à un graphique à barres c'est la broche 9. Le Courant conduit aux LEDs est réglable et programmable, éliminant le besoin des résistances, ce qui permet un fonctionnement de l'ensemble du système de moins de 3V.

Le circuit contient sa propre référence réglable et précise en 10 étages d'amplificateurs contrôlés par un diviseur de tension. Le tampon d'entrée à faible courant de polarisation protège le dispositif et conduit les signaux à haute tension vers la terre, ou -V, encore il n'a besoin d'aucune protection contre les entrées de 35V. L'amplificateur entraîne 10 comparateurs individuels référencés au diviseur de précision [12].

L'instabilité a été conçue dans le LM3914 de sorte que le contrôleur de l'alarme visuelle est facilement ajouté au système d'affichage. Le circuit peut piloter des LEDs à couleurs différentes, ou des lampes à incandescence à faible courant.

Une série de LM3914s peuvent être "enchaînées" pour former des écrans de 20 à 100 segments. Les deux extrémités du diviseur de tension sont disponibles à l'extérieur pour que deux conducteurs puissent être réalisés dans un compteur à zéro [14].

Le LM3914 est très facile à appliquer comme un circuit de compteur analogique. Une tension de 1.25V peut même la pleine échelle nécessite seulement une seule résistance et une alimentation de 3V à 15V pour l'affichage des 10 LEDs.

Voici les principales caractéristiques du LM3914 [18]:

- Pilote séparément 10 DEL ou un afficheur LCD
- Montage en cascade possible (jusqu'à 10 CI.)
- Affichage en mode BAR ou DOT, au choix de l'utilisateur
- Echelle linéaire
- V_{réf} interne de 1,25 V ajustable par l'utilisateur jusqu'à 12 V
- V_s (alimentation) de 3 V à 25 V
- Supporte une tension d'entrée V_{in} jusqu'à 35 V
- Entrée protégée contre tension inverse ou surtension
- Courant de sortie régulé, de 2 mA à 30 mA (résistances de limitation I_{DEL} inutiles)

II.2.2 Explication schématique interne du LM3914

Le schéma simplifié de l'LM3914 donne une idée générale de l'exploitation du circuit. Un tampon de haute impédance d'entrée fonctionne avec des signaux à partir de la masse à 12V, et est protégé contre les signaux inverses et les surtensions. Le signal est ensuite appliqué à une série de 10 comparateurs; dont chacun est polarisé à un niveau différent par rapport à une chaîne des résistances.

Dans l'exemple illustré dans la figure 9, la chaîne de résistances est connectée à la tension de référence interne de 1,25V. Dans ce cas, pour chaque augmentation de 125mV du signal d'entrée, un comparateur va basculer sur un autre LED. Ce diviseur de résistance peut être connecté entre deux tensions, à condition qu'ils soient 1,5V en dessous de V₊ et pas moins de V₋ [14][15].

II.2.2.1 Le comparateur

Le cœur du dispositif est une chaîne de dix résistances qui fixent la polarisation sur dix comparateurs de sorte que les LEDs sont allumées séquentiellement que la tension d'entrée augmente. Le LM3914, LM3915 et LM3916 sont identiques à l'exception des valeurs des résistances dans la chaîne de diviseur de tension. Dans le LM3914 les résistances ont la même valeur pour produire une réponse linéaire requis pour des applications de voltmètre [18].

II.2.2.2 Tampon d'entrée (the buffer)

En électronique, un buffer est un montage spécifique destiné à amplifier le courant dans la sortie d'un circuit, permettant de raccorder plusieurs utilisateurs sur la sortie de ce circuit.

Un étage de tampon d'impédance d'entrée élevée minimise la charge sur le circuit sous mesure. L'étage est protégée contre les entrées de polarité inversée par une diode connectée en série, et jusqu'à 35V peut être appliqué à l'entrée (broche 5) avant que des dommages se produisent et on peut aller jusqu'à 100 V en plaçant une résistance de 39 k Ω en série avec l'entrée. La broche 5 doit être reliée à la masse par l'intermédiaire d'une résistance d'un pas de 100 k Ω ou la LED10 se verrouillera [18].

II.2.2.3 Tension de référence

Bien que les extrémités de la chaîne de résistances puissent être reliées à la tension de référence externe, il est généralement plus pratique à utiliser la référence 1.2 (elle peut varier de 1.2V à 1.34V), elle est mise en évidence sur les broches 7 et 8. La tension sur la broche 7 (Référence de sortie) peut être portée à un maximum de 12V en connectant la broche 8 (Référence d'ajustement) avec la masse par l'intermédiaire d'une résistance. La capacité à augmenter la référence interne de cette manière facilite la régulation de la sensibilité dans des limites plus larges.

La référence est conçue pour être réglable et développe une tension de 1.25V nominale entre les bornes de REF OUT (broche 7) et REF ADJ (broche 8). La tension de référence est impressionnée à travers les bornes de la résistance programmable R_1 , étant donné que la tension est constante, un courant constant I_{ADJ} circule alors à travers la résistance de sortie R_2 , donne une tension de sortie de:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$

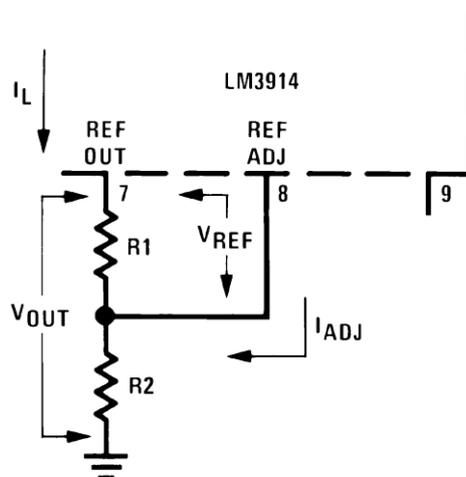


Figure II.8: Schéma électrique illustre la tension V_{out}

Si la chaîne des résistances est connectée à la borne interne de la source de référence, le courant qui passe à travers doit être ajouté au courant qui passe à travers la résistance ajustable. Lorsque le LM3914 est utilisé, la résistance totale de la chaîne est nominalement $10\text{ k}\Omega$, et le courant de la LED peut être calculé à partir de la formule suivante [12][18]:

$$I_{LED} = 10 \left(\frac{1.25}{R} + \frac{1.25}{10\text{K}\Omega} \right)$$

R est la valeur de la résistance de charge.

Avec une résistance de $2.2\text{ k}\Omega$, le courant d'une seule LED est :

$$10 \left(\frac{1.25}{2200} + \frac{1.25}{10000} \right) = 7\text{ mA}$$

Ainsi, le courant en mode à barres graphique avec 10 LEDs allumées soit égal à 70 mA .

II.2.3 Applications typiques :

II.2.3.1 Un Bargraph pour voltmètre de 0 V à 5 V

Le schéma d'application du LM 3914 présenté dans la figure II.9 s'impose comme une évidence, puisqu'il permet de visualiser l'évolution de la tension d'entrée, celle-ci étant comprise entre 0 et 5

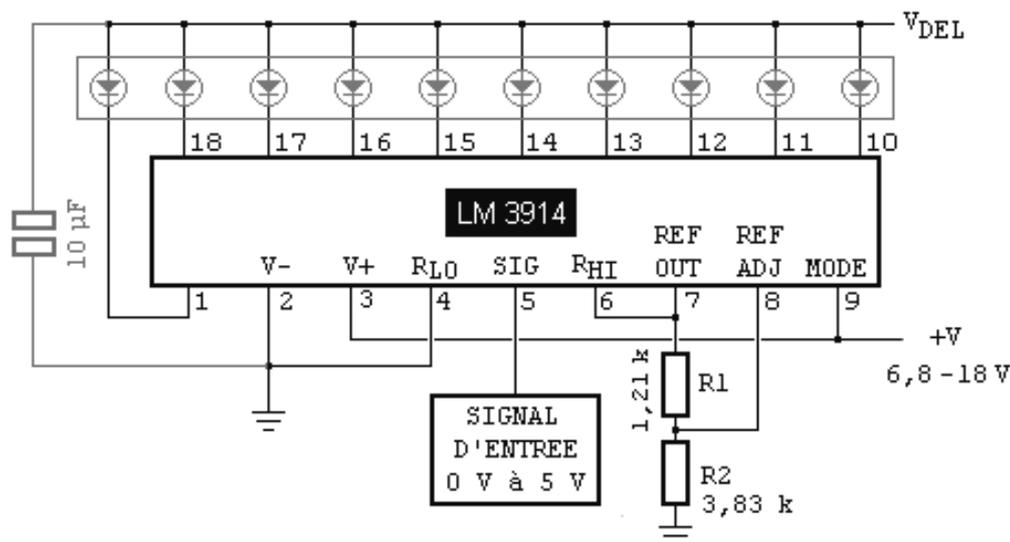


Figure II.9 : Schéma de base du LM3914

$$V_{ref\ out} = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$I_{led} \cong \frac{12.5}{R_1}$$

La broche 9 (mode select) offre trois possibilités, un affichage "Bargraph" lorsqu'elle est reliée directement à la broche 3 (+V), ce qui est le cas dans la figure ci-dessus; un affichage "dot" (une seule DEL à la fois) lorsqu'elle n'est pas connectée; un montage en cascade de plusieurs LM3914.

Lorsque la broche 9 du premier C.I est reliée à la broche 1 du C.I suivant, car on peut ainsi chaîner plus d'une dizaine de LM3914, la broche 9 du dernier C.I de la chaîne sera alors reliée à la broche 11. Un simple interrupteur peut donc autoriser le choix d'un affichage "dot" ou "Bargraph".

Le condensateur de 10 μ F figurant sur le schéma n'est nécessaire que si les LEDs (ou le Bargraph) sont déportés à l'aide de fils d'une longueur supérieure à une quinzaine de centimètres.

La tension du signal d'entrée (broche 5) devra ici être comprise entre 0 V et 1,25 V [18].

On observera que l'extinction d'une DEL et l'allumage de sa voisine se fait "en douceur", sans sautillerment brutal, ceci est dû à un réglage interne du LM3914, destiné à rendre l'affichage plus confortable [11].

II.2.3.2 Un Bargraph avec alarme visuelle

Le schéma de la figure II.10 ne diffère guère du précédent, mais il possède une caractéristique assez spectaculaire or le Bargraph clignote lorsque la dixième LED s'allume. Autrement dit, un affichage à pleine échelle (full scale en anglais) s'accompagne d'un clignotement des DELs.

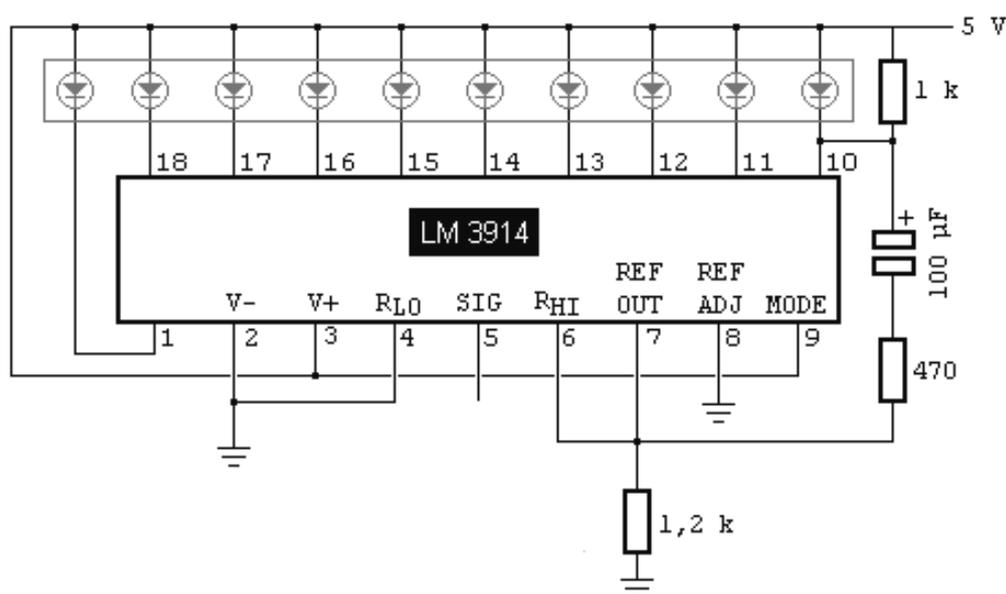


Figure II.10 : Mode alarme visuelle

Mieux encore, on peut faire clignoter le Bargraph lorsque, par exemple la huitième DEL s'allume pour cela, il suffit de relier la cathode de cette DEL à la jonction entre la résistance de 1 k Ω et le condensateur de 100 μ F [12].

II.2.3.3 Un Bargraph à plage variable

Le schéma de la figure II.11 est très proche du premier, la différence est que la plage de sensibilité n'est plus fixe, mais variable, grâce à trois ajustables. La sélection du mode d'affichage (bar ou dot) se fait par l'intermédiaire d'un interrupteur. Le CI sera alimenté sous 9 V. Les seuils "mini" et "maxi" sont réglés à l'aide des ajustables.

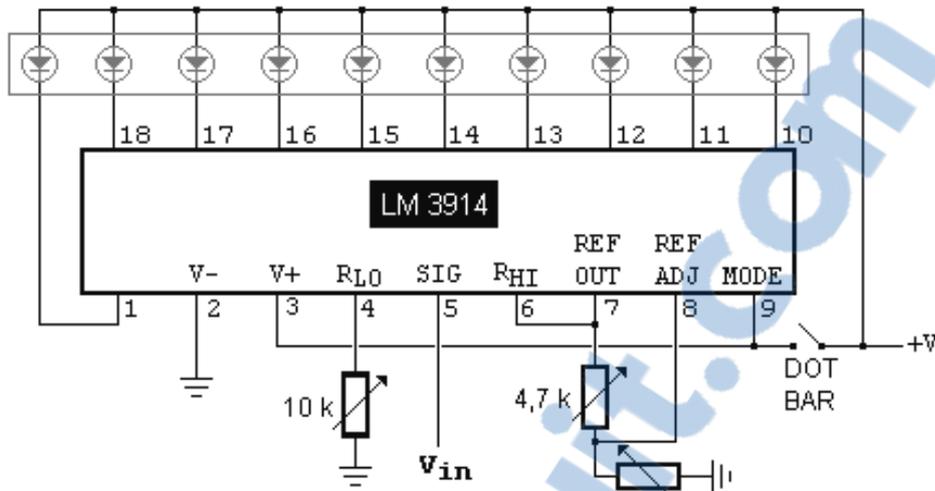


Figure II.11 : Bargraph à plage variable

II.3 Quelques exemples utilisant le LM3914

II.3.1 Indicateur de niveau de liquides

Le circuit électrique de la figure II.12, par le biais d'une échelle de 10 LEDs, permet d'évaluer rapidement et d'un seul coup d'œil, le niveau de remplissage d'un réservoir.

Le schéma est une variante simplifiée, que l'on ne peut mettre en œuvre que si le capteur (8 ohms - 100 ohms) est totalement indépendant d'une électronique annexe, c'est à dire si ses deux bornes sont réellement flottantes et raccordées à rien d'autre [7].

