xx

aAL

# componentes obsoletos

El sintetizador Formant es un diseño de los años 70 motivo por el cual en la actualidad algunos de los componentes electrónicos no están ya disponibles o bien pueden ser encontrados con mucha dificultad en el mercado de segunda mano (¡ cuando no en el del coleccionista !).

Esta problemática afecta en particular a determinados componentes utilizados en circuitos críticos del Formant siendo quizás el más famoso el µA726 (par de transistores compensados térmicamente) que forma parte de un módulo tan importante como el VCO

En este capítulo se aportará información sobre el reemplazo de los componentes obsoletos y la solución tomada para su sustitución en esta versión del Formant.

**Importante:**

**(1)**

Los datos relativos a los componentes que realizan la sustitución de estos componentes obsoletos (características técnicas, suministradores, precios etc) son válidos en el momento de redactar este documento y pueden dejar de serlo más adelante.

**(2)**

Anexo a este documento se aportan también las hojas de datos (*datasheet*) de los componentes afectados, tanto los sustituidos como los nuevos.

## consideraciones de diseño

En la mayoría de los casos, los componentes obsoletos no pueden reemplazarse “pin a pin” dado que el nuevo componente o circuito equivalente que lo sustituye no es compatible en forma o encapsulado o bien porque simplemente se trata de un circuito equivalente formando por varios componentes que realizan la tarea del componente sustituido.

## componente: ca3080

El CA3080 es un Amplificador Operacional de Transconductancia variable (OTA).

Las primeras unidades fueron producidas por *RCA* en 1969, antes de ser adquirida por General Electric, hoy día su producción está descontinuada.

Una de las principales aplicaciones de este tipo de amplificadores es la implementación de aplicaciones de control electrónico, tales como osciladores de frecuencia variable, filtros y etapas de amplificador de ganancia variable, que son más difíciles de implementar con amplificadores operacionales estándar.

La sustitución de este circuito se realizará utilizando el circuito **LM13700** (*Texas Instruments*), este circuito integrado además es doble, contiene dos amplificadores OTA independientes, pudiendo sustituir dos CA3080 por un LM13700.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Amplificador Operacional de Transconductancia variable (OTA)** | | | | |
| **COMPONENTE OBSOLETO** | **REEMPLAZO** | **FABRICANTE(s)** | **DESCRIPCIÓN** | **SUMINISTRADOR** |
| CA3080 | LM13700 | Texas Instruments,  National Semiconductor | Dual Operational Transconductance Amplifiers  With Linearizing Diodes and Buffers | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 533-9656 |



Figura . Circuito integrado LM13700.



Figura . Circuito integrado CA3080.

## componente: ca3084

El CA3084 es un circuito integrado manufacturado por *American Microsemiconductor, Inc., Intersil etc* y que contiene una serie de transistores de pequeña señal de propósito general en varias configuraciones, hoy día su producción está descontinuada.

Dos de estos transistores son dos *PNP Matched Transistors* y son utilizados en el Formant en diversos módulos

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **XX** | | | | |
| **COMPONENTE OBSOLETO** | **REEMPLAZO** | **FABRICANTE(s)** | **DESCRIPCIÓN** | **SUMINISTRADOR** |
| CA3084 | BCM856DS | Nexperia | matched double transistors | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 792-0847 |

## componente: µA726

El circuito integrado µA726 es sin duda el componente más singular del Formant, se trata de un par de transistores NPN pareados con compensación térmica en el encapsulado (*Temperature-controller differential par*), fabricado por *Fairchild Semiconductor,* hoy día su producción está descontinuada.

En efecto, este circuito integrado incluye una compensación de temperatura que mantiene constante la temperatura del componente lo que asegura la linealidad y estabilidad de la respuesta de los transistores lo que se traduce en una baja deriva de tensión debido a temperatura.

En el Formant, se utiliza en los VCOs como fuente de corriente constante.

