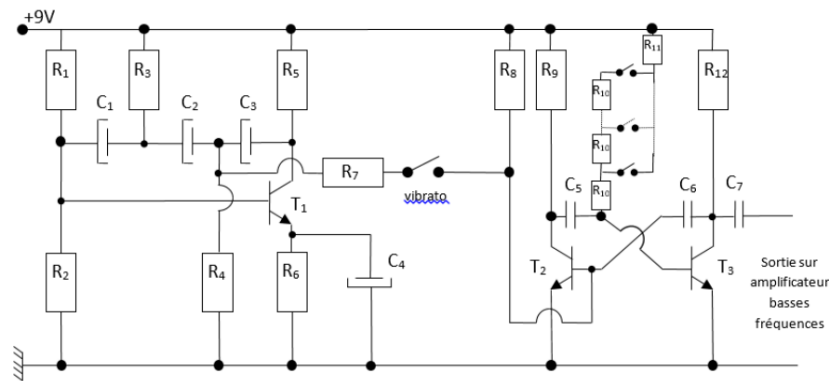


Projet TCE Orgue électronique

Ce projet a pour but de réaliser un orgue électronique sur une carte électronique.

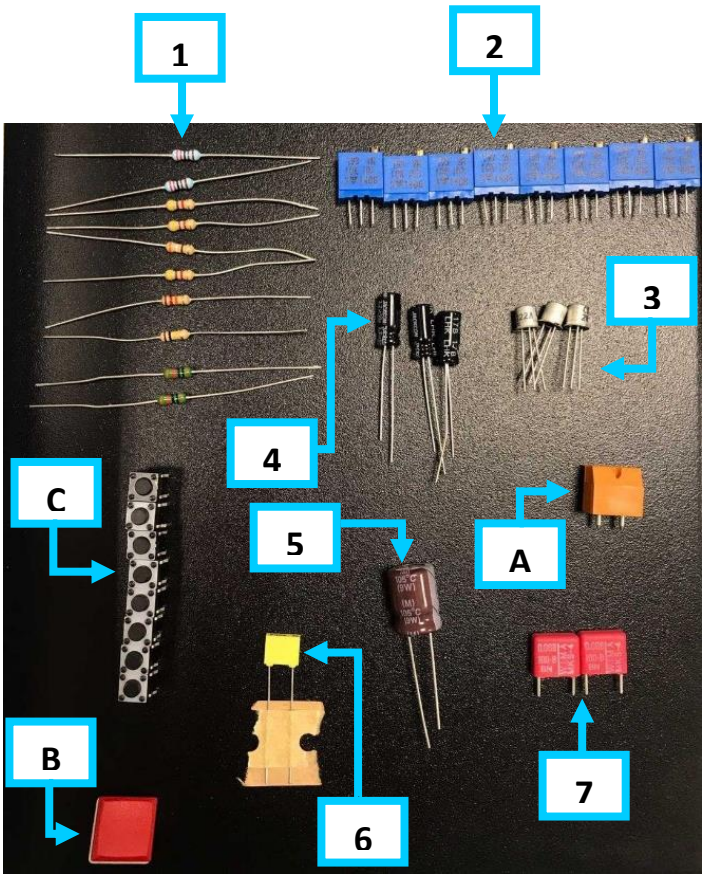
Pour cela nous disposons d'un schéma du circuit et de différents composants électroniques. De plus, la taille de notre carte est limitée, notre circuit a pour dimensions : 10cm\*12,5cm.