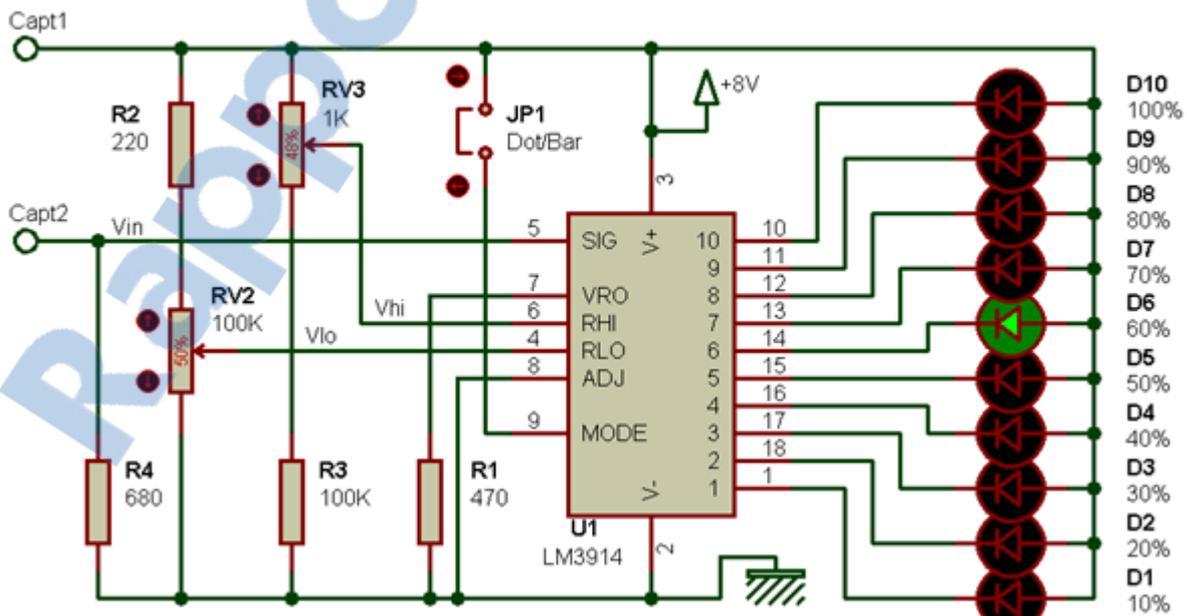


Figure II.12 : Schéma électrique d'un indicateur d'un niveau de liquide

Dans ces conditions, le capteur peut-être positionné en partie "haute" du diviseur de tension qu'il constitue avec R_4 , et la tension à la sortie de ce diviseur varie cette fois dans le bon sens, puisqu'elle est d'autant plus élevée que le capteur se rapproche de la position réservoir plein. la variation de la tension d'entrée impose des seuils haut et bas de valeurs différentes :

- plage tension d'entrée (V_{in}) : 6,9 V à 7,9 V
- seuil bas (V_{Lo}) : 6,8 V
- seuil haut (V_{Hi}) : 7,9 V

II.3.2 Diagnostic d'une batterie

Quand une voiture ou plus souvent une caravane reste longtemps au garage, il est judicieux de contrôler l'état de la batterie avant de se mettre en route. Vous possédez certainement un multimètre qui peut vous rendre ce genre de service mais ce montage fera peut-être plaisir à l'un de vos proches. Sachant que la charge d'une batterie sans entretien est virtuellement égale à la tension présente à ses bornes, il suffit de visualiser celle-ci pour connaître son état. Le circuit utilisé est spécialisé dans ce travail. Il mesure la tension à tester et la renvoie sur plusieurs de ses sorties de façon à contrôler un bargraph à LEDs. Un seul réglage est nécessaire. Il faudra régler l'ajustable de la broche 5 en fonction d'une tension étalon de 12 volts fixe qui devra provoquer l'illumination de toutes les diodes [6].

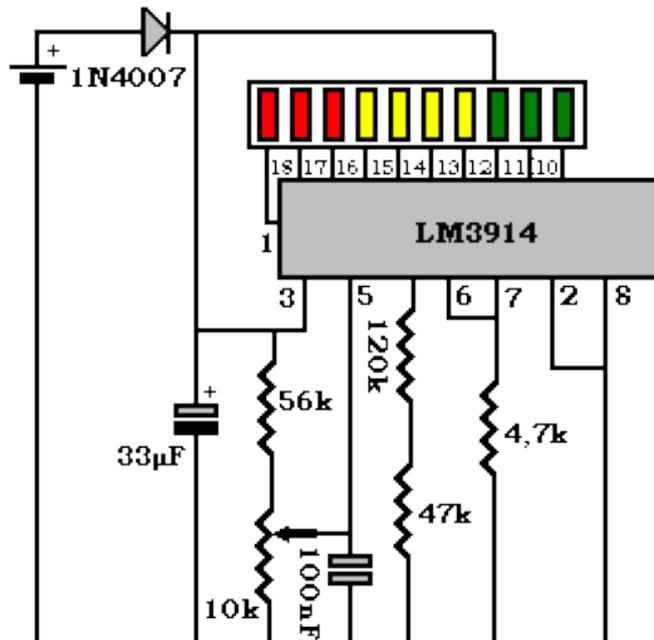


Figure II.13 : Schéma électrique d'un testeur d'une batterie

II.3.3 Un voltmètre

Présentation :

Ce voltmètre fait usage de deux LM3914 assemblés de telle sorte qu'ils permettent l'affichage d'un point lumineux parmi 20 LED, en fonction de la valeur d'une tension d'entrée déterminée

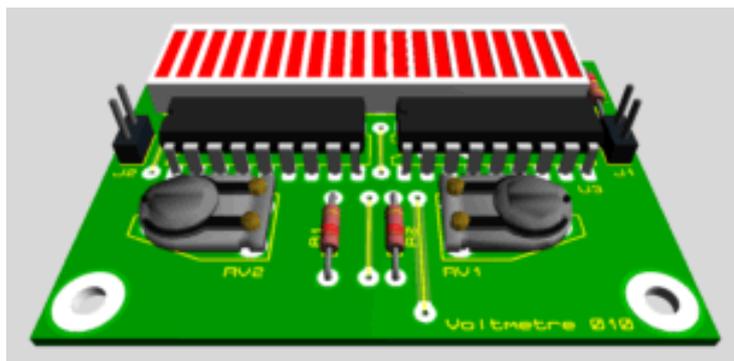


Figure II.14 : Schéma électrique d'un voltmètre a deux lm3914

La plage d'affichage est ajustable, aussi bien côté seuil bas que côté seuil haut, et le circuit peut servir de multiples usages, tels que thermomètre (il faut alors l'associer à une sonde de température), voltmètre (hum) ou vumètre / wattmètre (avec ajout d'un circuit de redressement). Il peut aussi servir à afficher le taux de remplissage d'une cuvette de WC (avec axe de potentiomètre asservi au flotteur), le taux d'alcoolémie dans le corps d'un animal quelconque ou le taux d'ensoleillement dans une cave fermée [6].

II.4 La LED :

Le mot LED est l'acronyme de Light Emitting Diode (Diode Electroluminescente en français). Le symbole de la LED ressemble à celui de la diode mais on y a ajouté deux flèches sortantes pour représenter le rayonnement lumineux émis [12]

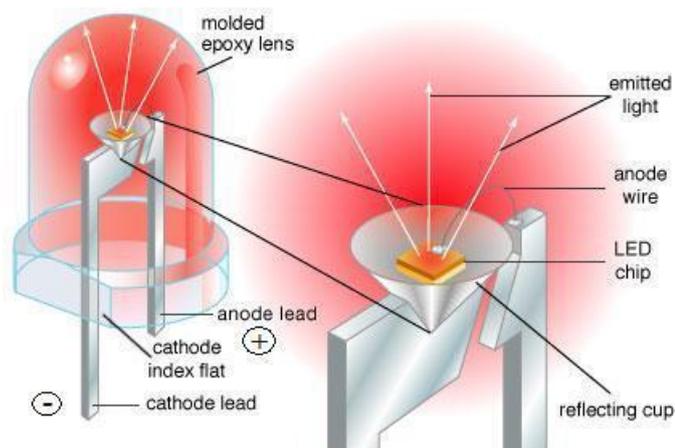
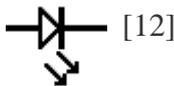


Figure II.15 : Gros-plan d'une diode électroluminescente et vu de l'anode et la cathode

II.4.1 Principe physique de la LED (l'Electroluminescence)

La physique des semi-conducteurs nous enseigne que les électrons dans les solides cristallins se situent à des niveaux d'énergie spécifiques. Ces niveaux très proches les uns des autres, sont regroupés en "bandes d'énergies". [19]

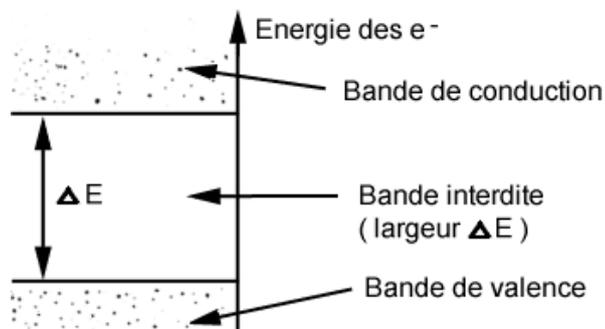


Figure II.16 : Les bandes d'énergies qui existants dans un semi conducteur

Un électron de la bande de valence peut passer dans la bande de conduction à condition d'acquérir une énergie supplémentaire au moins égale à ΔE .

C'est l'**effet photoélectrique**.

Un électron de la bande de conduction peut passer dans une bande de valence. Dans ce cas il libère une énergie au moins égale à ΔE .

Cette énergie peut être :

- Dissipée sous forme de chaleur (phonons),
- Emise sous forme de lumière (photons).

C'est l'**effet électroluminescence** (visible ou invisible).

II.4.2 Caractérisations électriques de la LED

Une LED se comporte électriquement comme une diode. Pour émettre elle doit être polarisée en direct.

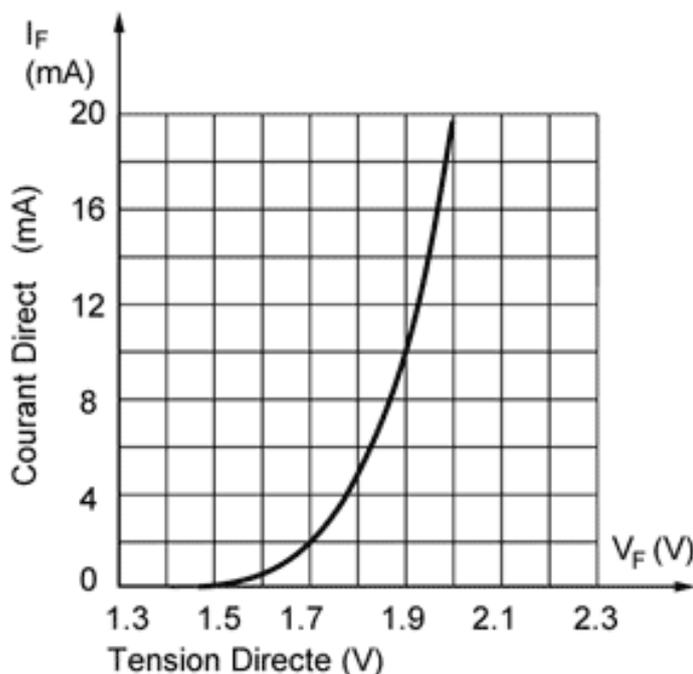


Figure II.17 : Courbe de caractérisation courant-tension d'une LED

La caractéristique $I_F(V_F)$ montre que la tension de conduction de la diode LED (forward voltage) est environ 1,5 à 2 V.

En pratique, Le courant I_F vaut environ 10 à 20 mA.

Le courant traversant la LED détermine l'intensité lumineuse émise [12].

Remarque : certaines diodes ont des tensions de construction de l'ordre de 3 volts et plus.

L'économie actuelle est importante, soit pour contenir la dissipation ou d'étendre la vie de batterie d'une LEDs à courant faible, qui sont très lumineux à 2 mA, représentent une solution idéale.

En utilisant des LEDs de faible courant en mode point avec une alimentation de 3V, et par l'augmentation de la résistance ajustable de courant des LEDs jusqu'à 10 k Ω (R_1 voir figure II.9), une très économique tension d'affichage peut être produite.

II.4.3 Affichage à bargraphe

Un afficheur bargraph à LED est constitué de 10 LEDs regroupées dans un même boîtier (voir figure 16), chaque LED étant munie de sa propre paire de broches (vous pouvez donc obtenir le même résultat avec 10 LEDs individuelles si vous ne disposez pas d'un bargraph déjà fait.

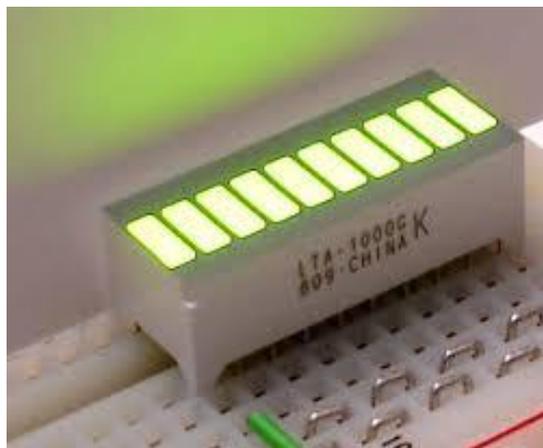


Figure II.18 : Image d'un bargraphe

Un bargraphe peut être bien utile pour afficher une valeur analogique dont la valeur numérique exacte n'a pas une grande importance. L'exemple classique est le VU-mètre qui affiche le niveau d'un signal audio: la barre lumineuse qui monte et qui descend est plus pertinente qu'une valeur numérique qui changerait tout le temps

On pourrait aussi imaginer un magnétomètre utilisant comme capteur une sonde à effet Hall. La sonde produit une tension proportionnelle à l'intensité du champ magnétique, mais ce résultat n'est pas calibré en Tesla ou en Gauss: un affichage à bargraph est plus pratique car il nous indiquera si le champ magnétique est faible ou intense plutôt qu'à une valeur numérique n'ayant pas de signification directe.

Chapitre III

Simulation et Réalisation d'un thermomètre à bargraph

III.1 Présentation du Thermomètre à LEDs

Notre projet est basé sur le capteur de température *LM35* et le circuit intégré *LM3914*. La sortie de capteur est $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, nous devons donc convertir cette tension à un signal visuel. Le *LM3914* (Dot / Bar Display Driver) est un circuit intégré qui détecte les niveaux de tension analogiques et entraîne 10 LEDs, fournissant un affichage analogique linéaire dépendant de la tension d'entrée. Dans notre projet on a enchaîné trois *LM3914* pour former un écran de 30 LEDs. Avec la bonne adaptation de la gamme de chaque *LM3914* on a réussi à faire le premier écran pour une plage d'affichage du 10°C à 19°C , le deuxième écran pour afficher les températures comprises entre 20°C et 29°C et ainsi de suite.

Le thermomètre digital facilite la lecture de la température car son affichage est plus lisible que celui du thermomètre classique. L'utilisateur peut ainsi lire la température directement sous forme lumière à l'aide d'un écran ou par un système d'échelle lumineuse. Dans ce projet nous réalisons un thermomètre digital qui affiche la température grâce à un bargraph à LEDs.