Para su sustitución se ha optado por un par de transistores pareados de *Analog Devices*, el MAT01GHZ/MAT01AHZ. Este componente es un excelente reemplazo dado que entre otras cosas tienen aún mejores prestaciones en cuanto a deriva térmica que el original µA726 (la versión MAT01AHZ), se trata de un componente realizado con tecnología actual, si bien es necesario recalcar que su precio es alto (a fecha de redacción de este escrito y disponible en RS Amidata su precio ronda los 15€ para el MAT01GHZ y los 20€ para el MAT01AHZ).

Dependiendo del presupuesto manejado podremos optar por una u otra versión.

Seguidamente se muestra una comparativa del parámetro de deriva térmica de estos componentes con respecto al µA276.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Average Offset Voltage Drift | | | | |
|  | | Min | Typ | Max | Units |
| **MAT01GHZ** | |  | 0.35 | 1.8 | μV/°C |
| **MAT01AHZ** | |  | 0.15 | 0.5 | μV/°C |
| **µA726** | |  | 0.2 | 1 | μV/°C |

La deriva de tensión a largo plazo es, en ambos modelos superior a la del µA726

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Long-Term Voltage Drift | | | | |
|  | | Min | Typ | Max | Units |
| **MAT01GHZ** | |  | 2.0 |  | μV/Mes |
| **MAT01AHZ** | |  | 2.0 |  | μV/Mes |
| **µA726** | |  | 5.0 |  | μV/Semana |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Par de transistores emparejados** | | | | |
| **COMPONENTE OBSOLETO** | **REEMPLAZO** | **FABRICANTE(s)** | **DESCRIPCIÓN** | **SUMINISTRADOR** |
| µA726 | MAT01GHZ | Analog Devices |  | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 709-8512 |
|  | MAT01AHZ | Analog Devices |  | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 709-8518 |



Figura . Circuito integrado MAT01GHZ/ MAT01AHZ.



Figura . Circuito integrado µA726.

## componente: BF245

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **JFET N Transistor** | | | | |
| **COMPONENTE OBSOLETO** | **REEMPLAZO** | **FABRICANTE(s)** | **DESCRIPCIÓN** | **SUMINISTRADOR** |
| BF245A,B,C | BF545A,B,C | NXP/Philips | Transistor JFET, canal N  **Montaje superficial** | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 626-2327 |

## componente: uA723

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **JFET N Transistor** | | | | |
| **COMPONENTE OBSOLETO** | **REEMPLAZO** | **FABRICANTE(s)** | **DESCRIPCIÓN** | **SUMINISTRADOR** |
| uA723 | LM723 | STMicroelectronics  Ref. LM723CN | Regulador de tensión | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 714-0837 |

## componente: 7413

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Puerta Lógica NAND 4 entradas Schmitt Trigger** | | | | |
| **COMPONENTE OBSOLETO** | **REEMPLAZO** | **FABRICANTE(s)** | **DESCRIPCIÓN** | **SUMINISTRADOR** |
| 7413 | 74HCT132 | NXP/Philips | Puerta NAND de cuatro entradas schimtt trigger.  Se sustituye por uno C.I. de cuatro puertas NAND de dos entradas Schmitt trigger | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 663-0483 |

