

Gerador de funções

VALTRUDES S. OLIVEIRA e J. SOUSA LOPES

Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 1700 Lisboa

Neste trabalho apresenta-se um gerador de funções, apropriado a fins didácticos, que fornece simultaneamente duas ondas quadradas, uma onda triangular e duas sinusoidais. Estas ondas são síncronas e a sua frequência é ajustável de 5Hz a 50kHz. A amplitude das ondas triangular e sinusoidais é ajustável entre 0 e 10V; a fase de uma das ondas sinusoidais pode variar-se, a frequências vizinhas de 1kHz, entre 10° e 180° relativamente às restantes ondas. As ondas quadradas são de amplitude fixa, variando uma entre níveis simétricos de aproximadamente $\pm 5V$ e a outra entre 0,1 e 4,5V. O nível médio de tensão das ondas sinusoidais pode ajustar-se continuamente entre os extremos em que a onda é sempre positiva ou sempre negativa. A frequência pode ser controlada por tensão exterior, permitindo que o gerador funcione como um gerador de varrimento.

Descrição geral do gerador

O esquema de blocos do gerador está indicado na Fig. 1 e o esquema eléctrico completo na Fig. 2. Em cada um dos blocos indicam-se alguns dos componentes que o constituem para facilitar a sua identificação na Fig. 2.

O bloco «motor» é o gerador de onda triangular; é um circuito oscilador cuja frequência, ajustável através do potenciómetro R2, é controlada por uma tensão. A onda triangular obtém-se fazendo fluir num condensador uma corrente constante (o que provoca uma variação em forma de rampa, da tensão nos terminais do condensador de acordo com a

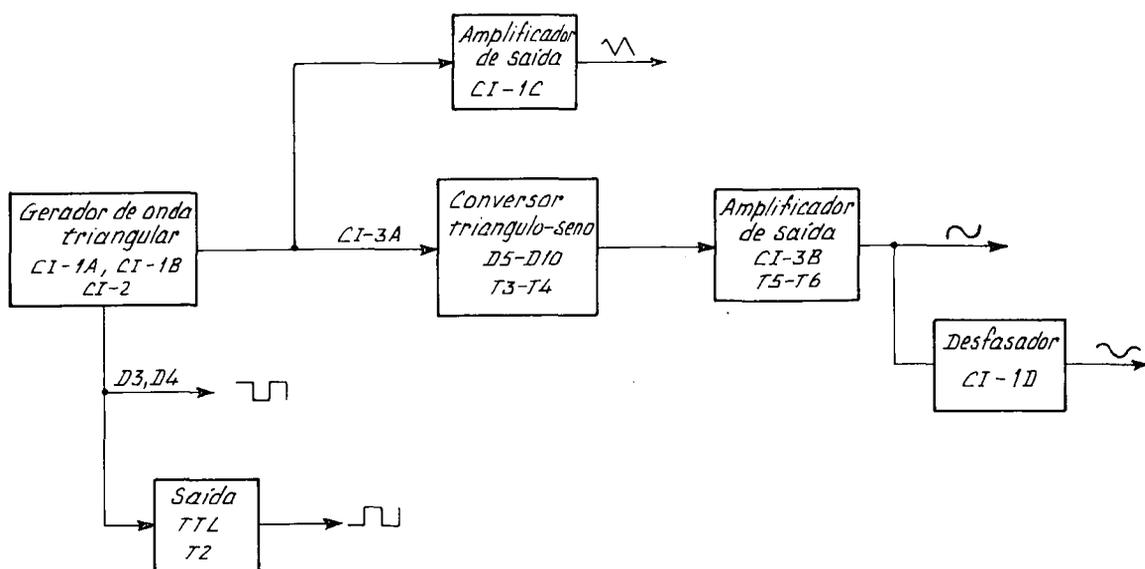
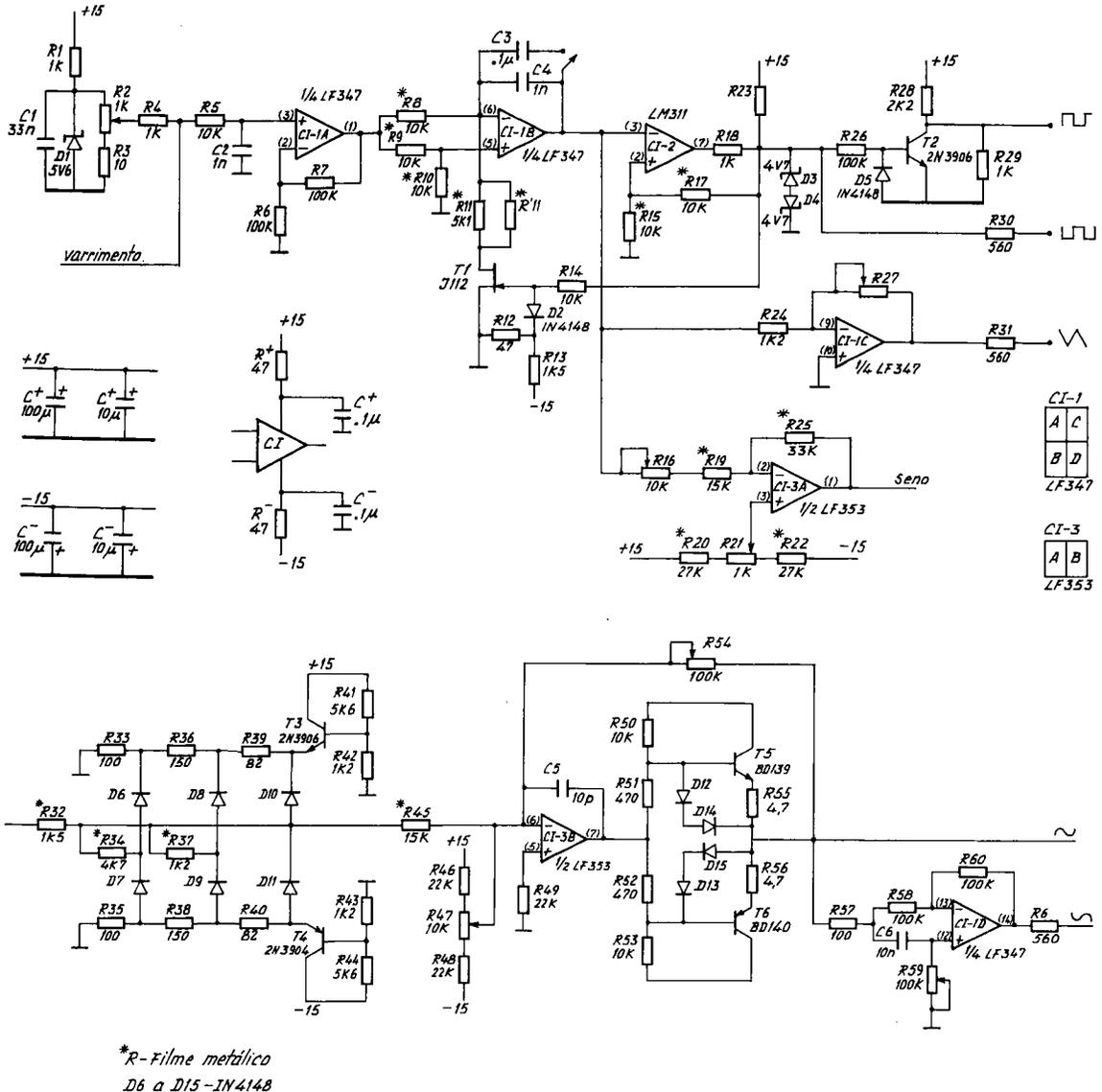


Fig. 1

equação $\Delta v = i\Delta t/c$, e invertendo periodicamente o sentido dessa corrente. A inversão ocorre quando a amplitude da onda iguala um ou outro de dois valores simétricos, $v_{\text{máx}}$ e $v_{\text{mín}} = -v_{\text{máx}}$; o circuito comparador que verifica essa igualdade produz a onda quadrada simétrica e, a partir desta, uma outra variando entre níveis de tensão compatíveis com as normas definidas para os circuitos lógicos integrados TTL. O amplificador de saída da onda triangular permite ajustar a respectiva amplitude entre 0 e 10V através do potenciômetro R27.

O conversor triângulo-seno é um circuito não linear que produz uma atenuação do sinal aplicado à sua entrada; essa atenuação é função da amplitude do sinal, podendo assim arredondar um sinal triangular para uma forma aproximadamente sinusoidal. O andar de saída fornece potência suficiente para se actuar directamente sobre altifalantes ou outros vibradores electromecânicos de baixa impedância; a amplitude e o nível de saída são ajustáveis através dos potenciômetros R54 e R47.

O bloco desfasador recebe a onda da saída anterior e fornece uma outra onda sinusoidal



*R- Filme metálico
D6 a D15 -1N4148

Gerador de funções
Fig. 2

desfasada relativamente à primeira. A diferença de fase ϕ é dada pela expressão $\phi = 2 \operatorname{tg}^{-1} (1/wCR)$ onde $C=C6$ e R é o valor da resistência introduzida pelo potenciômetro R59; como o valor máximo de R é 100k Ω , o desfasamento mínimo é função da frequência. Os valores de $C6$ e R59 são convenientes para trabalhar na vizinhança de 1kHz.

Oscilador triangular

O oscilador triangular é constituído por um circuito integrador, um comparador, um comutador e uma fonte de tensão para controlo da frequência.

Considere-se primeiro o comparador (CI-2). Quando a entrada - tem uma tensão superior à da entrada +, a saída do integrado tem uma tensão próxima da alimentação negativa. No terminal de R18 oposto ao integrado, a tensão é determinada pelos díodos D3 e D4 (cerca de -5V), estando D4 a conduzir como um diodo zener e D3 como um diodo ordinário. Quando a entrada - tem uma tensão inferior à da entrada +, a tensão no ponto comum de R18 e D3 é ainda determinada pelos díodos, comportando-se agora D3 como um zener. A tensão aos terminais da série D3-D4 varia entre valores nominalmente simétricos dado que os díodos têm características nominais idênticas. É esta tensão que depois de atenuada no divisor R15-R17 serve de tensão de referência para os valores v_{\max} e v_{\min} da onda triangular.

A saída do comparador comanda o comutador constituído pelo transistor de efeito de campo T1. Durante a alternância negativa da onda quadrada, o transistor está ao corte; durante a alternância positiva, T1 conduz com uma resistência equivalente de cerca de 50 Ω entre dreno e fonte, efectivamente ligando à massa um dos terminais de R11.

A variação linear da tensão obtém-se fazendo fluir uma corrente constante num condensador (C4 ou o paralelo de C4 e C3), ligado entre a saída e a entrada inversora do amplificador operacional CI-1B. No ponto comum de R8 e R9 é aplicada uma tensão positiva constante, v ; o divisor R9, R10 aplica na

entrada + do operacional a tensão $v/2$. A realimentação através de C4 (ou C4//C3) força o mesmo valor da tensão, $v/2$, na entrada -, e em R8 flui uma corrente com a intensidade de $v/20$ mA dado que $R8=10k\Omega$. Se T1 está cortado, esta corrente flui para C4 (ou C4//C3) e a tensão no terminal do condensador ligado à saída do operacional desce a uma taxa constante. Se T1 conduz, passa nele uma corrente com a intensidade de $v/10$ mA ($R'11$ é escolhida por forma a igualar a 5k Ω o valor da resistência entre o terminal - e a massa). Metade desta corrente é a que atravessa R8; a outra metade é fornecida pelo condensador que assim debita uma corrente com intensidade igual àquela que recebe quando T1 está cortado. A tensão à saída do operacional sobe, a uma taxa constante. Note-se que T1 conduz quando a entrada + do comparador está em v_{\max} ; quando a tensão à saída do operacional atinge v_{\max} o comparador dispara, mudando a tensão na sua entrada + para $v_{\min} = -v_{\max}$ e cortando T1. A tensão à saída do operacional vai então descer até v_{\min} ; instante em que o comparador volta a disparar, repetindo-se o ciclo. A frequência é controlada pela tensão aplicada ao ponto comum de R8 e R9. Esta tensão obtida a partir de uma tensão de referência fornecida pelo zener D1, dividida no potenciômetro R2 é amplificada no operacional CI-1A. A tensão aplicada a este operacional pode também ser obtida a partir de uma fonte exterior utilizando a entrada designada por varrimento. Quando a tensão exterior varia no tempo, a frequência do oscilador segue essa variação; por exemplo, quando essa tensão tem a forma de uma onda quadrada, a frequência do oscilador comuta entre dois valores distintos, um para cada alternância.

Conversor triângulo-seno

Uma senoide pode ser aproximada por uma linha poligonal. Com poucos segmentos por ciclo pode obter-se uma aproximação suficientemente boa para a generalidade das aplicações, desde que a origem e a inclinação dos vários segmentos sejam convenientemente esco-

lhidas. Considere-se uma senoide inscrita numa onda triangular; razões de simetria tornam evidente que os segmentos que aproximam os troços da senoide que atravessam o eixo dos tempos devem coincidir com a onda triangular, e que aqueles que correspondem aos máximos e mínimos da senoide devem ser paralelos a esse eixo.

A primeira destas condições determina a relação entre as amplitudes das ondas sinusoidal e triangular, que se escrevem na forma $A_S = A_{S_{\text{máx}}} \cdot \text{sen} 2\pi t$ e, no intervalo $-1/4 < t < 1/4$, $A_T = A_{T_{\text{máx}}} \cdot 4t$ (tempo em unidades de período de onda). Da igualdade das derivadas nos pontos em que as curvas cruzam o eixo dos tempos, $dA_S/dt = 2\pi A_{S_{\text{máx}}}$ e $dA_T/dt = 4A_{T_{\text{máx}}}$, obtém-se a relação entre as respectivas amplitudes: $A_{S_{\text{máx}}} = (2/\pi) A_{T_{\text{máx}}}$.

Se além do segmento que cruza o eixo dos tempos se usarem «n» outros segmentos para aproximar a onda sinusoidal no intervalo de 0 a $\pi/2$ do seu argumento (dada a simetria da onda basta referir este intervalo) pode mostrar-se que a escolha que minimiza a distorção é aquela em que esses segmentos têm origem nos pontos de amplitude A_{SK} correspondentes aos valores $2K/(2n+1) \cdot \pi/2$ do argumento do seno ($1 \leq K \leq n$), e têm inclinação C_K igual à da tangente à senoide no ponto médio do troço de curva que aproximam, $C_K = 4A_{T_{\text{máx}}} \cos [2K + 1/(2n+1) \cdot \pi/2]$. Com $n=3$, como no circuito da fig. 2, obtém-se o seguinte quadro de valores para $A_{T_{\text{máx}}} = 2,5V$ ($C_0 = 10V/\text{período}$, inclinação da onda triangular):

K	A_{SK}	C_k	C_K/C_0
1	0,691	7,820	0,782
2	1,244	4,340	0,434
3	1,552	0	

A razão C_K/C_0 dá o valor da atenuação a impor à onda triangular no intervalo de amplitude correspondente aos valores k e $k+1$. Esta atenuação pode obter-se com um divisor resistivo em série com um díodo ligado a uma tensão $A_{SK} - 0,5V$ admitindo que o díodo começa a conduzir significativamente apenas

quando a tensão ânodo-cátodo excede 0,5V. No circuito da fig. 2 os díodos D6, D8, D10 estão associados à atenuação da alternância positiva, D7, D9, D11 à negativa; o valor da atenuação é determinado por $R/(R+R')$ com $R=R32//R45$ como se indica adiante e $R'=R34$ para C_1/C_0 e $R'=R34//R37$ para C_2/C_0 . As tensões $A_{SK} - 0,5V$ são fornecidas a partir de T3 e T4 com impedâncias que se podem desprezar face aos valores de R e R' .

A onda triangular é fornecida ao conversor pelo operacional CI-3A através de F32; o terminal de R45 oposto a R32 está ligado a um ponto que, por força da realimentação aplicada ao amplificador CI-3B, constitui uma massa virtual. Assim a onda triangular é vista por R34 e R37 sob uma impedância de $R=R32//R45$. Os potenciômetros R16 e R21 ajustam a amplitude e o nível médio da onda triangular por forma a minimizar a distorção da sinusoidal. Refira-se ainda que o facto de os díodos reais entrarem em condução de uma forma não brusca também contribui para minimizar a distorção.

Construção do circuito

O circuito foi construído sobre uma placa de circuito impresso com as dimensões de 14×10 cm. Os cinco potenciômetros de controlo contínuo (frequência, fase, amplitude triangular, amplitude sinusoidal e nível sinusoidal) e o comutador de controlo de frequência estão montados directamente sobre a placa impressa, bem como as fichas de saída e de entrada (varrimento). O circuito foi projectado para ser utilizado nesta forma, o que do ponto de vista didáctico tem a vantagem de expor o circuito e, além disso, permitir observar os sinais em pontos interiores quando se pretende fazer um estudo pormenorizado do instrumento.

A placa impressa e os componentes para a montagem do circuito (ou o gerador já montado), juntamente com instruções apropriadas, poderão ser fornecidas pelo Departamento de Física, FCUL.