Schéma du circuit :



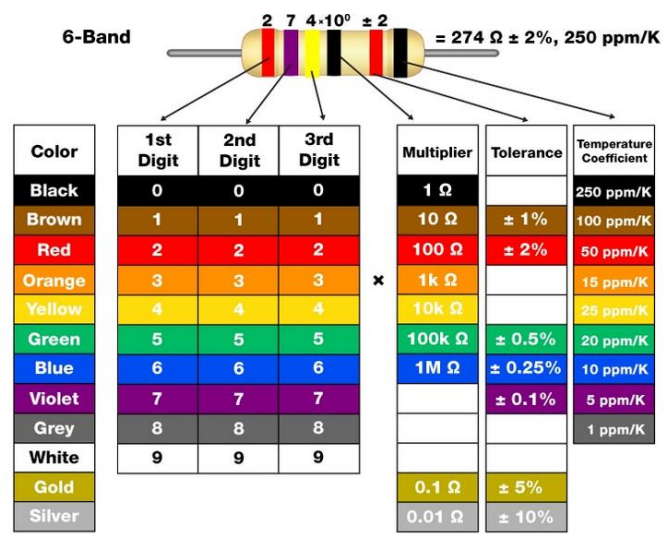
Avant de commencer à créer le circuit, il faut d'abord vérifier la nature et le nombre de composants mis à notre disposition et les identifier sur le schéma électrique. Ceci va nous permettre de créer une table d'association de composants pour pouvoir identifier nos composants sans problème pendant toute la durée de la conception de notre carte électronique.

Table d'association des composants :



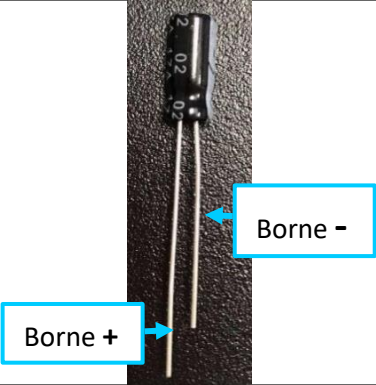
Indice	Schéma	Composant
1	R1	Résistor 100KΩ
1	R2	Résistor 10KΩ
1	R3	Résistor 4,7KΩ
1	R4	Résistor 4,7KΩ
1	R5	Résistor 4,7KΩ
1	R8	Résistor 12KΩ
1	R9	Résistor 2,2KΩ
1	R11	Résistor 10KΩ
1	R12	Résistor 2,2KΩ
2	R7	Résistor variable 100KΩ
2	R10	Résistor variable 10KΩ
3	T1	Transistor 2N2222A
3	T2	Transistor 2N2222A
3	T3	Transistor 2N2222A
4	C1	Condensateur 2,2μF
4	C2	Condensateur 2,2μF
4	C3	Condensateur 2,2μF
5	C4	Condensateur 470μF
5	C7	Condensateur 47nF
7	C5	Condensateur 68nF
7	C6	Condensateur 68nF

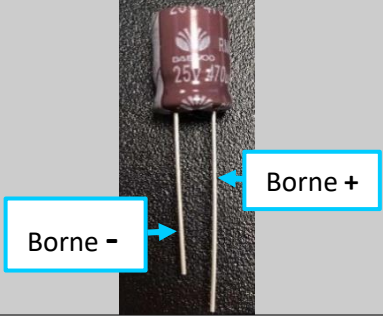
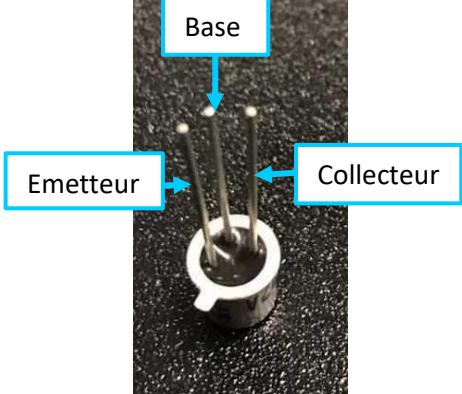
Il faut ensuite rassembler toutes les informations utiles sur les composants dans un memento (leurs valeurs, leurs polarités, leurs brochages, leurs empreintes TCI). Pour les résistors, il faut aussi déterminer leurs codes couleurs en fonction de leurs valeurs. Pour cela, on peut utiliser le document suivant :



Il faut aussi regrouper les datasheets des composants pour récolter les données manquantes de certains composants (ex : brochage du transistor).