## otros componentes

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Componentes y Elementos** | | | |
| **COMPONENTE** | **FABRICANTE(s)** | **DESCRIPCIÓN** | **SUMINISTRADOR** |
| Back Plane 21 slots | Vero  Ref. 222-63630  http://www.verotl.com/en/product/222-63630-96-96-way-version-21-slots-pcb-only | Panel trasero de 21 slots para conectar tarjetas de PCB. | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 110-2523 |
| Back Plane 10 slots | Vero  Ref. 222-63631  http://www.verotl.com/en/product/222-63631-96-96-way-version-10---pcb-only | Panel trasero de 10 slots para conectar tarjetas de PCB. | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 110-2539 |
| RACK 3U | Rittal  Ref. 3684.036  http://www.rittal.com/es-es/content/es/start/ | Chasis de montaje en rack Rittal 3684.036, 3U x 84hp x 245mm, Aluminio Ripac VARIO | RS Amidata  www.rsonline.es  Código RS: 186-804 |
| RACK 6U | Rittal  Ref. 3684.045  http://www.rittal.com/es-es/content/es/start/ | Chasis de montaje en rack Rittal 3684.045, 6U x 84hp x 245mm, Aluminio Ripac VARIO | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 187-059 |
| Guías tarjetas C.I. | Schroff  Ref. 24560-361 | Guías para las tarjetas de C.I en los Racks | RS Amidata  www.rsonline.es  Código RS: 487-729 |
| Tarjeta de montaje wrapping EUROCARD | Roth Elektronik  Ref. RE320-LF | Placa de matriz RE320-LF, cara única, DIN 41612 C, FR4, orificios: 37 x 53, diámetro 1mm, paso 2.54 x 2.54mm | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 527-9324 |
| Conector DIN 41612 64 contactos macho acodado, soldar | RS Amidata | Conector DIN 41612 RS Pro, 2.54mm, 64 contactos, 2 filas, Ángulo de 90°, Macho, Clase C1, tipo C, Soldador | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 508-3088 |
| Conector DIN 41612 64 contactos hembra recto, soldar | RS Amidata | Conector DIN 41612 RS Pro, 2.54mm, 64 contactos, 2 filas, Recto, Hembra, Clase C1, tipo C, Soldador | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 508-3101 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Interruptor cuádruple analógico con baja resistencia ON** | | | |
| **COMPONENTE** | **FABRICANTE(s)** | **DESCRIPCIÓN** | **SUMINISTRADOR** |
| ADG1411 | Analog Devices | iCMOS, Quad SPST Switches.  Cuádruple interruptor SPST con Resistencia interna ON de 1.5 Ω y alimentación simétrica de ±15V/+12V/±5 V. | RS Amidata  [www.rsonline.es](http://www.rsonline.es)  Código RS: 709-7629 |
|  |  |  |  |

## notas

https://www.allaboutcircuits.com/projects/diy-synth-series-vco/

1 voltio/Octava

Conversor MIDI/VOctava

https://www.midi-hardware.com/index.php?section=prod\_info&product=MINICV

### Synthesizer Type and Music Theory

The synthesizer that we will be designing was extremely common back in the day. It's known as a 1V/Octave synthesizer. This means that for every 1V increase on the input, the output frequency will go up by one octave (i.e., by a factor of 2).

Now for this module to work correctly, it needs an exponential converter on the input. This converter will take a linear voltage in and produce an exponential voltage which is fed into the VCO. Why do we need an exponential converter? The answer is in the nature of human hearing and music theory!

If you take a piano and play the middle A note (A4), it makes a specific tone which has a frequency of 440Hz. If you now play the A note to the right of this one (12 notes up, A5) the note sounds the same except higher pitch and has a frequency of 880Hz. (The lower note is a harmonic of the upper note which is why they sound OK when played together). Now, if you play the next A note to the right (A6), the note sounds higher pitched than the previous A note; it has a frequency of 1760Hz.

Any two same notes that are separated by 12 keys is called an octave. For any two keys that are an octave apart, the upper key will have a frequency twice that of the first. The reason for this is because by nature human hearing is logarithmic. This means that for something to sound twice as loud, its amplitude (or frequency in the pitch realm) needs to go up by a factor of two.

If, for example, we increase the frequency of a waveform from 1Hz to 2Hz, that would be considered an octave apart according to the human ear. But increasing a waveform frequency from 440Hz to 441Hz does not result in an octave change. In fact, the human ear would not be able to distinguish between these two frequencies because the human ear is good at relative changes as opposed to absolute changes.

So with all that complicated theory out of the way, we need to find a method to take in a linear voltage source (1V Octave Keyboard) and convert it into a voltage source that produces exponential voltages. To do this we will use a component that has inherent exponential qualities, the bipolar junction transistor or BJT.

El sintetizador que estaremos diseñando fue muy común en el día. Es conocido como un sintetizador 1V / Octava. Esto significa que para cada aumento de 1V en la entrada, la frecuencia de salida aumentará en una octava (es decir, en un factor de 2).

Ahora para que este módulo funcione correctamente, necesita un convertidor exponencial en la entrada. Este convertidor tomará un voltaje lineal y producirá una tensión exponencial que se alimenta al VCO. ¿Por qué necesitamos un convertidor exponencial? La respuesta está en la naturaleza del oído humano y la teoría de la música!