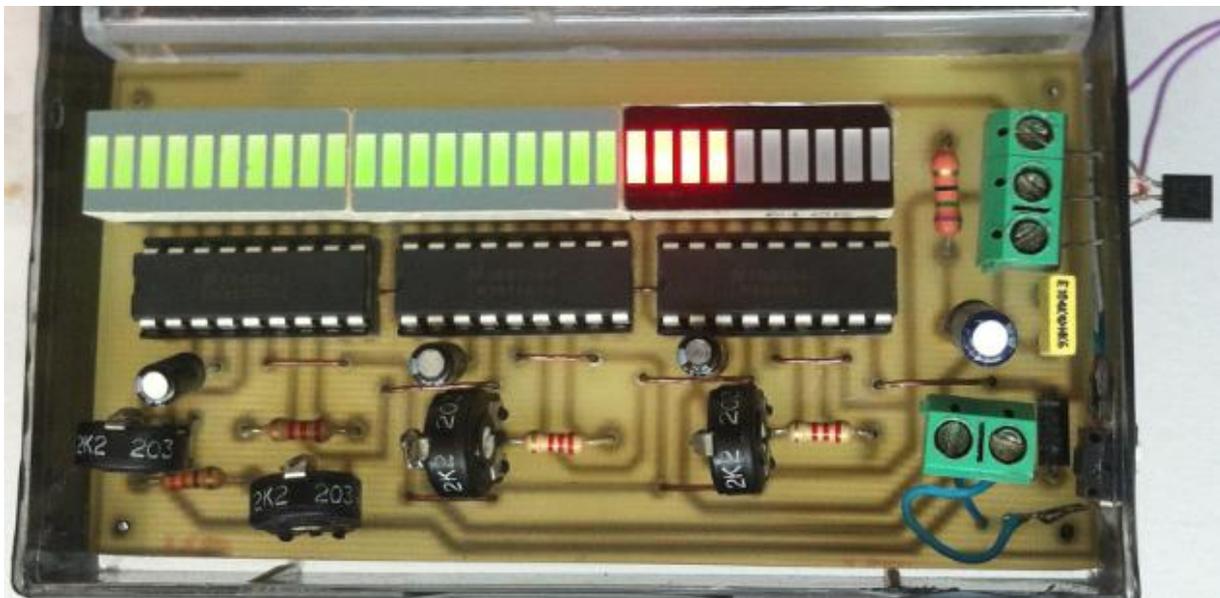


Figure III.1 : Photo de thermomètre dans son boîtier

III.2 Etude théorique du thermomètre visuel

Le fonctionnement général du thermomètre digital est résumé par le schéma fonctionnel suivant [14]:

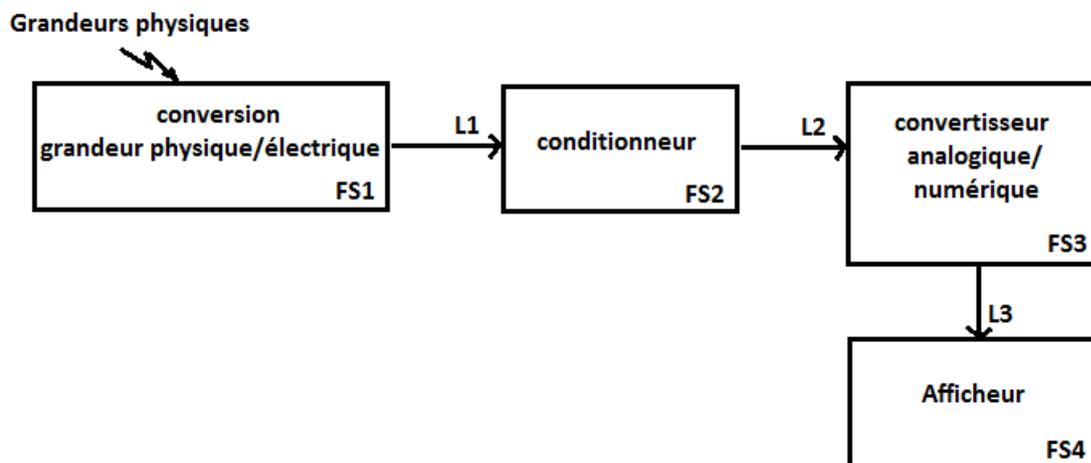


Figure III.2 : Schéma bloc du thermomètre visuel

Chaque composant a un rôle précis afin de transformer la grandeur physique de départ, qui est la température, en une grandeur affichable sur une échelle composée de LED. Tout d'abord le capteur de température LM35 a pour fonction de convertir cette grandeur physique en une grandeur électrique (FS1). Les résistances et les potentiomètres, assurent le conditionnement de cette grandeur. Le circuit intégré LM3914, quant à lui, converti le signal transmis par le conditionneur en une information numérique (FS3) afin de pouvoir l'afficher par la suite sur une échelle composée de LED (FS4).

III.2.1 Le capteur de température LM35

Le **LM35** est le premier composant à intervenir dans le processus de transformation de la grandeur physique. C'est-à-dire il capte l'énergie thermique et la transforme en une information électrique. Pour cela elle vérifie l'équation suivante :

$$V_{out} = T(^{\circ}C) \times (10 \text{ mV}/^{\circ}C)$$

V_{out} est le potentiel en millivolt à la sortie du capteur, et la température en degré à l'entrée de ce capteur. L'équation étant de type $a \times x + b$ la loi de variation de l'information est linéaire et on peut ainsi la représentée par une droite passant par l'origine [14].

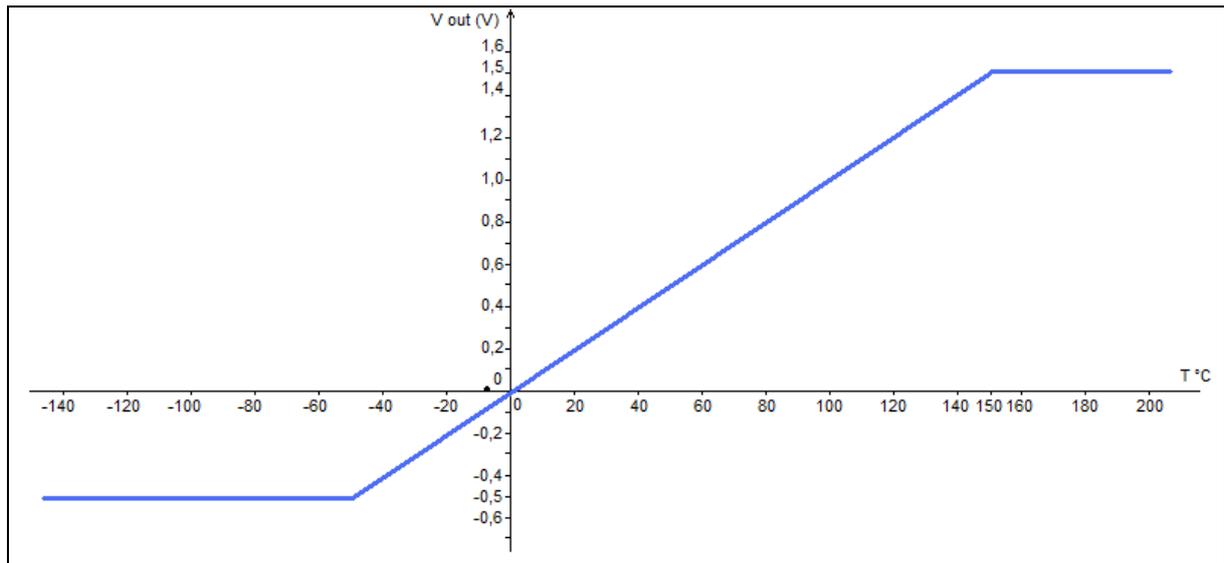


Figure III.3 : L'allure de la tension de sortie du *lm35* en fonction de la température

Cependant, la loi de variation n'est pas linéaire tout le temps, puisque le capteur a des limites de température. En effet au-dessus de -50 °C et au-delà de 150 °C la tension de sortie V_{out} sera constante.

III.2.2 Le circuit intégré LM3914

Le *lm3914* détermine le nombre des LEDs qui seront alimentées en fonction de la tension à l'entrée SIG. Il possède une échelle linéaire. Le signal d'entrée SIG est stocké dans le buffer, le temps du traitement et est amené dans 10 amplificateurs opérationnels en montage comparateur.

La tension de référence correspond à la tension d'entrée, ($V_{réf_{out}}$), elle est modifiable par la résistance branché au pin 7. Cette tension est appliquée sur les dix résistances disposées en série. Comme ces dix résistances sont égales, la tension à leurs bornes correspond à

$$V_r = V_{réf_{out}}/10$$

Chaque amplificateur opérationnel présente à sa borne positive en fonction de sa position dans le circuit une tension telle que :

$$V_{ampli}^+ = (10 - n) V_{réf_{out}} / 10$$

Avec n : position de l'amplificateur et le premier amplificateur correspond à la position 0.

Donc plus n est grand plus V^+ est petit[13].

Les amplificateurs présentent à leur borne négative la même tension, celle stockée dans le buffer.

Les amplificateurs soustraient la tension de leur borne négative à celle de leur borne positive. Si le résultat est négatif, la sortie de l'amplificateur est reliée à la masse donc le courant circule et la diode soit passante : elle s'éclaire. Dans le cas contraire, si le résultat est positif, elle ne s'allume pas.

III.2.3 Le conditionneur

La tension d'entrée du **lm3914** n'est pas la tension de sortie du LM35, en effet elle est filtrée par l'association d'un filtre passe-bas. Les condensateurs sont considérés comme des interrupteurs ouverts puisqu'ils sont alimentés par une source de tension continu, leurs rôle est d'annuler les parasites pour avoir un fonctionnement propre.

Le schéma peut donc se simplifier comme ci-dessous :

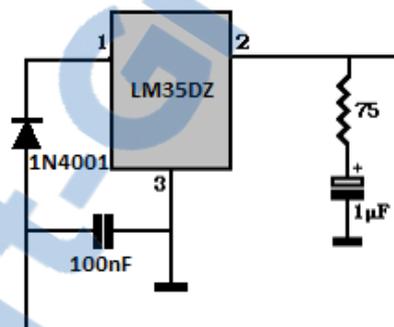


Figure III.4 : Schéma électrique du conditionneur

III.2.4 Explication Modérée de fonctionnement du thermomètre visuel

La figure III.5 montre les différents blocs du thermomètre visuel à bargraph.

La tension recommandée pour que le capteur fonctionne correctement est comprise entre 4V et 9V. Ainsi, on a utilisé un générateur de tension continue avec une plage de tension de 3.6V à 15V.

Le bargraph à LEDs affiche un échèle de température de 10°C à 39°C, cela est dû au capteur qui nous délivre une tension de sortie de 10mV/°C. Donc, la tension que les trois LM3914 ont reçue est comprise entre 90 mV et 390 mV, et chaque LM3914 reçoit une gamme de tension de 100 mV.

Concernant le premier lm3914, on a attaqué la broche 6 par une tension de référence haute $V_{Ref\ Hi}$, qui vaut 190 mV après l'ajustement du potentiomètre de 2.2 k Ω , ensuite, on a alimenté la broche 4 par une tension de référence basse $V_{Ref\ Lo}$ d'une valeur de 90 mV et cela également à l'aide d'un potentiomètre de 2.2 k Ω , enfin les sorties de ce premier dispositif vont alimentées un bargraph à 10 LEDs qui affichant une gamme de température de 10°C à 19°C

Exemple :

Si la première LED en bas de bargraph, du premier lm3914 s'allume, cela indique que le capteur LM35 a capté une température de 10°C, et le thermomètre est on mode point.

Si la quatrième LED en contant du bas de bargraph, du premier lm3914 s'allume, cela indique que le capteur LM35 a capté une température de 14°C, et le thermomètre est on mode bargraph.

On reliant la broche 8 à la masse on obtient une tension $V_{réf_{out}}=12.5V$,

La broche7 du LM3914 fournis le courant nécessaire qui alimente et contrôle la luminosité des LEDs.

La résistance de charge branchée entre la broche 7 et la masse définis le courant traversant les LEDs selon la formule :

$$I_{LED} = 10 \left(\frac{1.25}{R} + \frac{1.25}{10K\Omega} \right)$$

$$10 \left(\frac{1.25}{2200} + \frac{1.25}{10000} \right) = 7 \text{ mA}$$

Ce qui signifie que chaque LED n'a pas besoin d'une résistance en série pour limiter le courant.

Concernant le deuxième LM3914 ; le principe reste le même, mais la broche 4 ($Réf_{low}$) de ce dernier est reliée à la broche 6 ($Réf_{high}$) du 1^{er} LM3914, c'est-à-dire que la broche 4($Réf_{low}$) du 2^{eme} LM3914 est alimentée par une tension de 190 mV. Cependant, pour avoir une gamme de 100 mV dans le 2^{eme} LM3914, nous avons attaqué la broche 6 ($Réf_{high}$) de ce dernier par une tension de 290 mV, et ainsi de suite pour le reste (voir figure III.4).

III.3 Simulation sous ISIS :

Le circuit général peut se décomposer en quatre sous circuits, ayant chacun une fonctionnalité qui leur est propre.

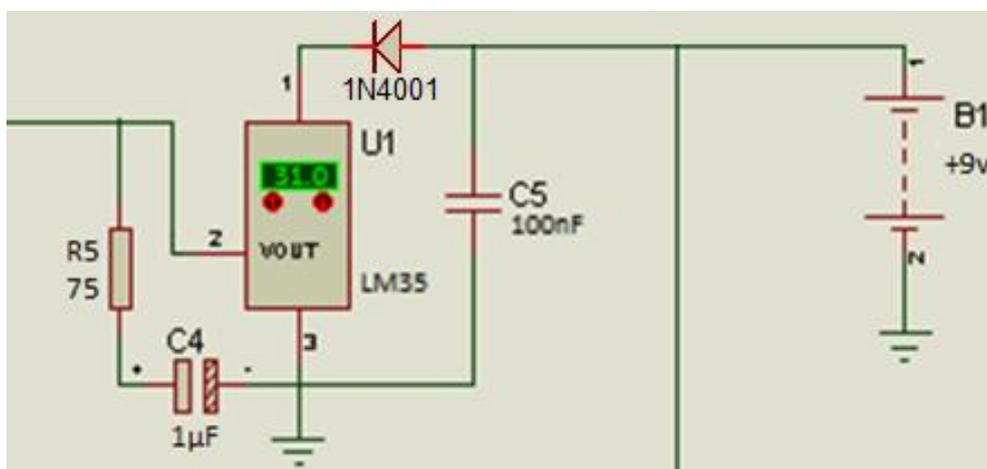


Figure III.6 : Simulation de la partie du capteur par le logiciel ISIS

Le premier sous circuit se compose du LM35, un capteur de température qui s'occupe de convertir la grandeur physique qui est dans notre cas la température en une grandeur électrique qui est la tension, il est également constitué d'une résistance de valeur de 75 Ω et de deux capacités l'une est en céramique et l'autre électrolytique et enfin une diode 1N4001 pour protéger le CI. Les autres blocs du circuit global comportent des circuits intégrés à échelle linéaire, les LM3914s, ces composants de 2 entrées d'alimentation, dix sorties chacune reliées à une diode différente et 6 bornes de contrôle.

On observe que les diodes s'allument en fonction de la température. Plus celle-ci est élevée et plus il y a autant de diodes allumées. Avec les valeurs de résistance citées auparavant, à chaque 1°C une nouvelle diode s'allume.