**Memento :**

Composant	Valeurs	Code couleur	Polarisé ?	Brochage	Empreinte TCI
Résistor	100KΩ 10 %	Marron-Noir-Jaune-Argent	Non	X	R0.25W
Résistor	10KΩ 1 %	Marron-Noir-Noir-Rouge-Marron	Non	X	R0.25W
Résistor	4,7KΩ 10 %	Jaune-Violet-Rouge-Argent	Non	X	R0.25W
Résistor	390Ω 10 %	Orange-Blanc-Marron-Argent	Non	X	R0.25W
Résistor	12KΩ 10 %	Marron-Rouge-Orange-Argent	Non	X	R0.25W
Résistor	2,2KΩ 1 %	Rouge-Rouge-Noir-Marron-Marron	Non	X	R0.25W
Résistor variable	100KΩ 10 %	X	Non	X	Triac
Résistor variable	10KΩ 10 %	X	Non	X	Triac
Condensateur	2,2μF	X	Oui		Cvertical2-54

Condensateur	470µF	X	Oui		Cvertical5-08
Condensateur	68nF	X	Non		C5-08
Condensateur	47nF	X	Non		C2-54
Transistor	2N2222A	X	Oui		TO5
Bouton poussoir	X	Noir	Non		Brochage en largeur X
Bouton poussoir	X	Rouge	Non		X X
Bornier d'entrée	X	Orange	Non	X	Bornier à 2 vis

Après avoir récolter toutes les informations nécessaires, il faut réaliser un typon à l'aide d'un logiciel de routage. Pour cela, nous avons utilisé le logiciel TCI.

La première étape consiste à régler le pas de la grille à 2.54mm. Le logiciel permet de travailler sur trois couches (soudure, sérigraphie, composants). Afin de régler les dimensions du circuit, il faut activer la couche sérigraphie et tracer les contours de la carte. Puis, on peut commencer à placer les composants sur la carte en activant la couche soudure. Si l'empreinte d'un composant n'existe pas, il faut la créer en respectant les dimensions réelles de ce composant. C'est ce que nous avons fait pour les boutons poussoirs.

Pour pouvoir placer nos composants, il faut réussir à réorganiser le circuit pour qu'il respecte certaines règles de conception.

De plus, pour notre projet aucun strap n'est autorisé, il fallait donc aussi trouver comment faire pour qu'aucune piste ne se croise. La solution étant d'utiliser les résistances comme strap car les pistes peuvent passer sans problème sous les résistances.

### Règles de conception :

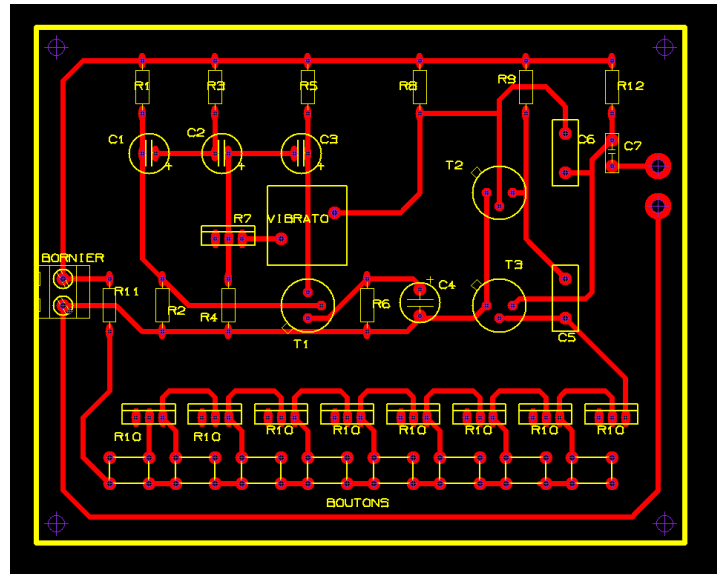
- Les pistes doivent être placées à l'horizontale, à la verticale ou en diagonale. Elles doivent être de largeur constante et ne doivent pas présenter d'angles inférieurs à 90°.
- Il ne faut rien placer trop près du bord de la carte.

- Il faut aussi faire attention aux dimensions des pastilles. Nous avons choisi d'utiliser des pistes de largeur 2.54mm. La largeur de la couronne des pastilles doit donc elle aussi être de 2.54mm. De plus, pour les empreintes que nous devons créer nous même, il faut adapter le diamètre du trou au brochage de nos composants et calculer la taille de la pastille grâce à cette formule :

$$\varnothing_{\text{pastille}} = \varnothing_{\text{trou}} + 2 \times \text{largeur}(\text{piste})$$

- Il faut placer les composants de façon à ce qu'ils soient alignés et bien repartis sur la carte. De plus, ils ne doivent pas se toucher, se croiser ou se superposer.

En respectant toutes ces contraintes nous sommes arrivées au résultat suivant :



Une fois le circuit réalisé sur le logiciel, on peut imprimer le typon sur une feuille transparente. Sur ce typon, on peut ainsi observer comment seront placés les pistes et les pastilles des composants. Pour avoir un meilleur résultat, nous l'avons imprimé deux fois pour pouvoir superposer les deux typons et être sûr que pendant l'insolation, les UV soient bien arrêtés au niveau des pistes et des pastilles.

En effet, l'étape suivante consiste à exposer une plaque d'époxy aux UV grâce à une insoleuse.



Une plaque d'époxy est constituée de trois couches : une couche de résine, une couche de cuivre et une couche d'époxy. Le tout étant recouvert d'un film protecteur.

### **Insolation de la plaque d'époxy :**

- 1<sup>ère</sup> étape : enlever le film protecteur.

- 2<sup>ème</sup> étape : superposer le typon avec la plaque d'époxy et les mettre dans l'insoleuse. Pour cela, on dépose notre plaque sur une vitre dans le châssis puis on place un film par-dessus qui va permettre de faire le vide afin de s'assurer que le typon est bien collé à la plaque.



- 3<sup>ème</sup> étape : lancer l'insolation. Les UV vont ainsi modifier la résine aux endroits où le typon est transparent (où il n'y a ni pistes ni pastilles).

Une fois l'insolation terminée, on peut passer à l'étape de révélation.

### **Révélation :**

Cette étape consiste à éliminer la résine préalablement modifiée par les UV. Pour cela, on va utiliser un révélateur : de l'hydroxyde de sodium. Il faut donc plonger la plaque dans un bac contenant le révélateur.

Cette manipulation nécessite de prendre des précautions comme le port de gants, de lunettes, et d'une blouse. Il va ainsi dissoudre les zones de la résine qui ont été modifiées pendant l'insolation.

La couche de cuivre va progressivement apparaître autour des pistes qui sont encore protégées par la résine. Une fois la plaque révélée, elle est sortie du bac et on passe à l'étape de la gravure chimique.



[https://drive.google.com/file/d/12QT1xH9eq40idD\\_lUFriujCV16LENBw/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/12QT1xH9eq40idD_lUFriujCV16LENBw/view?usp=sharing)



## **Gravure chimique :**

Cette étape consiste à éliminer le cuivre non protégé par la résine avec du perchlorure de fer. Cela a pour conséquence de ne laisser sur la plaque que les pistes qui nous intéressent. Puis on rince notre plaque avec de l'eau. S'il reste du cuivre non désiré il est possible de répéter l'opération.



<https://drive.google.com/file/d/12NwzfLMhgEcIP4Lpy464TsP5hqZScAVa/view?usp=sharing>

Enfin la dernière étape consiste à éliminer le reste de la résine au niveau des pistes et des pastilles.

## **Nettoyage des pistes et des pastilles :**

Pour enlever la résine, il suffit d'utiliser de l'acétone. On obtient donc ainsi notre circuit imprimé final sur lequel on va pouvoir placer nos composants.

Pour cela, il faut tout d'abord percer les pastilles puis souder les composants.

## **Le perçage :**

Avant de souder les composants, il faut percer des trous au niveau des pastilles. Ces trous correspondent à l'emplacement des broches des composants. Pour cela on utilise une perceuse à colonne.

Il suffit ensuite de placer la plaque sur un support. Dans notre cas, une plaque de bois. Il faut aussi choisir la taille du foret en fonction de la taille des broches des composants qui devront être soudés.



Une fois toutes les pastilles percées au bon diamètre on va pouvoir passer à l'étape de soudure.

### **Soudage à l'étain:**

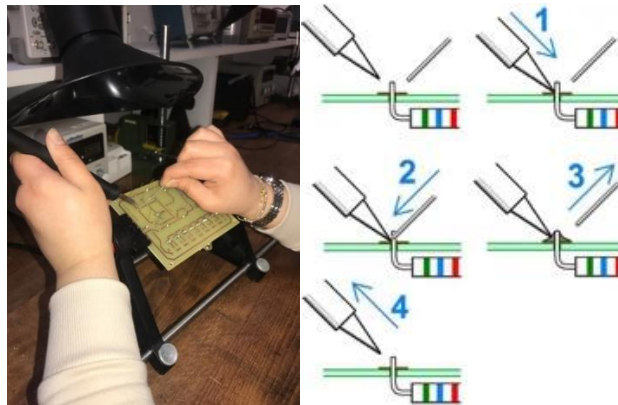
A présent, on doit placer les composants sur la plaque en s'aidant du schéma. Pour souder on utilise un fer à souder et de l'étain.

Avant de commencer à souder, on s'assure qu'on soude dans un endroit bien ventilé. Lorsque la soudure est chauffée, les vapeurs dégagées sont dangereuses pour les yeux et les poumons donc Il faut utiliser un extracteur de fumées qui est un ventilateur des fumées nocives. Il faut également porter des lunettes de protection qui protègent nos yeux en cas de projection accidentelle de soudure brûlante.



**1ère étape :** On commence par insérer les broches des composants dans les trous de la carte électronique que l'on peut faire tenir avec une éponge pour éviter qu'ils tombent quand on retournera la carte. Il faut débuter avec les composants les plus petits et finir par les plus grands pour éviter d'être gêné.

**2ème étape :** On allume notre fer à souder et on le laisse chauffer. On étame légèrement l'extrémité de la panne (pour augmenter le contact thermique) . On chauffe la pastille et ensuite on appuie la panne simultanément sur la pastille en cuivre et sur le fil. Il faut maintenir le fer à souder en place pendant 3 à 4 secondes afin de chauffer la pastille de circuit imprimé et le fil.

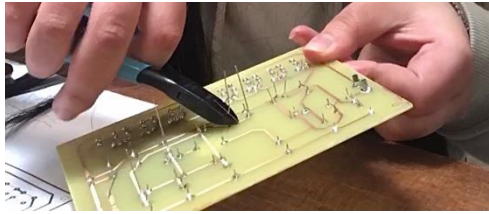


**3ème étape :** On essuie la panne du fer à souder sur une éponge en laiton pour la nettoyer puis on attend quelques secondes que la pointe chauffe à nouveau.

On répète ces étapes jusqu'à ce que tous les composants soient soudés.

De plus, la jonction doit être suffisamment chaude pour faire fondre la soudure lorsqu'elle la touche. Si la jonction pastille/fil est trop froide, la soudure établira une mauvaise connexion (soudure sèche).

**Étape 4 :** On enlève le fer à souder et on laisse les soudures refroidir naturellement. Puis, on vérifie que les soudures sont de bonne qualité (lisses et brillantes) et qu'elles couvrent toute la jonction. Enfin, on coupe les broches des composants qui dépassent de la plaque.

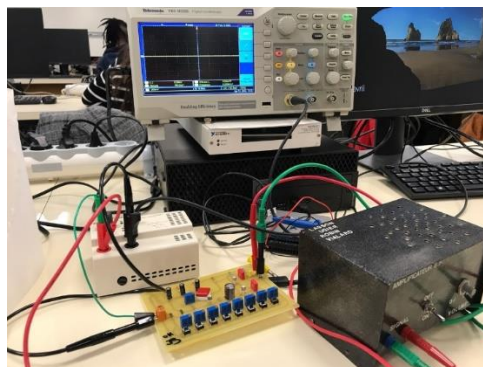


Finalement, on obtient le résultat suivant :



### **Vérification :**

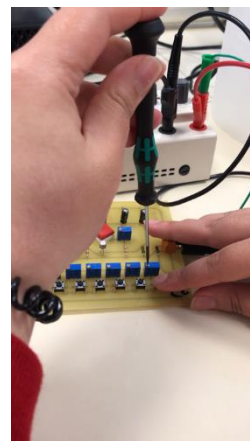
On teste la carte électronique sous une tension d'alimentation (de 9V) à l'aide d'un amplificateur qui génère un son quand on appuie sur un des boutons. De plus, on branche un oscilloscope à la sortie de la carte électronique afin d'obtenir les fréquences de ces sons. Ce qui donne le montage de la photo ci-dessous :



Lors du premier test, on peut voir que les sons créés par l'orgue électronique ne sont pas justes. En effet, on peut voir sur l'oscilloscope que les fréquences émises ne correspondent à aucune note de musique. Pour pouvoir obtenir des notes qui sonnent juste, on règle les résistances variables, en allant de la résistance la plus à droite à la résistance la plus à gauche, tout en appuyant en même temps sur le bouton poussoir correspondant. Puis, on lit la valeur de la fréquence sur l'oscilloscope jusqu'à obtenir toutes les notes entre le sol de l'octave 3 et le sol de l'octave 4 qui correspondent aux fréquences ci-dessous :



Note/octave	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
do ou si #	16,35	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,01	8 372,02	16 744,04
do # ou ré ♭	17,33	34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	4434,92	8 869,84	17 739,68
ré	18,36	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64	9 397,28	18 794,56
ré # ou mi ♭	19,45	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	4978,03	9 956,06	19 912,12
mi ou fa ♭	20,60	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04	10 548,08	21 096,16
fa ou mi #	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65	11 175,30	22 350,60
fa # ou sol ♭	23,13	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1479,98	2959,96	5919,91	11 839,82	23 679,64
sol	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1567,98	3135,96	6271,93	12 543,86	25 087,72
sol # ou la ♭	25,96	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,22	3322,44	6644,88	13 289,76	26 579,52
la	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00	14 080,00	28 160,00
la # ou si ♭	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	7458,62	14 917,24	29 834,48
si ou do ♭	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13	15 804,26	31 608,52



Cependant, nous avons remarqué que s'il on appuie simultanément sur un bouton poussoir et sur le vibrato, les fréquences mesurées ne sont pas les mêmes que lorsqu'on appuie seulement sur un bouton poussoir. En effet, nous avons pu relever les valeurs suivantes :

Notes (octave) (du bouton le plus à gauche vers le bouton le plus à droite)	Fréquences en appuyant sur un bouton poussoir	Fréquence en appuyant sur un bouton poussoir et le vibrato	Décalage de fréquence ( $f_v$ ) entre les deux
SOL (3)	391.6 Hz	399.7 Hz	8.1 Hz
LA (3)	439.69 Hz	449.8 Hz	10.1 Hz
SI (3)	493.4 Hz	506.2 Hz	12.8 Hz
DO (4)	522.6 Hz	537.05 Hz	14.4 Hz
RE (4)	586.6 Hz	604.5 Hz	17.9 Hz
MI (4)	658.3 Hz	680.5 Hz	21.8 Hz
FA (4)	697.6 Hz	723.18 Hz	25.5 Hz
SOL (4)	783.9 Hz	816.8 Hz	32 Hz

Les multivibrateurs sont des générateurs d'ondes carrées. On les répartit en trois catégories : multivibrateurs astables, monostables, bistables. Dans notre circuit, nous disposons d'un multivibrateur astable. Contrairement aux deux autres catégories, qui nécessitent une impulsion de commande pour générer une impulsion carrée, les multivibrateurs astables produisent une forme d'onde carrée sans aucun signal de commande. De plus, son fonctionnement repose sur la charge et la décharge d'un condensateur.