Si toma un piano y toca la nota A (A4), hace un tono específico que tiene una frecuencia de 440Hz. Si ahora toca la nota A a la derecha de ésta (12 notas arriba, A5) la nota suena igual, excepto un tono más alto y tiene una frecuencia de 880Hz. (La nota inferior es un armónico de la nota superior, por lo que suenan bien cuando se tocan juntos). Ahora, si toca la siguiente nota A a la derecha (A6), la nota suena más alta que la nota A anterior; Tiene una frecuencia de 1760Hz.

Las dos mismas notas que están separadas por 12 teclas se llaman una octava. Para cualquier dos teclas que estén separadas una octava, la tecla superior tendrá una frecuencia dos veces mayor que la primera. La razón de esto es porque por naturaleza el oído humano es logarítmico. Esto significa que para que algo suene dos veces más fuerte, su amplitud (o frecuencia en el dominio de tono) necesita subir un factor de dos.

Si, por ejemplo, aumentamos la frecuencia de una forma de onda de 1 Hz a 2 Hz, sería considerada una octava separada de acuerdo con el oído humano. Sin embargo, el aumento de una frecuencia de onda de 440Hz a 441Hz no da lugar a un cambio de octava. De hecho, el oído humano no sería capaz de distinguir entre estas dos frecuencias porque el oído humano es bueno en cambios relativos en oposición a cambios absolutos.

Así que con toda esa complicada teoría fuera del camino, necesitamos encontrar un método para tomar en una fuente de voltaje lineal (1V Octave Keyboard) y convertirlo en una fuente de voltaje que produce tensiones exponenciales. Para ello utilizaremos un componente que tiene cualidades exponenciales inherentes, el transistor de unión bipolar o BJT.

Con el fin de poder dotar al Formant de una mayor capacidad de control y versatilidad, se ha optado por sustituir el teclado clásico del Formant original por un moderno teclado MIDI adaptándolo a la estructura de funcionamiento del Formant, este hecho sin embargo plantea diversos problemas técnicos. El Formant es un sintetizador de tecnología “*1V / Octava*”, esto significa que para cada aumento de 1V en la entrada, la frecuencia de salida aumentará en una octava (es decir, en un factor de 2).



Cada octava tiene 12 semitonos por lo que obtenemos 1V/12 = 83,3mV por semitono, en el diseño original del Formant esta tensión se conseguía mediante un divisor de tensión por el que circula una corriente constante (ver figura 3, en el capítulo 2 de la documentación original), de esta forma además se consigue que en caso de pulsar dos o más teclas simultáneamente bien accidentalmente o intencionadamente, solo se obtenga la nota de la tecla más grave, obteniendo así la característica de teclado monofónico del Formant.

Para obtener la tensión de 83,3mV partiendo de la información que envía el teclado MIDI es preciso añadir un “conversor” de MIDI/voltios, la tensión obtenida desde este conversor será la que alimente a su vez el circuito de control exponencial del Formant que genera la tensión de control de los VCOs.

El elemento principal de este circuito es un conversor D/A de ocho bits, controlado desde un sistema microprocesador que a su vez recibe la comunicación MIDI desde el teclado.

El microprocesador recibe la información de la tecla o teclas pulsadas, determina la tecla válida en caso de haber pulsado más de una y genera utilizando del conversor D/A la tensión correspondiente a dicha tecla (será un múltiplo de 83,3mV) dicha tensión se aplicará a la entrada del convertidor exponencial del Formant como si se hubiera obtenido desde el divisor de tensión original del teclado del Formant (señal KBV).

De cara al diseño de la parte del conversor D/A es necesario hacer las siguientes consideraciones:

Se utilizará un chip D/A comercial, en este caso el DAC0800, se trata de un conversor de 8 bits muy común suministrado por diversos fabricantes.

Dado que la tensión a obtener para cada tecla pulsada será de 83,3mV (imprescindible para respetar la característica “*1V / Octava*”) y como quiera que el conversor D/A es de 8 bits, obtendremos que la tensión de referencia que necesita este conversor D/A para generar estos niveles sería de:

83,3mV x 256(\*) = 21,324 voltios

(\*) 28 = 256 niveles para un conversor de 8 bits.