Les résistances R_2 , R_3 et R_4 servent à modifier l'intensité lumineuse des diodes. En effet, tout un changement dans la valeur de ces résistances modifie le courant arrivant aux entrées V_{LO} et V_{HI} du circuit intégré lm3914, ce qui influe sur les courants de sortie de celui-ci. Ainsi pour $R_2 = R_3 = R_4 = 2,2 \text{ K}\Omega$, l'intensité dans les diodes allumées est de 70 mA par bloque, alors qu'aucun courant ne circule dans les diodes éteintes.

Le schéma ci-dessous illustre le capteur de température LM35 à écran, simulé à une température de 31°C. On remarque que 22 LEDs sont allumées.

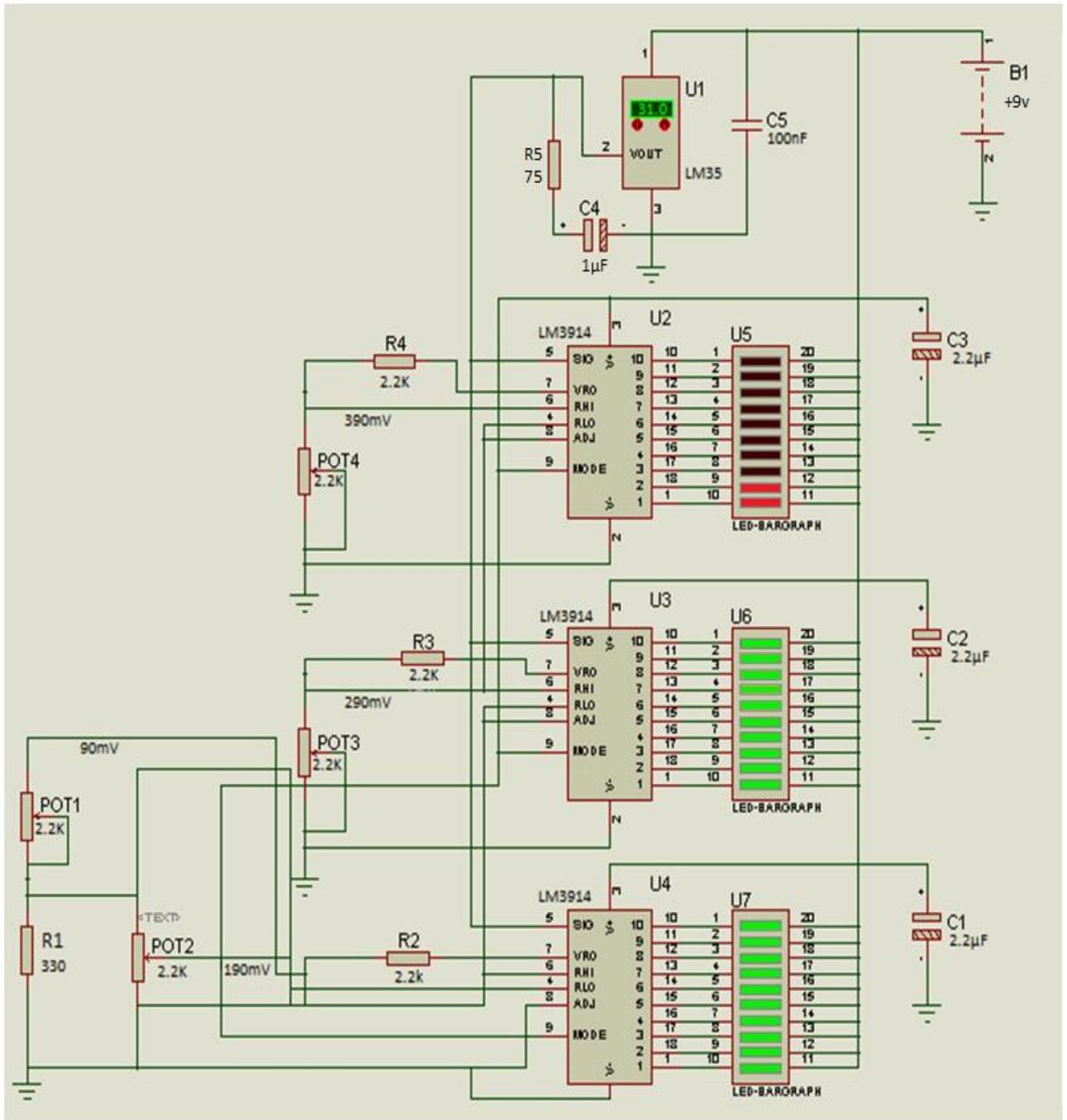


Figure III.7 : Simulation de thermomètre à 31°C on utilisant le logiciel ISIS

III.4 Réalisation du thermomètre

III.4.1 Réalisation du thermomètre sous plaque d'essai

La figure suivante représente le thermomètre sous plaque d'essai en mode point (dot)

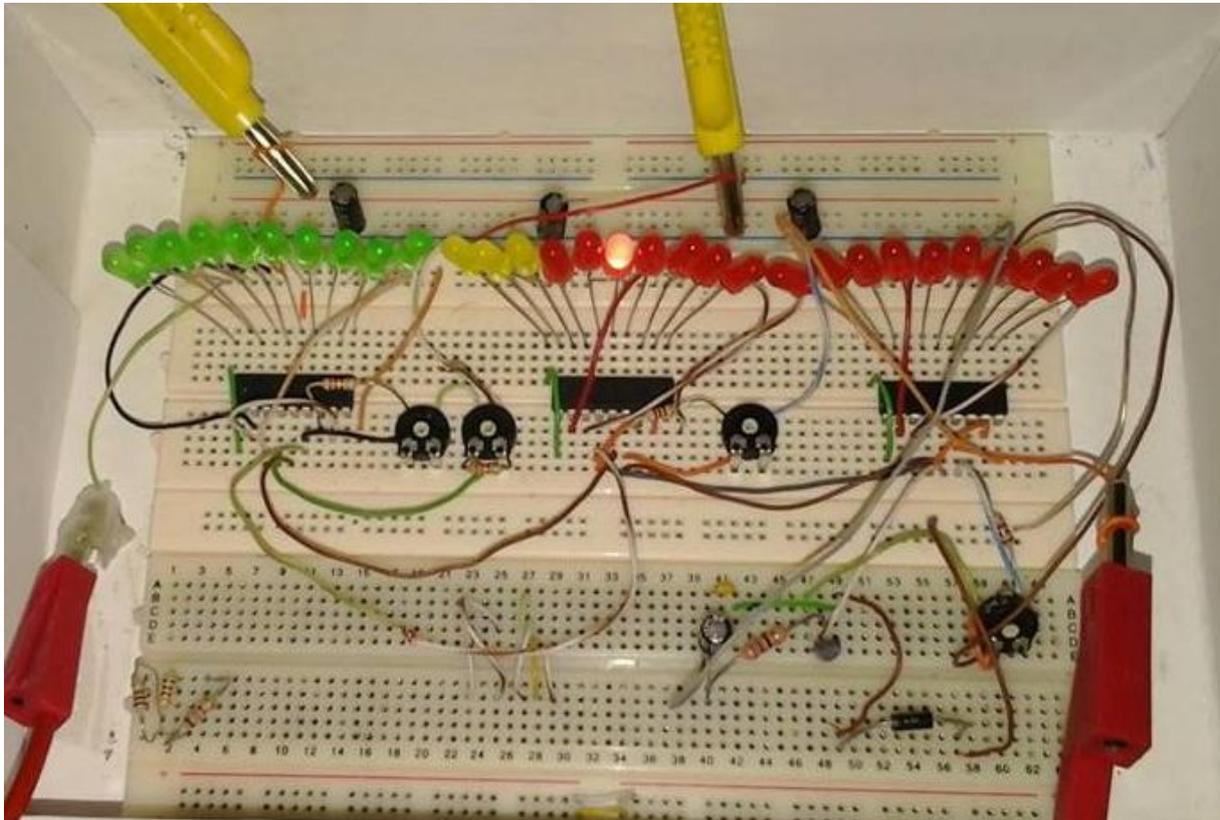


Figure III.8 : Thermomètre digital en mode point (dot) sous plaque d'essai

Les composants utilisés :

1. Une plaque d'essai
2. Alimentation (une batterie de 9 V ou bien un générateur de tension continue)
3. Quatre Circuits intégrés : 3 LM3914 et un capteur LM35DZ
4. Résistances: 3x 2,2 k Ω , 70 Ω , 330 Ω et 4 potentiomètres de 2.2 k Ω
5. Condensateurs : 4 électrolytiques 3x 2,2 μ F, 1 μ F, et une céramique de 100nf
6. Diode **1N4001**

Des fils de liaisons et un tournevis pour calibré les potentiomètres.

III.4.2 Réalisation du thermomètre sous circuit imprimé

Un circuit imprimé mono-face de dimensions réduites (100mm x 55mm) qui supporte tous les composants de ce thermomètre visuel.

La figure III.9 illustre le dessin du Circuit imprimé avant l'insertion des composants. Suivant la procédure habituelle, on a dessiné et gravé le circuit imprimé. Ensuite on a percé les pastilles cuivrées en utilisant une mèche de 0.8 mm de diamètre. Après, on a utilisé une mèche de 1.0 mm de diamètre pour percé le passage des potentiomètres.

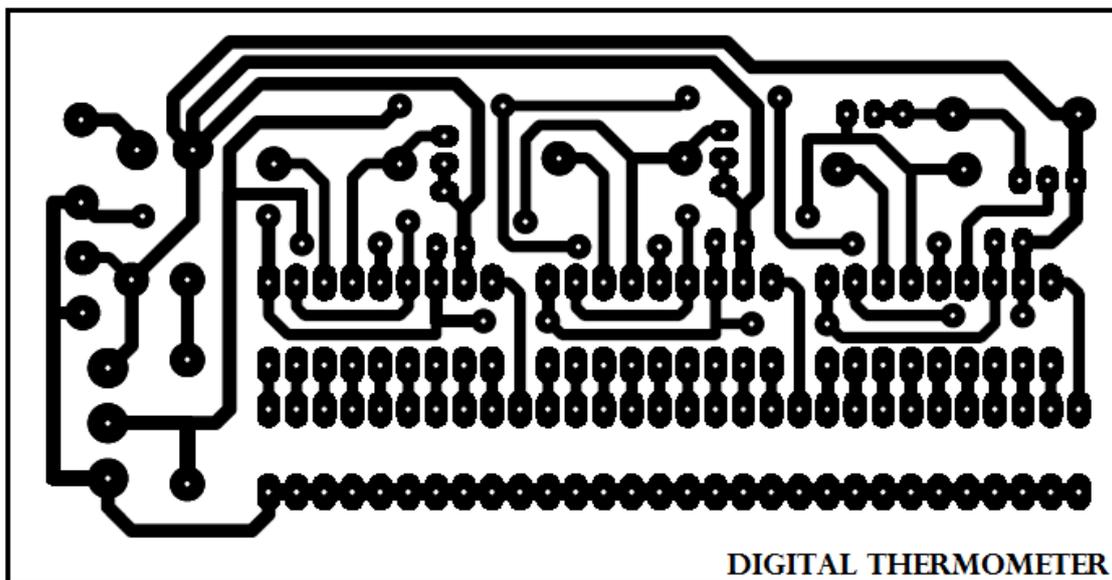


Figure III.9 : Schéma du Circuit imprimé de thermomètre visuel

La figure III.10 illustre le dessin du circuit imprimé après l'insertion des composants.

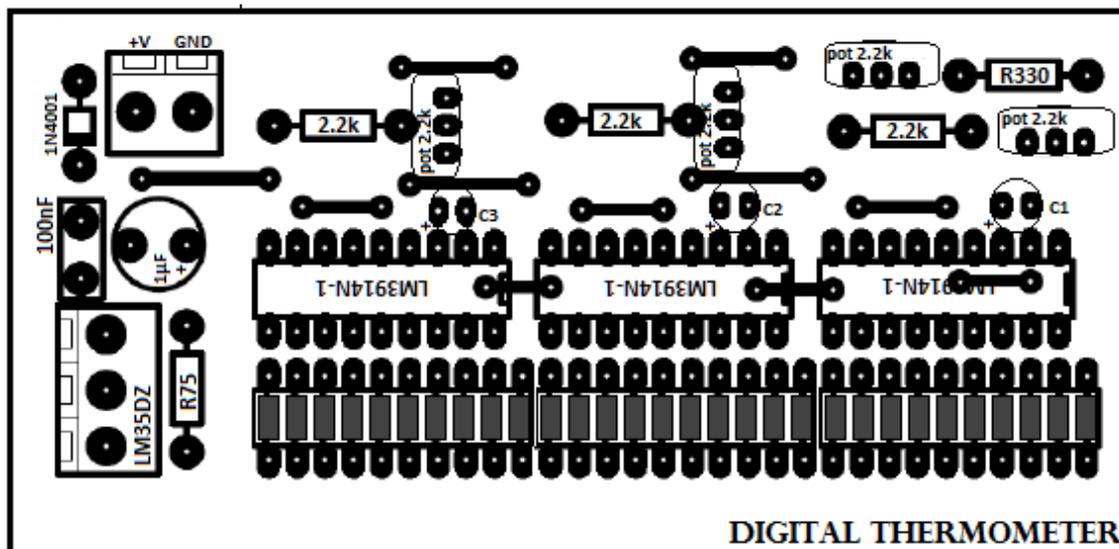


Figure III.10 : Organisation des composants sur le circuit imprimé

En respectant le plan d'insertion pour soudé les composants. On a commencé par la soudure des 11 ponts de liaison (straps) et poursuivre le travail dans cet ordre :

Les résistances, la diode, les supports de circuits intégrés, le connecteur de capteur constitué de trois plots et le connecteur d'alimentation à deux plots, les condensateurs et enfin, les potentiomètres modifiés pour être placés verticalement.

Dès le montage est terminé, on a effectué le contrôle habituel avant la première utilisation. En vérifiant l'état des soudures, des pistes cuivrées, ainsi que la valeur et le sens des composants.

Le thermomètre nécessite le calibrage des composants pour définir la plage d'affichage de 10°C à 40°C.

III.5 Réalisation du thermomètre visuel avec des LEDs ordinaires

La figure suivante représente la photo du thermomètre visuel, réalisé à l'aide des LEDs de 2mm de diamètre et testé en mode barre.

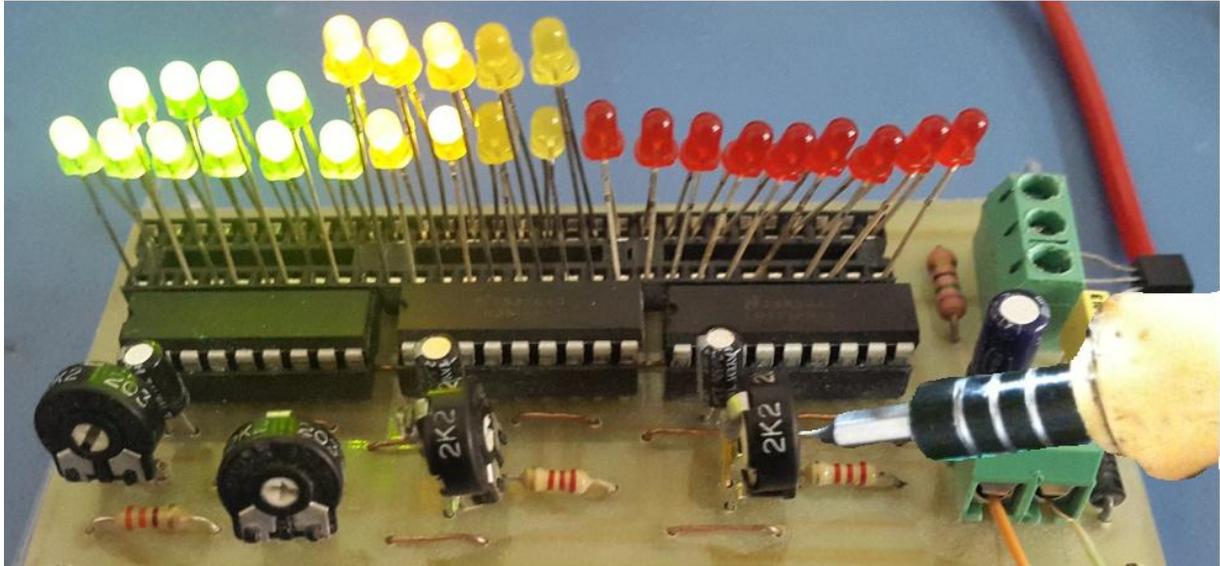


Figure III.11 : Thermomètre à LEDs ordinaire en mode bargraph

On a calibré notre circuit à l'aide d'un multimètre digital **ASTONIA M890C⁺**

La tension de sortie du potentiomètre 1 : $V_s = 90 \text{ mV}$;

La tension de sortie du potentiomètre 2 : $V_s = 190 \text{ mV}$;

La tension de sortie du potentiomètre 3 : $V_s = 290 \text{ mV}$;

La tension de sortie du potentiomètre 4 : $V_s = 390 \text{ mV}$;

L'étalonnage de 10 °C et 39 °C est fait comme suit :

Le réglage du 10 °C s'effectue en maintenant la sonde dans de l'eau glacée et en ajustant la plage d'affichage sur la valeur 0.09 V à l'aide du potentiomètre P1.

Pour cela, on a rempli un moitié verre par de l'eau glacée ;

Après quelques minutes lorsqu'on a obtenu 10°C à l'aide d'un thermomètre à dilatation, on a mis la sonde dans l'eau.

Le réglage du 39 °C : s'effectue en maintenant la sonde dans de l'eau chaude et en ajustant la plage d'affichage sur la valeur 0.390 V à l'aide du potentiomètre P4.

Pour cela, on a remplis un moitié verre par de l'eau bouillante ; ensuite, on a ajouté de l'eau tiède jusqu'à ce qu'on ait obtenu 39°C à l'aide d'un thermomètre médical.

On a fait notre mesure à l'air libre $T = 27^{\circ}\text{C}$, le tableau suivant représente les différents résultats de mesure dans le thermomètre visuel réalisé

pins	1 ^{er} LM3914	2 ^{ème} LM3914	3 ^{ème} LM3914
2. V^-	0.00 V	0.00 V	0.00 V
3. V^+	2.16 V	2.16 V	2.16 V
4. R_{low}	0.090 V	0.190 V	0.290 V
5. SIG	0.273 V	0.273 V	0.273 V
6. R_{hi}	0.190 V	0.290 V	0.390 V
7. REF_{out}	1.24 V	1.25 V	1.24 V
8. REF_{Adj}	0.003 V	0.190 V	0.290 V
9. $MODE$	2.16 V	2.16 V	2.16 V

Tableau III.1 : les tensions aux bornes des CI's

La figure III.11 représente notre thermomètre à bargraph dans un boîtier en plastique avec un interrupteur à l'extérieur et une échelle visuelle du 10°C à 40°C .



Figure III.12 : Thermomètre visuel à bargraph

III.6 Nomenclature

Résistance $\pm 10\%$

R₁ : 330 Ω (orange, orange, marron)

R₂, R₃ et R₄ : 2.2 K Ω (rouge, rouge, rouge)

R₅ : 75 Ω (violet, vert, noir)

Potentiomètres

Pot1, pot2, pot3, pot4 : 2.2 K Ω ;

Condensateurs

C₁, C₂ et C₃ : 2,2 μF électrolytiques

C₄ : 1 μF électrolytiques

C₅ : 100 nF céramique

Semi-conducteurs

CI₁ : LM35 le capteur

CI₂, CI₃ et CI₄ : LM3914 pilotes de bargraph

D₁ : 1N4001

LEDs : sous forme de bargraph

Divers

3 supports de circuits intégrés à 20 broches

3 supports de circuits intégrés à 18 broches

1 connecteur à 2 vis au pas de 5 mm

1 connecteur à 3 vis

Conclusion générale

Conclusion générale

Parmi les éléments de réponse apportés par ce sujet de mémoire, les résultats les plus importants à retenir restent la validation et la faisabilité du principe de la transduction thermique.

A-partir de ces recherches, deux axes devront être améliorés. Le premier concerne la conception. Plusieurs paramètres conditionnent le fonctionnement du capteur, à partir d'une combinaison entre ces paramètres et le circuit, on peut extraire un schéma électrique équivalent, qui permettra d'une part une miniaturisation de l'appareil, d'autre part, une amélioration de l'interaction entre la chaleur et l'organe de mesure, et ainsi, une amélioration de la sensibilité.

Le deuxième axe vise les simulations électriques et thermiques de la structure. L'utilisation de logiciels **ISIS** a permis une meilleure prise en compte du profil de la réponse thermique.

Dans ce projet nous avons donc réussi à mesurer la température et visualisé le changement de cette dernière à l'aide d'un driver de barre graphes complet associé à des circuits intégrés, tel que le LM35DZ puis nous avons inséré un module de détection fait à partir d'un capteur de température et le LM3914.

Enfin, ce projet nous a permis de mettre en œuvre nos connaissances en électronique, espérons qu'il soit amélioré par d'autre gent.

Liste des figures

I. Chapitre 1 : Thermométrie et capteurs de température

Figure I.1 : Thermomètre à diode20

II. Chapitre 2 : Les composants utilisés dans le thermomètre à bargraph

Figure II.1 : Schéma électrique du capteur de température le LM35 dans la plage de 2°C à 150°C23

Figure II.2 : Schéma électrique du capteur de température le LM35 à pleine gamme 23

Figure II.3 : Brochage de LM35 23

Figure II.4 : Tension de sortie du lm35 en fonction de la température24

Figure II.5 : Courant en fonction de la température 25

Figure II.6 : Tension d'alimentation minimum par rapport à la Température25

Figure II.7 : Schéma de principe pour le LM3914 pilote de leds à bargraph28

Figure II.8 : Schéma électrique illustre la tension V_{out} 30

Figure II.9 : Schéma de base du LM391431

Figure II.10 : Mode alarme visuelle 32

Figure II.11 : Bargraph à plage variable 33

Figure II.12 : Schéma électrique d'un indicateur d'un niveau de liquide 33

Figure II.13 : Schéma électrique d'un testeur d'une batterie 34

Figure II.14 : Schéma électrique d'un voltmètre a deux lm3914 35

Figure II.15 : Gros-plan d'une diode électroluminescente et vu de L'anode et la cathode 36

Figure II.16 : Les bandes d'énergies qui existants dans un semi conducteur 36

Figure II.17 : Courbe de caractérisation courant-tension d'une LED 37

Figure II.18 : Image d'un bargraph 38

III. Chapitre 3 : Simulation et Réalisation d'un thermomètre à bargraph

Figure III.1 : Photo de thermomètre dans son boitier..... 40

Figure III.2 : Schéma bloc du thermomètre visuel 41

Figure III.3 : L'allure de la tension de sortie du *lm35* en fonction de la température42

Figure III.4 : Schéma électrique du conditionneur 43

Figure III.5 : Schéma électrique du thermomètre à bargraph	44
Figure III.6 : Simulation de la partie du capteur par le logiciel ISIS	46
Figure III.7 : Simulation de thermomètre à 31°C on utilisant le logiciel ISIS.....	47
Figure III.8 : Thermomètre digital en mode point (dot) sous plaque d'essai	48
Figure III.9 : Schéma du Circuit imprimé de thermomètre visuel	49
Figure III.10 : Organisation des composants sur le circuit imprimé	50
Figure III.11 : Thermomètre à LEDs ordinaire en mode bargraph	51
Figure III.12 : Thermomètre visuel à bargraph	52

Liste des tableaux

Chapitre 1 : Thermométrie et capteurs de température

Tableau 1.1 : les états de l'eau aux différentes échelles thermométriques 16

Tableau 1.2 : **Tr** : point triple, **C** : point de congélation sous p.a.n, **F** : point de fusion sous p.a.n..... 16

Tableau 1.3 : Les caractéristiques et l'étendue de mesure de quelques métaux17

Tableau 1.4 : Les lettres de références des thermocouples les plus utilisés 19

Tableau 1.5 : L'intervalle de température et la sensibilité moyenne de quelques capteurs.... 19

Chapitre 2 : Les composants utilisés dans le thermomètre à bargraphs

Tableau 2.1 : Informations de dispositif22

Tableau 2.2 : plage de mesure de la série LM35.....24

Tableau 2.3 : marge d'erreur de LM3526

III. Chapitre 3 : Simulation et Réalisation d'un thermomètre à bargraph

Tableau III.1 : les tensions aux bornes des CI's 52

Bibliothèque

- [1] Mohamad Al Bahri, '*Influence de la température sur le comportement statique et dynamique des capteurs de pression capacitifs au silicium*', Thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse, Mai 2005
- [2] Merrill I. Skolnik, '*Radar Handbook*, second edition', 1990
- [3] www.wontu.fr/DOCS/kit_de_survie_mesure_de_temperature.pdf
- [4] www.wikimedia.com/thermometer
- [5] www.pyro-controle.com/display.asp?9767
- [6] www.schema-montage-electronique.blogspot.com/2011/10/divers-montages-electroniques.html
- [7] www.sonelec-musique.com/electronique_realisations_indic_niv_liquide_001.html
- [8] www.sonelec-musique.com/electronique_realisations_voltmetre_010.html
- [9] www.national.com/appinfo/tempsensors/files/temphb.pdf
- [10] www.sensorland.com/HowPage029.html
- [11] www.sentex.ca/~mec1995/gadgets/batt3914.htm
- [12] RAYMOND HAIGH: Special constructional feature 'Using the lm3914-5-6 L.E.D. bargraph drivers.pdf, Everyday Practical Electronics, February 2001
- [13] www.electronique-magazine.com
« *Connaître et utiliser les circuits LM3914 et LM3915* »

Bibliographie

- [14] www.fichier-pdf.fr/2013/05/07/thermomet/, Lionel GRONDIN – Emann ALGOO-BAPPOO – Suzanne GARCIA – Sarah GODEFROY
Thermomètre digital Projet électronique ING1
- [15] Rapport de Projet Études et Réalisation :
Bargraph d'analyse de tension pour batteries 12V plomb Optima avec relais d'arrêt des moteurs, Université François-Rabelais de Tours
- [16] www.electroniquepratique.com
Y.MERGY « *Testeur de servomoteurs pour modélisme* » Edition n° 325 Mars 2008
- [17] www.eeweb.com/project/circuit_projects/electronic_thermometer_project_by_lm35_and_lm3914
- [18] [www.TI.com](http://www.ti.com) par Texas instruments
- [19] www.en.wikipedia.org/wiki/Silicon_bandgap_temperature_sensor

LM3914



LM3914

www.ti.com

SNVS761B – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

LM3914 Dot/Bar Display Driver

Check for Samples: [LM3914](#)**FEATURES**

- Drives LEDs, LCDs or Vacuum Fluorescents
- Bar or Dot Display Mode Externally Selectable by User
- Expandable to Displays of 100 Steps
- Internal Voltage Reference from 1.2V to 12V
- Operates with Single Supply of Less than 3V
- Inputs Operate Down to Ground
- Output Current Programmable from 2 mA to 30 mA
- No Multiplex Switching or Interaction Between Outputs
- Input Withstands $\pm 35\text{V}$ without Damage or False Outputs
- LED Driver Outputs are Current Regulated, Open-collectors
- Outputs can Interface with TTL or CMOS Logic
- The Internal 10-step Divider is Floating and can be Referenced to a Wide Range of Voltages

DESCRIPTION

The LM3914 is a monolithic integrated circuit that senses analog voltage levels and drives 10 LEDs, providing a linear analog display. A single pin changes the display from a moving dot to a bar graph. Current drive to the LEDs is regulated and programmable, eliminating the need for resistors. This feature is one that allows operation of the whole system from less than 3V.

The circuit contains its own adjustable reference and accurate 10-step voltage divider. The low-bias-current input buffer accepts signals down to ground, or V^- , yet needs no protection against inputs of 35V above or below ground. The buffer drives 10 individual comparators referenced to the precision divider. Indication non-linearity can thus be held typically to $\frac{1}{2}\%$, even over a wide temperature range.

Versatility was designed into the LM3914 so that controller, visual alarm, and expanded scale functions are easily added on to the display system. The circuit can drive LEDs of many colors, or low-current incandescent lamps. Many LM3914s can be "chained" to form displays of 20 to over 100 segments. Both ends of the voltage divider are externally available so that 2 drivers can be made into a zero-center meter.

The LM3914 is very easy to apply as an analog meter circuit. A 1.2V full-scale meter requires only 1 resistor and a single 3V to 15V supply in addition to the 10 display LEDs. If the 1 resistor is a pot, it becomes the LED brightness control. The simplified block diagram illustrates this extremely simple external circuitry.

When in the dot mode, there is a small amount of overlap or "fade" (about 1 mV) between segments. This assures that at no time will all LEDs be "OFF", and thus any ambiguous display is avoided. Various novel displays are possible.

Much of the display flexibility derives from the fact that all outputs are individual, DC regulated currents. Various effects can be achieved by modulating these currents. The individual outputs can drive a transistor as well as a LED at the same time, so controller functions including "staging" control can be performed. The LM3914 can also act as a programmer, or sequencer.

The LM3914 is rated for operation from 0°C to $+70^\circ\text{C}$. The LM3914N-1 is available in an 18-lead PDIP (NFK) package.

The following typical application illustrates adjusting of the reference to a desired value, and proper grounding for accurate operation, and avoiding oscillations.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

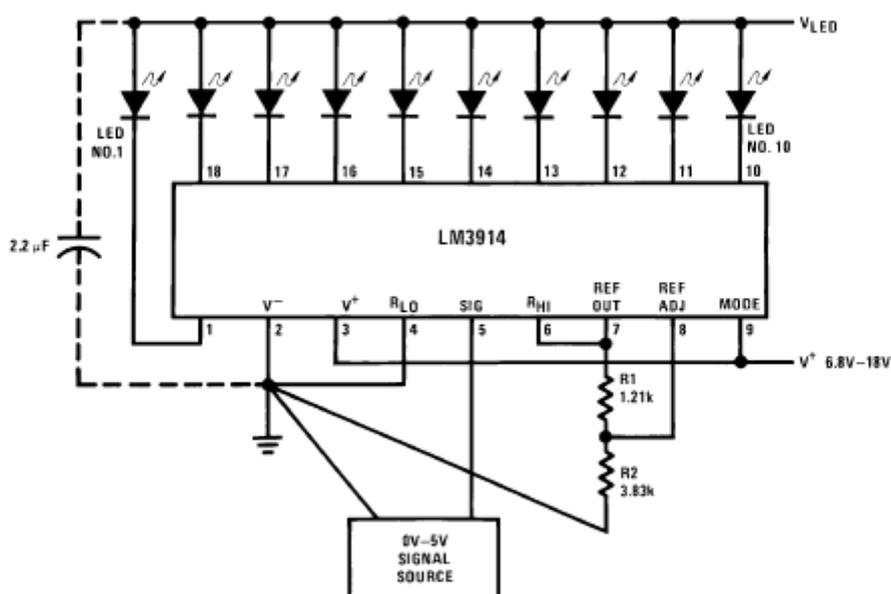
LM3914



SNVS761B – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

TYPICAL APPLICATIONS



$$\text{Ref Out } V = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$I_{\text{LED}} \approx \frac{12.5}{R1}$$

Note: Grounding method is typical of all uses. The 2.2µF tantalum or 10 µF aluminum electrolytic capacitor is needed if leads to the LED supply are 6" or longer.

Figure 1. 0V to 5V Bar Graph Meter

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾⁽²⁾

Power Dissipation ⁽³⁾ PDIP (NFK)	1385 mW
Supply Voltage	25V
Voltage on Output Drivers	25V
Input Signal Overvoltage ⁽⁴⁾	±35V
Divider Voltage	–100 mV to V ⁺
Reference Load Current	10 mA
Storage Temperature Range	–55°C to +150°C
Soldering Information	
PDIP Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
PLCC Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
See http://www.ti.com for other methods of soldering surface mount devices.	

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensure specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not specified for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) The maximum junction temperature of the LM3914 is 100°C. Devices must be derated for operation at elevated temperatures. Junction to ambient thermal resistance is 55°C/W for the PDIP (NFK package).
- (4) Pin 5 input current must be limited to ±3mA. The addition of a 39k resistor in series with pin 5 allows ±100V signals without damage.



LM3914

www.ti.com

SNVS761B – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾

Parameter	Conditions ⁽¹⁾	Min	Typ	Max	Units
COMPARATOR					
Offset Voltage, Buffer and First Comparator	$0V \leq V_{RLO} = V_{RHI} \leq 12V$, $I_{LED} = 1 \text{ mA}$		3	10	mV
Offset Voltage, Buffer and Any Other Comparator	$0V \leq V_{RLO} = V_{RHI} \leq 12V$, $I_{LED} = 1 \text{ mA}$		3	15	mV
Gain ($\Delta I_{LED}/\Delta V_{IN}$)	$I_{L(REF)} = 2 \text{ mA}$, $I_{LED} = 10 \text{ mA}$	3	8		mA/mV
Input Bias Current (at Pin 5)	$0V \leq V_{IN} \leq V^* - 1.5V$		25	100	nA
Input Signal Overvoltage	No Change in Display	-35		35	V
VOLTAGE-DIVIDER					
Divider Resistance	Total, Pin 6 to 4	8	12	17	k Ω
Accuracy	⁽³⁾		0.5	2	%

(1) Unless otherwise stated, all specifications apply with the following conditions:

$$3 V_{DC} \leq V^* \leq 20 V_{DC} \quad V_{REF}, V_{RHI}, V_{RLO} \leq (V^* - 1.5V)$$

$$3 V_{DC} \leq V_{LED} \leq V^* \quad 0V \leq V_{IN} \leq V^* - 1.5V$$

$$-0.015V \leq V_{RLO} \leq 12V_{DC} \quad T_A = +25^\circ\text{C}, I_{L(REF)} = 0.2 \text{ mA}, V_{LED} = 3.0V, \text{ pin 9 connected to pin 3 (Bar Mode)}$$

$$-0.015V \leq V_{RHI} \leq 12 V_{DC} \text{ For higher power dissipations, pulse testing is used.}$$

(2) Pin 5 input current must be limited to $\pm 3\text{mA}$. The addition of a 39k resistor in series with pin 5 allows $\pm 100V$ signals without damage.

(3) Accuracy is measured referred to $+10.000V_{DC}$ at pin 6, with $0.000 V_{DC}$ at pin 4. At lower full-scale voltages, buffer and comparator offset voltage may add significant error.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾ (continued)

Parameter	Conditions ⁽¹⁾	Min	Typ	Max	Units
VOLTAGE REFERENCE					
Output Voltage	$0.1 \text{ mA} \leq I_{L(REF)} \leq 4 \text{ mA}$, $V^* = V_{LED} = 5V$	1.2	1.28	1.34	V
Line Regulation	$3V \leq V^* \leq 18V$		0.01	0.03	%/V
Load Regulation	$0.1 \text{ mA} \leq I_{L(REF)} \leq 4 \text{ mA}$, $V^* = V_{LED} = 5V$		0.4	2	%
Output Voltage Change with Temperature	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, $I_{L(REF)} = 1 \text{ mA}$, $V^* = 5V$		1		%
Adjust Pin Current			75	120	μA
OUTPUT DRIVERS					
LED Current	$V^* = V_{LED} = 5V$, $I_{L(REF)} = 1 \text{ mA}$	7	10	13	mA
LED Current Difference (Between Largest and Smallest LED Currents)	$V_{LED} = 5V$	$I_{LED} = 2 \text{ mA}$	0.12	0.4	mA
		$I_{LED} = 20 \text{ mA}$	1.2	3	
LED Current Regulation	$2V \leq V_{LED} \leq 17V$	$I_{LED} = 2 \text{ mA}$	0.1	0.25	mA
		$I_{LED} = 20 \text{ mA}$	1	3	
Dropout Voltage	$I_{LED(ON)} = 20 \text{ mA}$, $V_{LED} = 5V$, $\Delta I_{LED} = 2 \text{ mA}$			1.5	V
Saturation Voltage	$I_{LED} = 2.0 \text{ mA}$, $I_{L(REF)} = 0.4 \text{ mA}$		0.15	0.4	V
Output Leakage, Each Collector	(Bar Mode) ⁽⁴⁾		0.1	10	μA
Output Leakage	(Dot Mode) ⁽⁴⁾	Pins 10–18	0.1	10	μA
		Pin 1	60	150	450
SUPPLY CURRENT					
Standby Supply Current (All Outputs Off)	$V^* = 5V$, $I_{L(REF)} = 0.2 \text{ mA}$		2.4	4.2	mA
	$V^* = 20V$, $I_{L(REF)} = 1.0 \text{ mA}$		6.1	9.2	mA

(4) Bar mode results when pin 9 is within 20mV of V^* . Dot mode results when pin 9 is pulled at least 200mV below V^* or left open circuit. LED No. 10 (pin 10 output current) is disabled if pin 9 is pulled 0.9V or more below V_{LED} .

DEFINITION OF TERMS

Accuracy: The difference between the observed threshold voltage and the ideal threshold voltage for each comparator. Specified and tested with 10V across the internal voltage divider so that resistor ratio matching error predominates over comparator offset voltage.

Adjust Pin Current: Current flowing out of the reference adjust pin when the reference amplifier is in the linear region.

Comparator Gain: The ratio of the change in output current (I_{LED}) to the change in input voltage (V_{IN}) required to produce it for a comparator in the linear region.

Dropout Voltage: The voltage measured at the current source outputs required to make the output current fall by 10%.

Input Bias Current: Current flowing out of the signal input when the input buffer is in the linear region.

LED Current Regulation: The change in output current over the specified range of LED supply voltage (V_{LED}) as measured at the current source outputs. As the forward voltage of an LED does not change significantly with a small change in forward current, this is equivalent to changing the voltage at the LED anodes by the same amount.

Line Regulation: The average change in reference output voltage over the specified range of supply voltage (V^*).

Load Regulation: The change in reference output voltage (V_{REF}) over the specified range of load current ($I_{L(REF)}$).

Offset Voltage: The differential input voltage which must be applied to each comparator to bias the output in the linear region. Most significant error when the voltage across the internal voltage divider is small. Specified and tested with pin 6 voltage (V_{RH}) equal to pin 4 voltage (V_{RLO}).

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

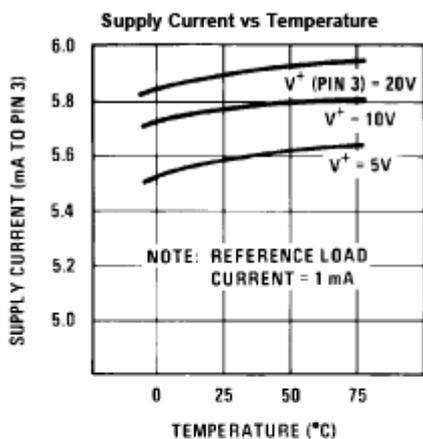


Figure 2.

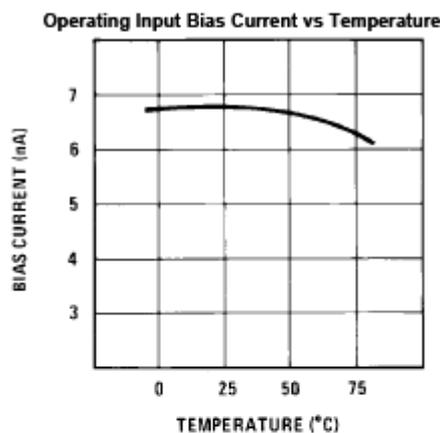


Figure 3.

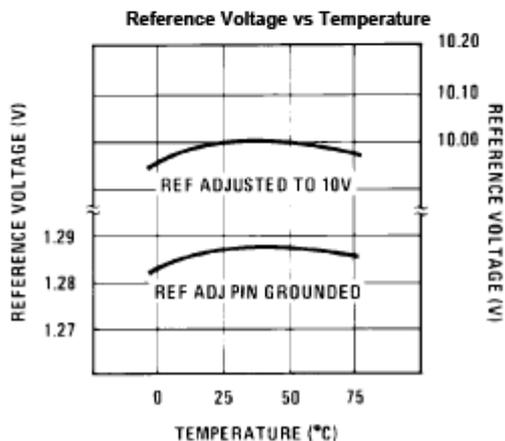


Figure 4.

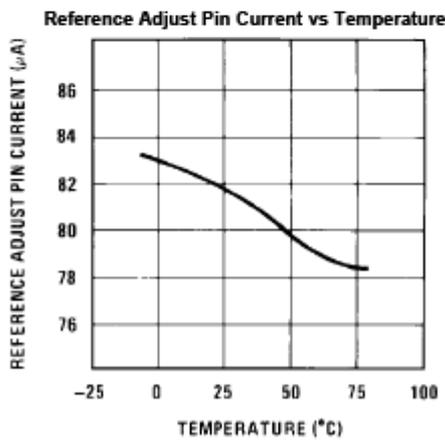


Figure 5.

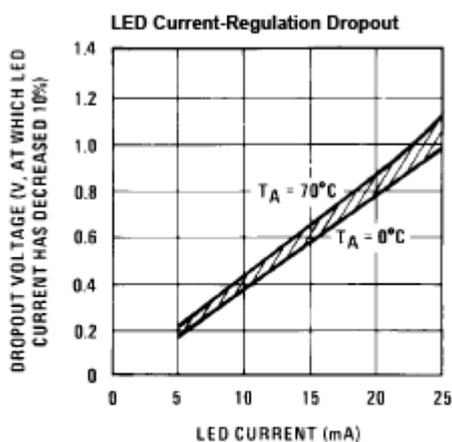


Figure 6.

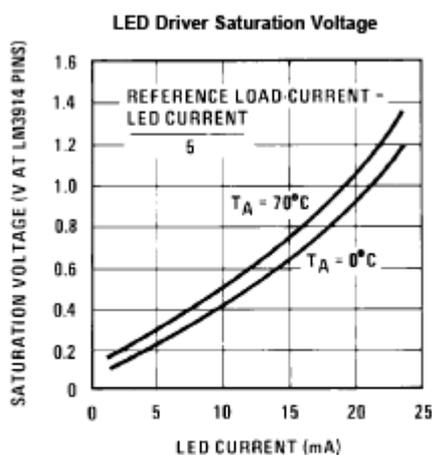


Figure 7.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

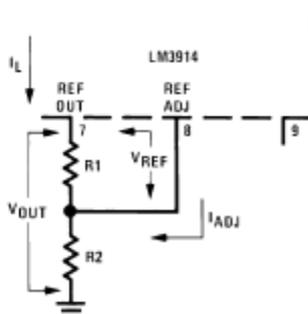
The simplified LM3914 block diagram is to give the general idea of the circuit's operation. A high input impedance buffer operates with signals from ground to 12V, and is protected against reverse and overvoltage signals. The signal is then applied to a series of 10 comparators; each of which is biased to a different comparison level by the resistor string.

In the example illustrated, the resistor string is connected to the internal 1.25V reference voltage. In this case, for each 125mV that the input signal increases, a comparator will switch on another indicating LED. This resistor divider can be connected between any 2 voltages, providing that they are 1.5V below V^+ and no less than V^- . If an expanded scale meter display is desired, the total divider voltage can be as little as 200mV. Expanded-scale meter displays are more accurate and the segments light uniformly only if bar mode is used. At 50mV or more per step, dot mode is usable.

INTERNAL VOLTAGE REFERENCE

The reference is designed to be adjustable and develops a nominal 1.25V between the REF OUT (pin 7) and REF ADJ (pin 8) terminals. The reference voltage is impressed across program resistor R1 and, since the voltage is constant, a constant current I_1 then flows through the output set resistor R2 giving an output voltage of:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$



Since the 120 μ A current (max) from the adjust terminal represents an error term, the reference was designed to minimize changes of this current with V^+ and load changes.

CURRENT PROGRAMMING

A feature not completely illustrated by the block diagram is the LED brightness control. The current drawn out of the reference voltage pin (pin 7) determines LED current. Approximately 10 times this current will be drawn through each lighted LED, and this current will be relatively constant despite supply voltage and temperature changes. Current drawn by the internal 10-resistor divider, as well as by the external current and voltage-setting divider should be included in calculating LED drive current. The ability to modulate LED brightness with time, or in proportion to input voltage and other signals can lead to a number of novel displays or ways of indicating input overvoltages, alarms, etc.

MODE PIN USE

Pin 9, the Mode Select input controls chaining of multiple LM3914s, and controls bar or dot mode operation. The following tabulation shows the basic ways of using this input. Other more complex uses will be illustrated in the applications.

Bar Graph Display: Wire Mode Select (pin 9) directly to pin 3 (V^+ pin).

Dot Display, Single LM3914 Driver: Leave the Mode Select pin open circuit.

Dot Display, 20 or More LEDs: Connect pin 9 of the *first* driver in the series (i.e., the one with the lowest input voltage comparison points) to pin 1 of the next higher LM3914 driver. Continue connecting pin 9 of lower input drivers to pin 1 of higher input drivers for 30, 40, or more LED displays. The last LM3914 driver in the chain will have pin 9 wired to pin 11. All previous drivers should have a 20k resistor in parallel with LED No. 9 (pin 11 to V_{LED}).

LM3914

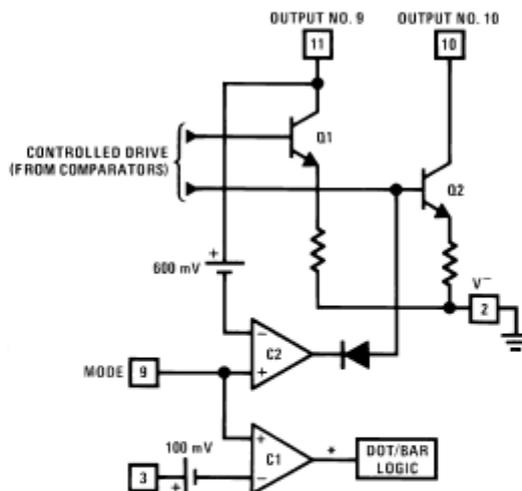


SNVS761B – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

MODE PIN FUNCTIONAL DESCRIPTION

This pin actually performs two functions. Refer to the [simplified block diagram](#) below.



*High for bar

Figure 14. Block Diagram of Mode Pin Description

DOT OR BAR MODE SELECTION

The voltage at pin 9 is sensed by comparator C1, nominally referenced to $(V^+ - 100\text{mV})$. The chip is in bar mode when pin 9 is above this level; otherwise it's in dot mode. The comparator is designed so that pin 9 can be left open circuit for dot mode.

Taking into account comparator gain and variation in the 100mV reference level, pin 9 should be no more than 20mV below V^+ for bar mode and more than 200mV below V^+ (or open circuit) for dot mode. In most applications, pin 9 is either open (dot mode) or tied to V^+ (bar mode). In bar mode, pin 9 should be connected directly to pin 3. Large currents drawn from the power supply (LED current, for example) should not share this path so that large IR drops are avoided.

DOT MODE CARRY

In order for the display to make sense when multiple LM3914s are cascaded in dot mode, special circuitry has been included to shut off LED No. 10 of the first device when LED No. 1 of the second device comes on. The connection for cascading in dot mode has already been described and is depicted below.

As long as the input signal voltage is below the threshold of the second LM3914, LED No. 11 is off. Pin 9 of LM3914 No. 1 thus sees effectively an open circuit so the chip is in dot mode. As soon as the input voltage reaches the threshold of LED No. 11, pin 9 of LM3914 No. 1 is pulled an LED drop (1.5V or more) below V_{LED} . This condition is sensed by comparator C2, referenced 600mV below V_{LED} . This forces the output of C2 low, which shuts off output transistor Q2, extinguishing LED No. 10.

V_{LED} is sensed via the 20k resistor connected to pin 11. The very small current (less than 100 μA) that is diverted from LED No. 9 does not noticeably affect its intensity.

An auxiliary current source at pin 1 keeps at least 100 μA flowing through LED No. 11 even if the input voltage rises high enough to extinguish the LED. This ensures that pin 9 of LM3914 No. 1 is held low enough to force LED No. 10 off when any higher LED is illuminated. While 100 μA does not normally produce significant LED illumination, it may be noticeable when using high-efficiency LEDs in a dark environment. If this is bothersome, the simple cure is to shunt LED No. 11 with a 10k resistor. The 1V IR drop is more than the 900mV worst case required to hold off LED No. 10 yet small enough that LED No. 11 does not conduct significantly.

OTHER DEVICE CHARACTERISTICS

The LM3914 is relatively low-powered itself, and since any number of LEDs can be powered from about 3V, it is a very efficient display driver. Typical standby supply current (all LEDs OFF) is 1.6mA (2.5mA max). However, any reference loading adds 4 times that current drain to the V^+ (pin 3) supply input. For example, an LM3914 with a 1mA reference pin load (1.3k), would supply almost 10mA to every LED while drawing only 10mA from its V^+ pin supply. At full-scale, the IC is typically drawing less than 10% of the current supplied to the display.

The display driver does not have built-in hysteresis so that the display does not jump instantly from one LED to the next. Under rapidly changing signal conditions, this cuts down high frequency noise and often an annoying flicker. An "overlap" is built in so that at no time between segments are all LEDs completely OFF in the dot mode. Generally 1 LED fades in while the other fades out over a mV or more of range ⁽¹⁾. The change may be much more rapid between LED No. 10 of one device and LED No. 1 of a *second* device "chained" to the first.

The LM3914 features individually current regulated LED driver transistors. Further internal circuitry detects when any driver transistor goes into saturation, and prevents other circuitry from drawing excess current. This results in the ability of the LM3914 to drive and regulate LEDs powered from a pulsating DC power source, i.e., largely unfiltered. (Due to possible oscillations at low voltages a nominal bypass capacitor consisting of a 2.2 μ F solid tantalum connected from the pulsating LED supply to pin 2 of the LM3914 is recommended.) This ability to operate with low or fluctuating voltages also allows the display driver to interface with logic circuitry, opto-coupled solid-state relays, and low-current incandescent lamps.

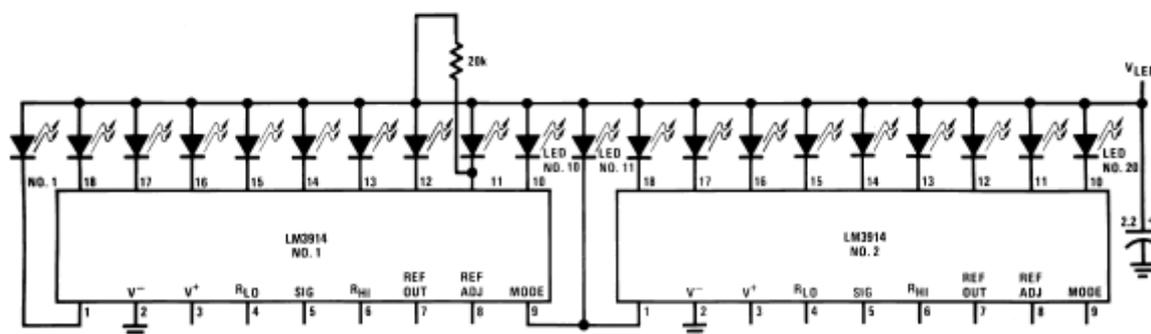


Figure 15. Cascading LM3914s in Dot Mode

(1) Accuracy is measured referred to +10.000V_{DC} at pin 6, with 0.000 V_{DC} at pin 4. At lower full-scale voltages, buffer and comparator offset voltage may add significant error.

LM35



LM35

SNIS159E – AUGUST 1999 – REVISED JANUARY 2015

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full –55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 V to 30 V
- Less than 60-μA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

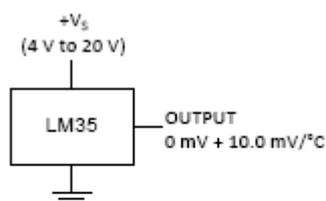
3 Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¼°C over a full –55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 μA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a –55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a –40°C to 110°C range (–10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

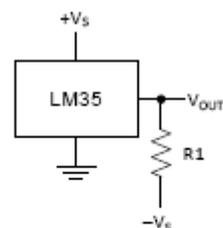
Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Basic Centigrade Temperature Sensor
(2°C to 150°C)

Full-Range Centigrade Temperature Sensor



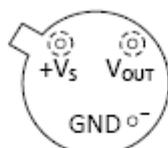
Choose $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = 1500 \text{ mV}$ at 150°C
 $V_{\text{OUT}} = 250 \text{ mV}$ at 25°C
 $V_{\text{OUT}} = -550 \text{ mV}$ at –55°C



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

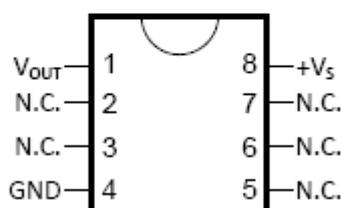
5 Pin Configuration and Functions

NDV Package
3-Pin TO-CAN
(Top View)



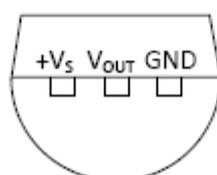
Case is connected to negative pin (GND)

D Package
8-PIN SOIC
(Top View)

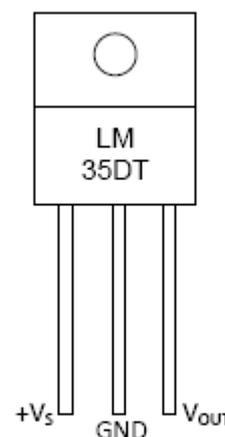


N.C. = No connection

LP Package
3-Pin TO-92
(Bottom View)



NEB Package
3-Pin TO-220
(Top View)



Tab is connected to the negative pin (GND).

NOTE: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP

Pin Functions

NAME	PIN				TYPE	DESCRIPTION
	TO46	TO92	TO220	SO8		
V _{OUT}	—	—	—	1	O	Temperature Sensor Analog Output
N.C.	—	—	—	2	—	No Connection
	—	—	—	3		
GND	—	—	—	4	GROUND	Device ground pin, connect to power supply negative terminal
N.C.	—	—	—	5	—	No Connection
	—	—	—	6		
	—	—	—	7		
+V _S	—	—	—	8	POWER	Positive power supply pin



LM35

SNIS159E–AUGUST 1999–REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾

	MIN	MAX	UNIT	
Supply voltage	-0.2	35	V	
Output voltage	-1	6	V	
Output current		10	mA	
Maximum Junction Temperature, T_{Jmax}		150	°C	
Storage Temperature, T_{stg}	TO-CAN, TO-92 Package	-60	150	°C
	TO-220, SOIC Package	-65	150	

- (1) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
 (2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

6.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$ Electrostatic discharge Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±2500	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT	
Specified operating temperature: T_{MIN} to T_{MAX}	LM35, LM35A	-55	150	°C
	LM35C, LM35CA	-40	110	
	LM35D	0	100	
Supply Voltage (+ V_S)	4	30	V	

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾⁽²⁾	LM35				UNIT
	NDV	LP	D	NEB	
	3 PINS		8 PINS	3 PINS	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance	400	180	220	90	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$ Junction-to-case (top) thermal resistance	24	—	—	—	

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).
 (2) For additional thermal resistance information, see [Typical Application](#).



6.5 Electrical Characteristics: LM35A, LM35CA Limits

Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 150^{\circ}\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 110^{\circ}\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 100^{\circ}\text{C}$ for the LM35D. $V_S = 5\text{ Vdc}$ and $I_{LOAD} = 50\ \mu\text{A}$, in the circuit of [Full-Range Centigrade Temperature Sensor](#). These specifications also apply from 2°C to T_{MAX} in the circuit of [Figure 14](#).

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A			LM35CA			UNIT
		TYP	TESTED LIMIT ⁽¹⁾	DESIGN LIMIT ⁽²⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽¹⁾	DESIGN LIMIT ⁽²⁾	
Accuracy ⁽³⁾	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = -10^{\circ}\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1	
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1		± 0.4		± 1.5	
Nonlinearity ⁽⁴⁾	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^{\circ}\text{C}$
Sensor gain (average slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	10	9.9		10		9.9	$\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
		10	10.1		10		10.1	
Load regulation ⁽⁵⁾ $0 \leq I_L \leq 1\ \text{mA}$	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	± 0.5		± 3	± 0.5		± 3	
Line regulation ⁽⁵⁾	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4\ \text{V} \leq V_S \leq 30\ \text{V}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	
Quiescent current ⁽⁶⁾	$V_S = 5\ \text{V}$, 25°C	56	67		56	67		μA
	$V_S = 5\ \text{V}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	105		131	91		114	
	$V_S = 30\ \text{V}$, 25°C	56.2	68		56.2	68		
	$V_S = 30\ \text{V}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	105.5		133	91.5		116	
Change of quiescent current ⁽⁵⁾	$4\ \text{V} \leq V_S \leq 30\ \text{V}$, 25°C	0.2	1		0.2	1		μA
	$4\ \text{V} \leq V_S \leq 30\ \text{V}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	0.5		2	0.5		2	
Temperature coefficient of quiescent current	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	0.39		0.5	0.39		0.5	$\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$
Minimum temperature for rate accuracy	In circuit of Figure 14 , $I_L = 0$	1.5		2	1.5		2	$^{\circ}\text{C}$
Long term stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^{\circ}\text{C}$

(1) Tested Limits are ensured and 100% tested in production.

(2) Design Limits are ensured (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

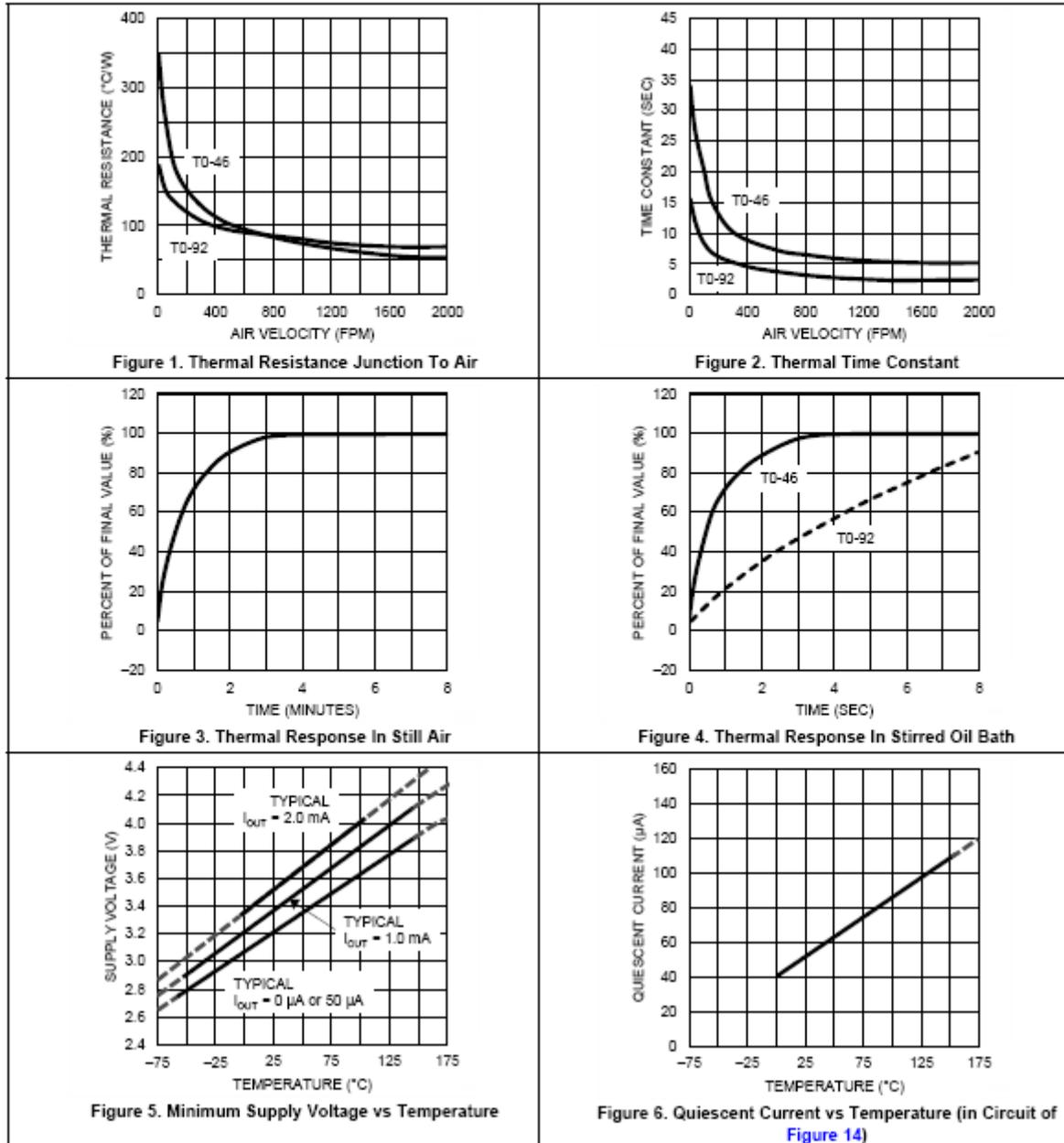
(3) Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$ times the case temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^{\circ}\text{C}$).

(4) Non-linearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.

(5) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

(6) Quiescent current is defined in the circuit of [Figure 14](#).