Pour calculer la période  $T$  de cette onde (représentée ci-dessous), on utilise la formule suivante :

$$T = RC * \ln(2)$$

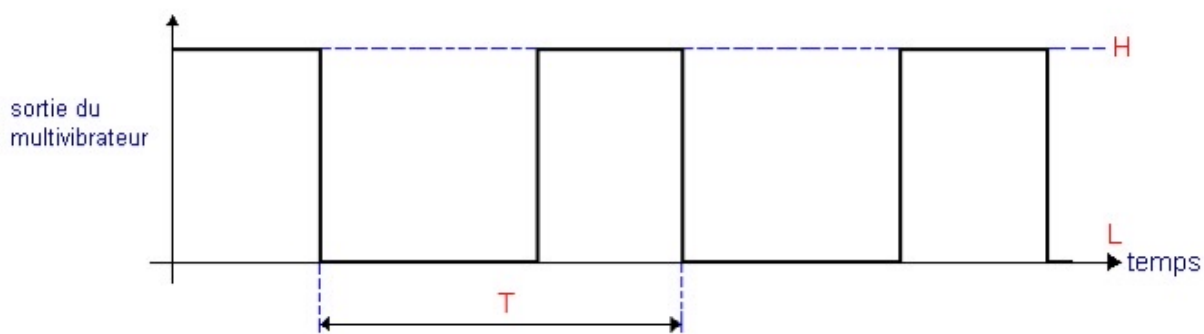


Fig. 43. - Signal en sortie d'un montage astable.

La période dépend donc de tous les éléments du circuit (résistances et condensateurs). On en déduit donc que sur notre carte la période sera plus élevée lorsqu'on appuie sur le bouton le plus à gauche que lorsqu'on appuie sur le bouton le plus à droite.

Donc :

$$T(SOL\ 4) < T(FA\ 4) < T(MI\ 4) < T(RE\ 4) < T(DO\ 4) < T(SI\ 3) < T(LA\ 3) < T(SOL\ 3).$$

Cela s'explique par le fait que plus on se dirige vers le bouton à gauche de la carte plus le R augmente dans la formule. Comme la fréquence correspond à l'inverse de la période, la fréquence ( $fv = \frac{1}{T}$ ) ajoutée par le multivibrateur astable sera plus élevée pour le bouton le plus à droite que pour le bouton le plus à gauche.

On aura donc :

$$fv(SOL\ 4) > fv(FA\ 4) > fv(MI\ 4) > fv(RE\ 4) > fv(DO\ 4) > fv(SI\ 3) > fv(LA\ 3) > fv(SOL\ 3)$$

**Datasheets :**

**Condensateurs :**

Radial Aluminum Electrolytic Capacitors  
**ESW, +105°C**



**Overview**

The KEMET ESW radial aluminum electrolytic capacitors are designed for long life (3,000 – 6,000 hours), high reliability, low impedance, and high frequency applications.

**Applications**

Typical applications include high frequency switch mode circuits.

**Benefits**

- Suited for long life, high reliability applications
- Operating temperature of up to +105°C
- 3,000 – 6,000 hour operating life
- Case with Ø D ≥ 5 mm
- Safety vent on the capacitor base

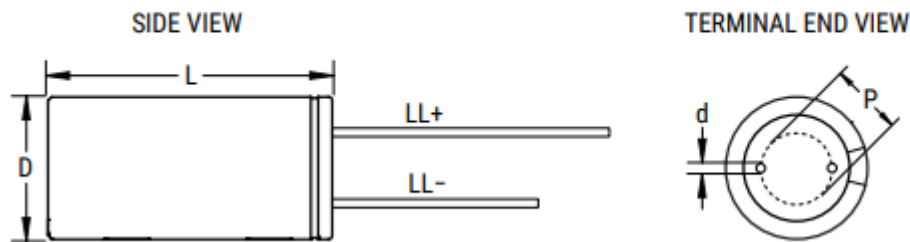


Click image above for interactive 3D content  
*Open PDF in Adobe Reader for full functionality*