Esta tensión de referencia está muy por encima de la tensión máxima que soporta el conversor D/A, por lo que es preciso obtener una tensión de referencia más baja y que no obstante permita seguir obteniendo los 83,3mV de tecla, para ello se utilizará la siguiente técnica:

* Dividir la tensión a obtener por 2:

83,3mv/2 = 41,65mV

* Calculo de la tensión de referencia del D/A para esta nueva tensión por paso:

41,65mV x 256(\*) = 10,664 voltios

Esta tensión de referencia si es admisible para el conversor D/A (el conversor se alimenta con las tensiones de ±15voltios de la alimentación general del Formant), ahora para obtener los 83,3mV por nota deberemos usar múltiplos de 2 en el conversor D/A, así por ejemplo para las primeras 5 teclas obtendremos,

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nota** | **Tecla** | **1V/Octava V (mV)** | **Dato en entrada de Conversor D/A** |
| C0 | 1 | 83,3 | -- |
| C#0 | 2 | 166,7 | -- |
| D0 | 3 | 250,0 | -- |
| D#0 | 4 | 333,3 | -- |
| E0 | 5 | 416,7 | -- |

Con este sistema podremos abarcar un teclado de 128 teclas, lo que equivale a aproximadamente 10 octavas.

### The Exponential Converter

La tensión que se obtiene

Así que necesitamos un circuito para tomar en un voltaje lineal del teclado / controladores y producir un voltaje exponencial que duplica en valor para cada octava.

Puesto que nuestro VCO está funcionando en un solo carril de la fuente 5V, la salida del convertidor necesita estar entre 0V y 5V. Con un rango de entrada de 5V, que da la posibilidad de un teclado de 5 octavas con un total de 60 teclas.