6.9 Typical Characteristics



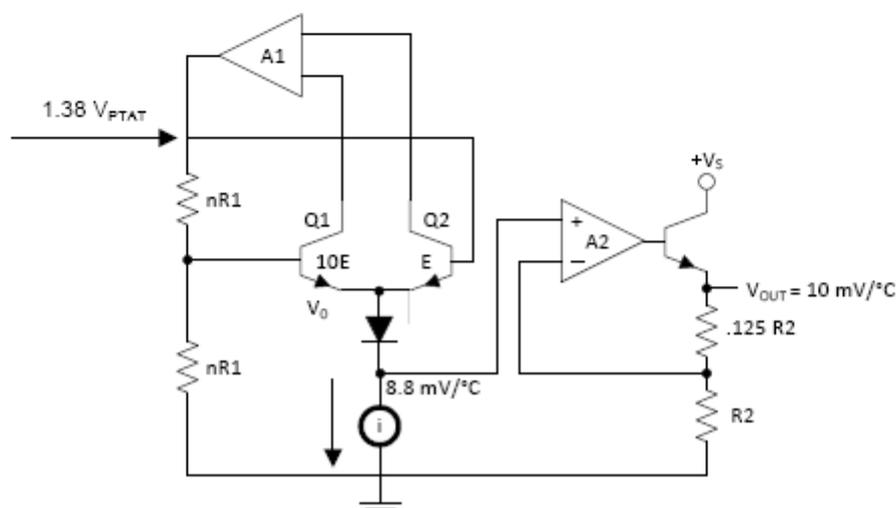
7 Detailed Description

7.1 Overview

The LM35-series devices are precision integrated-circuit temperature sensors, with an output voltage linearly proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only $60\ \mu\text{A}$ from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a -55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a -40°C to 110°C range (-10° with improved accuracy). The temperature-sensing element is comprised of a delta-V BE architecture.

The temperature-sensing element is then buffered by an amplifier and provided to the VOUT pin. The amplifier has a simple class A output stage with typical $0.5\text{-}\Omega$ output impedance as shown in the [Functional Block Diagram](#). Therefore the LM35 can only source current and its sinking capability is limited to $1\ \mu\text{A}$.

7.2 Functional Block Diagram



7.3 Feature Description

7.3.1 LM35 Transfer Function

The accuracy specifications of the LM35 are given with respect to a simple linear transfer function:

$$V_{\text{OUT}} = 10\ \text{mV}/^\circ\text{F} \times T$$

where

- V_{OUT} is the LM35 output voltage
- T is the temperature in $^\circ\text{C}$

(1)

7.4 Device Functional Modes

The only functional mode of the LM35 is that it has an analog output directly proportional to temperature.

8 Application and Implementation

NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

8.1 Application Information

The features of the LM35 make it suitable for many general temperature sensing applications. Multiple package options expand on its flexibility.

8.1.1 Capacitive Drive Capability

Like most micropower circuits, the LM35 device has a limited ability to drive heavy capacitive loads. Alone, the LM35 device is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, isolating or decoupling the load with a resistor is easy (see Figure 12). The tolerance of capacitance can be improved with a series R-C damper from output to ground (see Figure 13).

When the LM35 device is applied with a 200- Ω load resistor as shown in Figure 16, Figure 17, or Figure 19, the device is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input and not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, performance is affected adversely by intense electromagnetic sources (such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, and SCR transients), because the wiring acts as a receiving antenna and the internal junctions act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper, such as 75 Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground, are often useful. Examples are shown in Figure 13, Figure 24, and Figure 25.

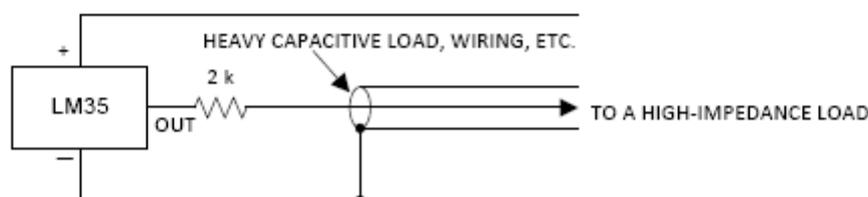


Figure 12. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

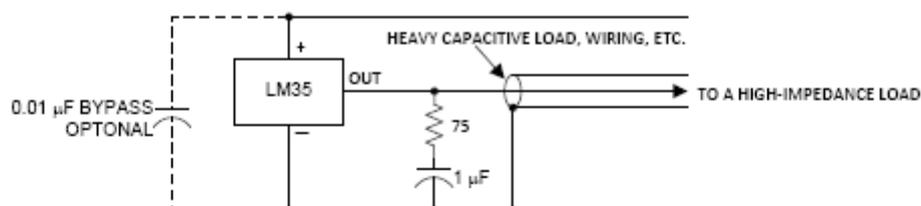


Figure 13. LM35 with R-C Damper

8.2 Typical Application

8.2.1 Basic Centigrade Temperature Sensor

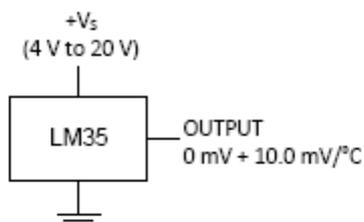


Figure 14. Basic Centigrade Temperature Sensor (2 °C to 150 °C)

8.2.1.1 Design Requirements

Table 1. Design Parameters

PARAMETER	VALUE
Accuracy at 25°C	±0.5°C
Accuracy from –55 °C to 150°C	±1°C
Temperature Slope	10 mV/°C

8.2.1.2 Detailed Design Procedure

Because the LM35 device is a simple temperature sensor that provides an analog output, design requirements related to layout are more important than electrical requirements. For a detailed description, refer to the [Layout](#).

8.2.1.3 Application Curve

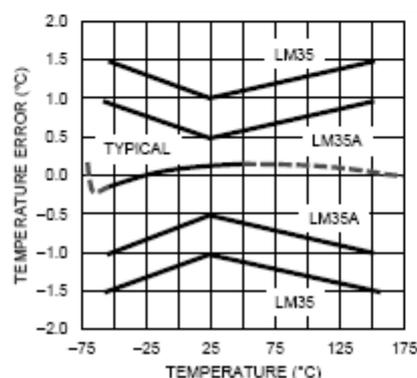


Figure 15. Accuracy vs Temperature (Ensured)

System Examples (continued)

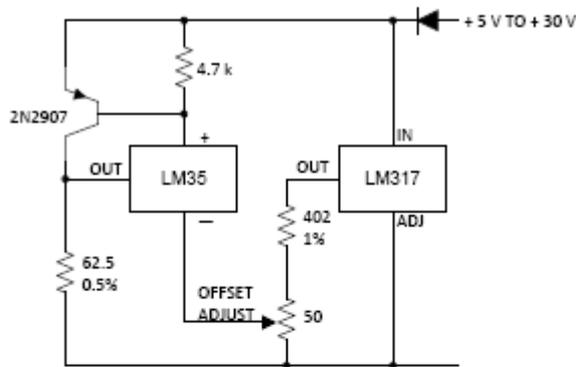


Figure 20. 4-To-20 mA Current Source
(0°C to 100°C)

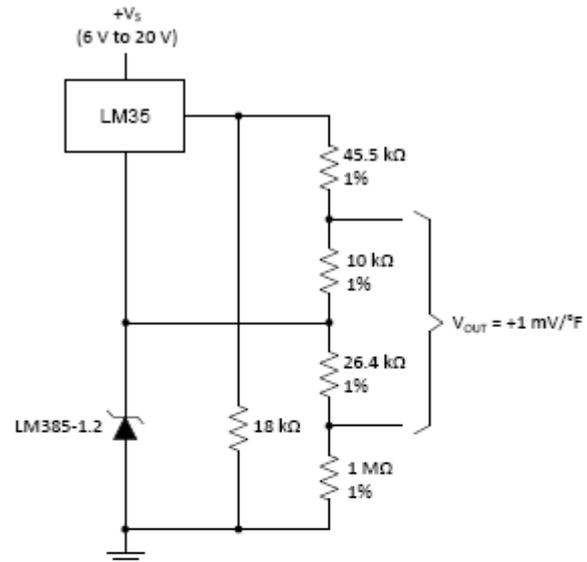


Figure 21. Fahrenheit Thermometer

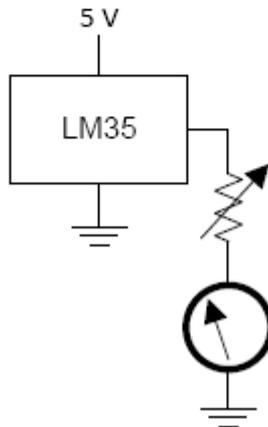


Figure 22. Centigrade Thermometer
(Analog Meter)

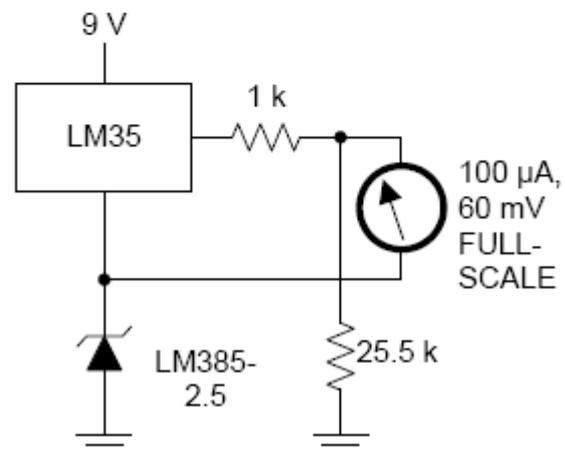


Figure 23. Fahrenheit Thermometer, Expanded
Scale Thermometer
(50°F to 80°F, for Example Shown)



9 Power Supply Recommendations

The LM35 device has a very wide 4-V to 5.5-V power supply voltage range, which makes it ideal for many applications. In noisy environments, TI recommends adding a 0.1 μF from V+ to GND to bypass the power supply voltage. Larger capacitances maybe required and are dependent on the power-supply noise.

10 Layout

10.1 Layout Guidelines

The LM35 is easily applied in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. Glue or cement the device to a surface and the temperature should be within about 0.01°C of the surface temperature.

The 0.01°C proximity presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature. If the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature; this is especially true for the TO-92 plastic package. The copper leads in the TO-92 package are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

Ensure that the wiring leaving the LM35 device is held at the same temperature as the surface of interest to minimize the temperature problem. The easiest fix is to cover up these wires with a bead of epoxy. The epoxy bead will ensure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the temperature of the LM35 die is not affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, mount the LM35 inside a sealed-end metal tube, and then dip into a bath or screw into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 device and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as a conformal coating and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 device or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

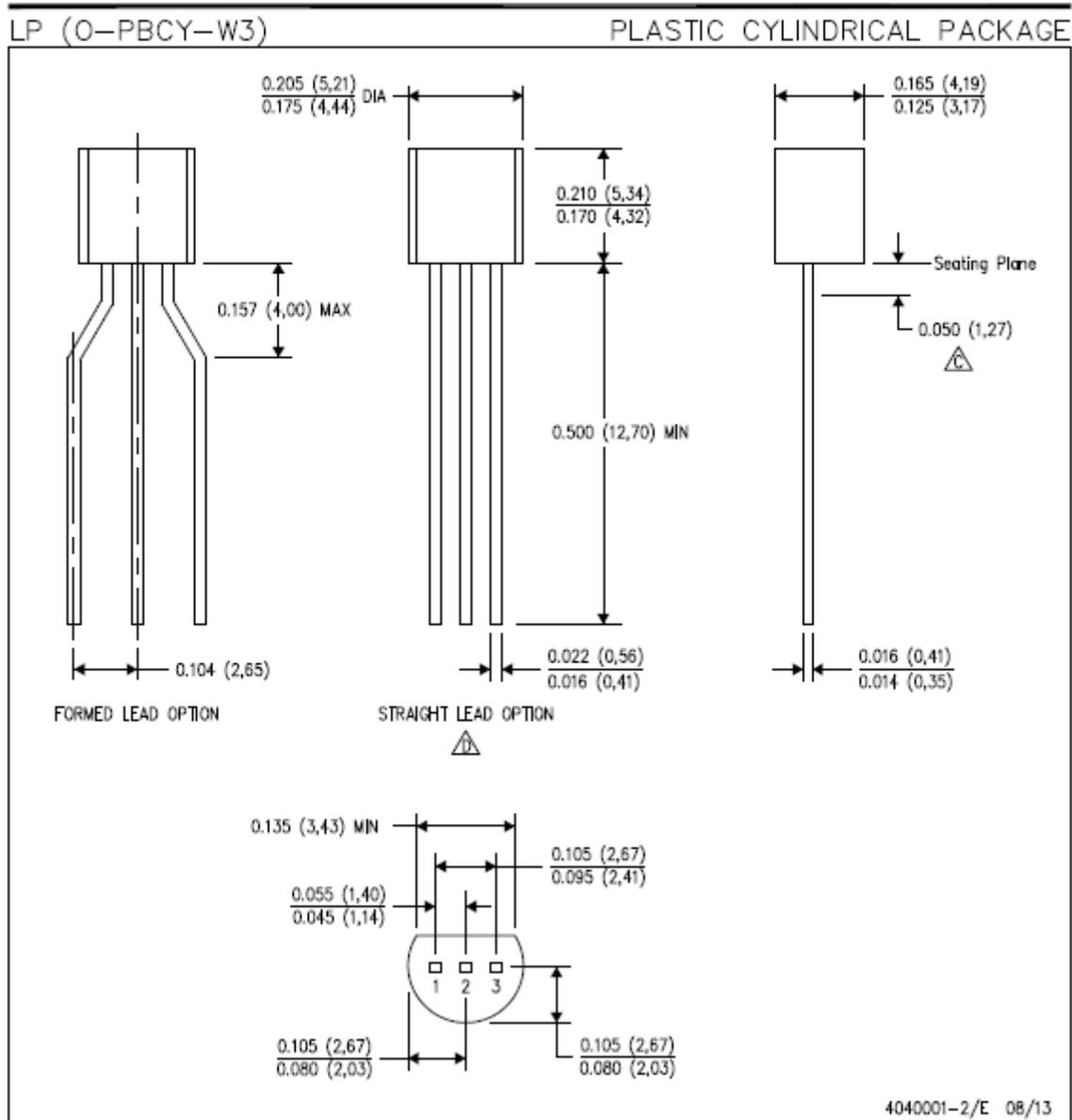
Table 2. Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, $R_{\theta JA}$)

	TO, no heat sink	TO ⁽¹⁾ , small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92 ⁽²⁾ , small heat fin	SOIC-8, no heat sink	SOIC-8 ⁽²⁾ , small heat fin	TO-220, no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	—	—	—
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W	—	—	—
(Clamped to metal, infinite heat sink)	(24°C/W)		—	—	(55°C/W)		—

(1) Wakefield type 201, or 1-in disc of 0.02-in sheet brass, soldered to case, or similar.

(2) TO-92 and SOIC-8 packages glued and leads soldered to 1-in square of 1/16-in printed circuit board with 2-oz foil or similar.

MECHANICAL DATA



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Lead dimensions are not controlled within this area.
 - Falls within JEDEC TO-226 Variation AA (TO-226 replaces TO-92).
 - Shipping Method:
 - Straight lead option available in bulk pack only.
 - Formed lead option available in tape & reel or ammo pack.
 - Specific products can be offered in limited combinations of shipping mediums and lead options.
 - Consult product folder for more information on available options.