**Part Number System**

ESW	157	M	6R3		A	C3	AA
Series	Capacitance Code (pF)	Tolerance	Rated Voltage (VDC)		Electrical Parameters	Size Code	Packaging
Radial Aluminum Electrolytic	First two digits represent significant figures for capacitance values. Last digit specifies the number of zeros to be added.	M = ±20%	6R3 = 6.3 010 = 10 016 = 16 025 = 25	035 = 35 050 = 50 063 = 63 100 = 100	A = Standard	See Dimension Table	See Ordering Options Table

Dimensions – Millimeters



Performance Characteristics

Item	Performance Characteristics
Capacitance Range	2.2 – 15,000 $\mu$ F
Capacitance Tolerance	$\pm$ 20% at 120 Hz/20°C
Rated Voltage	6.3 – 100 VDC
Life Test	3,000 – 6,000 hours (see conditions in Test Method & Performance)
Operating Temperature	-40°C to +105°C
Leakage Current	$I \leq 0.01 CV$ or 3 $\mu$ A, whichever is greater
	C = rated capacitance ( $\mu$ F), V = rated voltage (VDC). Voltage applied for 2 minutes at 20°C.

Impedance Z Characteristics at 120 Hz

Rated Voltage (VDC)	6	10	16	25	35	50	63	100
Z (-25°C)/Z (20°C)	4	3	2	2	2	2	2	2
Z (-40°C)/Z (20°C)	8	6	4	3	3	3	3	3

Compensation Factor of Ripple Current (RC) vs. Frequency

Capacitance Range ( $\mu$ F)	120 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
2.2 – 180	0.40	0.75	0.90	1.00
220 – 560	0.50	0.85	0.94	1.00
680 – 1,800	0.60	0.87	0.95	1.00
2,200 – 3,900	0.75	0.90	0.95	1.00
4,700 – 15,000	0.85	0.95	0.98	1.00

## Transistor :

Philips Semiconductors

Product specification

### NPN switching transistors

### 2N2222; 2N2222A

#### FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

#### APPLICATIONS

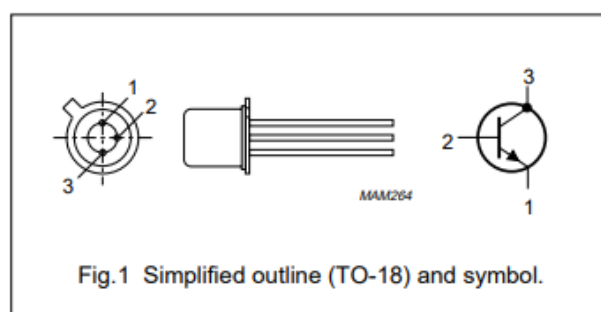
- Linear amplification and switching.

#### DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.  
PNP complement: 2N2907A.

#### PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case



#### QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{CBO}$	collector-base voltage	open emitter	—	60	V
	2N2222		—	75	V
$V_{CEO}$	collector-emitter voltage	open base	—	30	V
	2N2222		—	40	V
$I_C$	collector current (DC)		—	800	mA
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	—	500	mW
$h_{FE}$	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}$ ; $V_{CE} = 10\text{ V}$	75	—	
$f_T$	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}$ ; $V_{CE} = 20\text{ V}$ ; $f = 100\text{ MHz}$	250	—	MHz
	2N2222		300	—	MHz
$t_{off}$	turn-off time	$I_{Con} = 150\text{ mA}$ ; $I_{Bon} = 15\text{ mA}$ ; $I_{Boff} = -15\text{ mA}$	—	250	ns