La siguiente tabla muestra el voltaje de entrada del teclado y la tensión de salida requerida desde el convertidor.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nota** | **Tecla** | **1V/Octava V (V)** | **Expo Output (V)** | **Frecuencia** |
| C0 | 1 | 0.0833 | 0.1655 | 65.4078 |
| C#0 | 2 | 0.1667 | 0.1754 | 69.2971 |
| D0 | 3 | 0.2500 | 0.1858 | 73.4177 |
| D#0 | 4 | 0.3333 | 0.1969 | 77.7834 |
| E0 | 5 | 0.4167 | 0.2086 | 82.4086 |
| F0 | 6 | 0.5000 | 0.2210 | 87.3089 |
| F#0 | 7 | 0.5833 | 0.2341 | 92.5005 |
| G0 | 8 | 0.6667 | 0.2480 | 98.0009 |
| G#0 | 9 | 0.7500 | 0.2628 | 103.8284 |
| A0 | 10 | 0.8333 | 0.2784 | 110.0023 |
| A#0 | 11 | 0.9167 | 0.2950 | 116.5434 |
| B0 | 12 | 1.0000 | 0.3125 | 123.4734 |
| C1 | 13 | 1.0833 | 0.3311 | 130.8155 |
| C#1 | 14 | 1.1667 | 0.3508 | 138.5942 |
| D1 | 15 | 1.2500 | 0.3716 | 146.8355 |
| D#1 | 16 | 1.3333 | 0.3937 | 155.5668 |
| E1 | 17 | 1.4167 | 0.4171 | 164.8172 |
| F1 | 18 | 1.5000 | 0.4419 | 174.6178 |
| F#1 | 19 | 1.5833 | 0.4682 | 185.0011 |
| G1 | 20 | 1.6667 | 0.4961 | 196.0018 |
| G#1 | 21 | 1.7500 | 0.5256 | 207.6567 |
| A1 | 22 | 1.8333 | 0.5568 | 220.0046 |
| A#1 | 23 | 1.9167 | 0.5899 | 233.0868 |
| B1 | 24 | 2.0000 | 0.6250 | 246.9468 |
| C2 | 25 | 2.0833 | 0.6622 | 261.6311 |
| C#2 | 26 | 2.1667 | 0.7015 | 277.1885 |
| D2 | 27 | 2.2500 | 0.7433 | 293.6709 |
| D#2 | 28 | 2.3333 | 0.7875 | 311.1335 |
| E2 | 29 | 2.4167 | 0.8343 | 329.6345 |
| F2 | 30 | 2.5000 | 0.8839 | 349.2356 |
| F#2 | 31 | 2.5833 | 0.9364 | 370.0022 |
| G2 | 32 | 2.6667 | 0.9921 | 392.0037 |
| G#2 | 33 | 2.7500 | 1.0511 | 415.3134 |
| A2 | 34 | 2.8333 | 1.1136 | 440.0092 |
| A#2 | 35 | 2.9167 | 1.1798 | 466.1736 |
| B2 | 36 | 3.0000 | 1.2500 | 493.8937 |
| C3 | 37 | 3.0833 | 1.3243 | 523.2621 |
| C#3 | 38 | 3.1667 | 1.4031 | 554.3769 |
| D3 | 39 | 3.2500 | 1.4865 | 587.3419 |
| D#3 | 40 | 3.3333 | 1.5749 | 622.2670 |
| E3 | 41 | 3.4167 | 1.6685 | 659.2690 |
| F3 | 42 | 3.5000 | 1.7678 | 698.4711 |
| F#3 | 43 | 3.5833 | 1.8729 | 740.0044 |
| G3 | 44 | 3.6667 | 1.9843 | 784.0073 |
| G#3 | 45 | 3.7500 | 2.1022 | 830.6268 |
| A3 | 46 | 3.8333 | 2.2272 | 880.0185 |
| A#3 | 47 | 3.9167 | 2.3597 | 932.3471 |
| B3 | 48 | 4.0000 | 2.5000 | 987.7874 |
| C4 | 49 | 4.0833 | 2.6487 | 1046.5242 |
| C#4 | 50 | 4.1667 | 2.8062 | 1108.7538 |
| D4 | 51 | 4.2500 | 2.9730 | 1174.6838 |
| D#4 | 52 | 4.3333 | 3.1498 | 1244.5341 |
| E4 | 53 | 4.4167 | 3.3371 | 1318.5379 |
| F4 | 54 | 4.5000 | 3.5355 | 1396.9423 |
| F#4 | 55 | 4.5833 | 3.7458 | 1480.0088 |
| G4 | 56 | 4.6667 | 3.9685 | 1568.0147 |
| G#4 | 57 | 4.7500 | 4.2045 | 1661.2537 |
| A4 | 58 | 4.8333 | 4.4545 | 1760.0370 |
| A#4 | 59 | 4.9167 | 4.7194 | 1864.6942 |
| B4 | 60 | 5.0000 | 5.0000 | 1975.5747 |

The component that will be used for its exponential properties is the BJT. Most will be familiar with the equation that relates the base current to the collector current but this relationship is linear.

The equation that relates the base-emitter voltage to the collector current is exponential:

[https://latex.codecogs.com/gif.latex?I_C&space;=&space;I_S&space;%28e%5E%7B%28%5Cfrac%7BqV_%7Bbe%7D%7D%7BkT%7D%29%7D-1%29](https://www.codecogs.com/eqnedit.php?latex=I_C&space;=&space;I_S&space;(e%5e%7b(\frac%7bqV_%7bbe%7d%7d%7bkT%7d)%7d-1))

Where

* **Ic** - Collector current
* **Is** - Saturation current
* **q** - Electron charge
* **Vbe** - Base-emitter voltage
* **k** - Boltzmann Constant
* **T** - Temperature (in kelvin)

Luckily for us, there are clever people who have already done the hard mathematics ([see here for the math](http://schmitzbits.de/expo_tutorial/index.html)) and the circuit design.

Below is the complete exponential converter that will be used in our VCO engine to convert the input linear voltage into an exponential voltage (where the voltage output doubles for every 1V increase in the input).

Amazon

sourcingmap® 10 PCS hojas A4 Papel de transferencia de tóner por PCB Electronic Prototipo DIY

# índice

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **CN\_21** | **TIPO:** |  |
| **PIN** | **NOMBRE** | **DESCRIPCIÓN** |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |
| 5 |  |  |
| 6 |  |  |

# anexo

## XX

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | |
|  |  |  |  | | |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |