

Voltímetro Gráfico



Os voltímetros mais comuns encontrados no mercado fazem a leitura da tensão instantânea, porém não memorizam as leituras anteriores por um tempo determinado. Já os equipamentos que apresentam este recurso são os voltímetros digitais com memória e os registradores gráficos, e por este motivo são caros.

Este projeto tem o objetivo de desenvolver um registrador gráfico de baixo custo para tensões analógicas estáveis, ou que apresentem variações lentas em sua amplitude. Vários parâmetros físicos como temperatura, pressão, luminosidade, etc... podem ser monitorados com este sistema

Túlio Cunha

A aplicação aqui exposta é a construção de um equipamento (hardware e software) que monitora, em uma tela gráfica, as variações de tensão que ocorrem em uma bateria de 12 volts durante o processo de carga ou descarga da mesma.

Este registrador se tornou viável graças a uma calculadora científica, gráfica (tela ampla para apresentação de gráficos) e programável (HP48G, GX e G+). Esta máquina é relativamente bem utilizada no nosso meio acadêmico, sendo em algumas universidades uma ferramenta obrigatória para os alunos de tecnologia. A HP48G, além de calculadora, é um computador portátil dedicado, cujo controle é feito por um chip microprocessador SATURN, que apresenta uma capacidade de processamento semelhante à dos primeiros microprocessadores PENTIUM.

Além disso, esta máquina disponibiliza duas saídas (uma ótica por infravermelho e outra física ou *wire*) para comunicação com outro equipamento externo para uma troca de dados. Estas saídas são chamadas de seriais e usam um complicado protocolo para a comunicação com outros equipamentos. Neste projeto não

empregamos nenhum desses protocolos. A entrada de dados é feita de uma forma não convencional através do conector físico ou *wire* de entrada/saída (I/O). A conexão é feita por cabo.

A HP48 usa em sua programação uma linguagem própria denominada linguagem do usuário (USER RPL).

Para que o sinal analógico de tensão proveniente de um circuito externo seja transferido para dentro da calculadora, e apresentado na tela, é preciso um outro circuito eletrônico chamado de interface de entrada, ou conversor analógico para digital (conversor A/D). Este conversor A/D é conectado à HP48 por meio do cabo serial.

A ligação entre a HP48GX e o conversor A/D foi feita com um cabo não convencional. Este cabo (de três vias) foi retirado de uma placa de som de computadores mais antigos. Pode ser usado o cabo serial convencional que é facilmente encontrado no mercado.

Princípio de funcionamento do Conversor A/D

Quando a HP48 realiza uma comunicação através da porta serial, o consumo da máquina aumenta muito, o que pode



levar ao desgaste das baterias, se este processo for demorado.

Para controlar este consumo de energia elétrica a HP48 possui em sua linguagem de programação, comandos para ligar (OPENIO) e desligar (CLOSEIO), o canal serial de entrada (Input) e saída (Output) de dados. Estes comandos alteram os níveis de tensão nos pinos de saída da porta serial (figura 1).

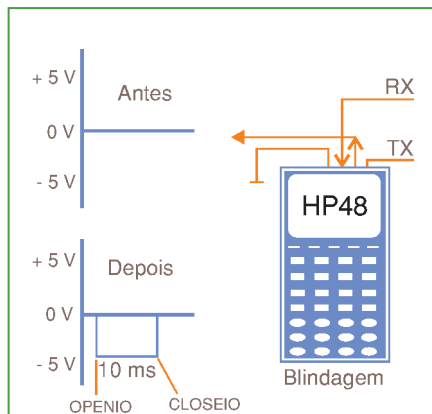
O conector de saída da porta serial da HP48 dispõe de quatro pinos. Um deles é para a ligação da blindagem do cabo quando o mesmo for longo e estiver em ambiente que apresente ruídos elétricos. Se o cabo for curto, não há necessidade desta ligação. Dos outros três pinos, um é o terra ou referência de tensão, o outro é TX ou pino que envia dados e, por último, o pino RX que recebe dados de outro equipamento.

O cabo serial que conecta a HP48 ao conversor A/D tem um conector DB9 no lado do conversor. Para identificar os pinos TX, RX e GND veja o desenho. (Fig. 2)

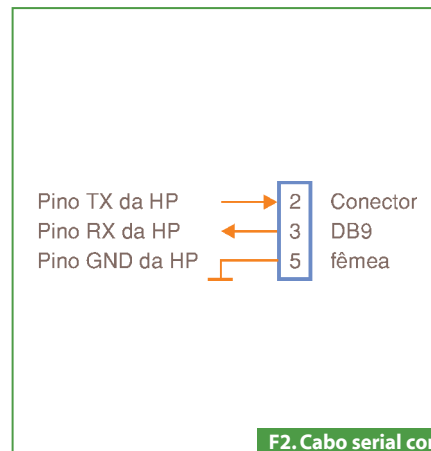
Se utilizarmos um voltímetro ou osciloscópio para monitorar o pino TX em relação ao terra durante a execução dos comandos OPENIO e CLOSEIO, observaremos os seguintes níveis de tensão: 0 volts com canal serial desligado e -5 volts após ligar o canal serial com o comando OPENIO. Em seguida, se executarmos o comando CLOSEIO, a tensão no pino TX em relação ao terra voltará para 0 volts. Esta sequência gera um pulso negativo de -5 volts. Este pulso é aplicado à entrada do conversor A/D para iniciar o processo de conversão do sinal analógico. Se fizéssemos um programa com estes dois comandos, ele teria a seguinte sintaxe:

<< OPENIO CLOSEIO >> Este programa que pode ser armazenado com o nome de *Pulse* produz um pulso negativo de -5 volts e 10 milissegundos de largura em TX.

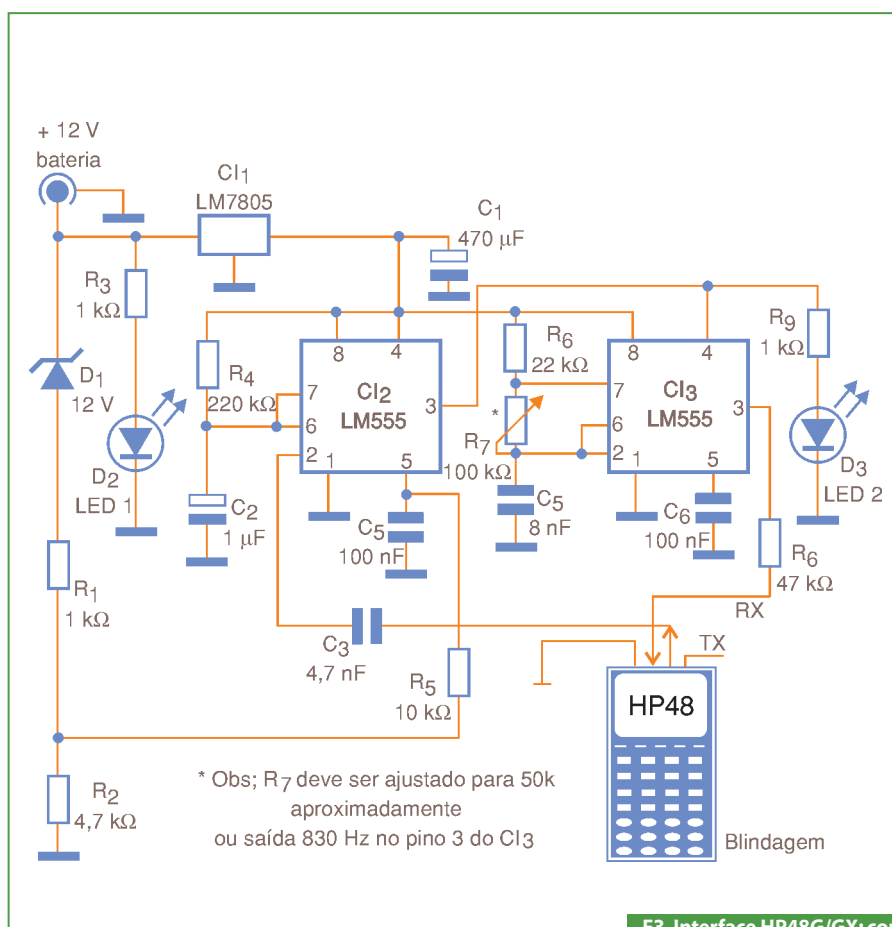
Por outro lado, o comportamento do pino RX de entrada de dados é tal que se for aplicado ao mesmo uma onda quadrada variando entre 0 e +5 volts e uma frequência de aproximadamente 830 hertz, a calculadora HP48 entenderá que está recebendo uma sequência de caracteres e os armazenará em um *buffer* de 255 bytes.



F1. Níveis tensão no pino TX da HP48 antes e depois dos comandos OPENIO e CLOSEIO.



F2. Cabo serial convencional da HP48.



* Obs; R7 deve ser ajustado para 50k aproximadamente ou saída 830 Hz no pino 3 do CI3

F3. Interface HP48G/GX: conversor Analógico-Digital.

A instrução ou comando chamado BUFLen informa sobre o total de caracteres que foram transferidos durante um certo tempo. A calculadora deve ter seus parâmetros de I/O ajustados para a saída wire e velocidade de 9600 bauds. Neste sistema, o buffer da HP48 pode armazenar 255 caracteres em aproximadamente 300 milissegundos. Com tempos menores

(150 milissegundos) o número de caracteres contados pela instrução BUFLen será de 50 aproximadamente.

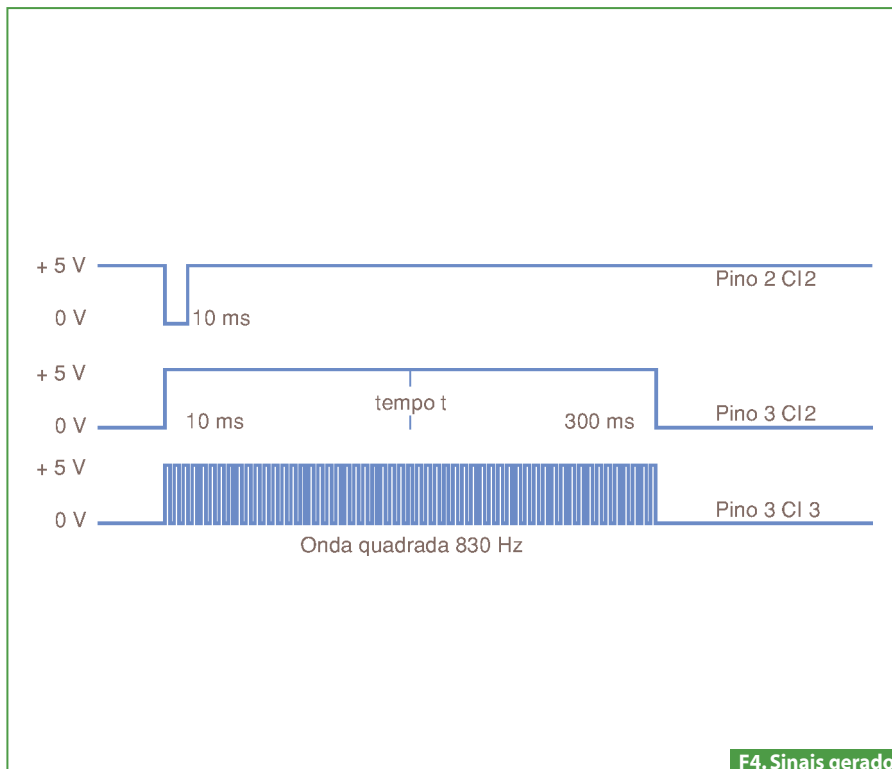
Então, o número de caracteres transmitidos para o buffer da calculadora depende do tempo que a onda quadrada de 830 Hz for aplicada ao pino RX. Quando o sinal analógico de entrada for 0 volts, teremos 50 caracteres no buffer, e quan-



do a entrada for mais ou menos 3 volts, teremos 255 caracteres.

Isto sugere que um possível circuito para o conversor A/D deve constar de um oscilador astável ajustado para 830 Hz e habilitado por um circuito monoestável, cujo período de temporização pode ser controlado por uma tensão analógica aplicada ao pino de controle (pino 5) do circuito integrado utilizado (LM555). Veja **figura 3**.

Esta interface pode ser ajustada para quando a tensão analógica de entrada for 0 volts e o número de caracteres recebidos no buffer seja pequeno (não necessariamente o número 50). Quando a tensão analógica de entrada for próxima a +3 volts, o número de caracteres recebidos no buffer será próximo a 255. Estes números serão processados e transformados em coordenadas (y) da tela gráfica. A coordenada (x) será o tempo que neste projeto é de um *pixel* horizontal para cada segundo. O conversor faz uma leitura por segundo. O intervalo de tempo entre uma leitura e outra pode ser alterado no programa.



F4. Sinais gerados no circuito.

BOX1 : Listagem do Programas

<pre> %%HP: T(1)A(R)F(,);DIR BAH2 « CLEAR ERASE EIX10 -3.9 6.5 FOR I 1 .2 WAIT ADC1 150 - 10 espera 0,2 segundos e faz uma leitura ADC1. / 7.7 - R C I -2.2 R C TLINE { # 0d # 0d } PVIEW 7 FREEZE .1 STEP 7 FREEZE » EIX10 « -5 -5 FOR J J -2.2 R C J 3.2 R C TLINE J .5 + -2.2 R C R C PIXON { # 0d # 0d } PVIEW 1 STEP -2.2 3.2 FOR K -5 K R C -4.5 K R C TLINE -4.5 K .5 + R C R C PIXON { # 0d # 0d } PVIEW 1 STEP -6.5 3.1 R C -6.5 -3.1 R C TLINE -6.5 -3.1 R C 6.5 -3.1 R C TLINE "14 " 1 GROB PICT SWAP { # 2d # 2d } SWAP GXOR "13 " 1 GROB PICT SWAP { # 2d # 22d } SWAP GXOR "12 " 1 GROB </pre>	<pre> Nome do programa Clear limpa o stack e Erase limpa a tela. Eix10 desenha sistema de coordenadas. Inicia Loop com 25 leituras do conversor. 2 segundos e faz uma leitura ADC1. Deste valor diminui 150, divide por 10, subtrai 7.7, transforma de REAL para Complexo desenha uma linha vertical e mostra na tela congela a imagem. Nome do programa Inicia Loop que desenha eixo vertical converte coordenadas de Real para Complexo Pixon plota um pixel nesta coordenada Pview mostra a tela gráfica Inicia Loop que desenha eixo horizontal converte coordenadas de Real para Complexo Pixon plota um pixel nesta coordenada Pview mostra a tela gráfica Transforma em objetos gráficos os caracteres alfanuméricos para colocar na tela usando GXOR para dar contraste sobre o que já está </pre>	<pre> PICT SWAP { # 2d # 42d } SWAP GXOR " 1 min _ Div BaTHolter " 1 GROB PICT SWAP { # 2d # 57d } SWAP GXOR 7 FREEZE -2.3 -2.4 FOR D -5 D R C 6.5 D R C TLINE .1 STEP » PPAR { (-6.5,-3.1) (6.5,3.2) X 0 (0,0) FUNCTION Y } ADC1 « OPENIO BUFLIN CLOSEIO DROP EIX9 « -5 6.5 FOR JJ -2.2 R C J 3.2 R C TLINE J .5 + -2.2 R C PIXON { # 0d # 0d } PVIEW 1 STEP -2.2 3.2 FOR K -5 K R C 6.5 K R C TLINE -4.5 K .5 + R C PIXON { # 0d # 0d } PVIEW 1 STEP -6.5 3.1 R C -6.5 -3.1 R C TLINE -6.5 -3.1 R C 6.5 -3.1 R C TLINE </pre>	<p>Estes dados são gerados pela própria HP48</p> <p>Programa que faz a leitura do conversor Abre a porta serial apagando os dados anteriores, Lê o número de caracteres no buffer e deleta uma informação de erro.</p> <p>Semelhante ao anterior</p>
--	--	---	--



A **figura 4** ilustra as formas de onda nos pinos 3 dos dois CIs (LM555). O circuito monoestável tem um período mínimo (150 ms) e máximo (300 ms) de temporização.

Apresentação dos Dados na Tela da HP48

Os programas de apresentação das leituras de tensão (EIX9 e EIX10) geram um sistema de eixos cartesianos na tela gráfica, onde a amplitude do sinal analógico a ser medido representa apenas uma faixa que varia entre 12 volts e 14 volts, para uma melhor resolução e observação das variações ocorridas durante o processo de carga e descarga da bateria. Isto torna o equipamento um voltímetro gráfico de faixa. Mede apenas tensões entre 12 e 14 V.

O diodo zener (D₁) de 12 volts permite criar esta faixa de leitura entre 12 e 14 V. A tela gráfica está calibrada entre estes dois valores. O circuito do conversor foi montado em placa pequena de 4 cm x

2 cm já perfurada (dessas padronizadas) e embutido em uma caixa PB201. Tem uma chave liga/desliga, um LED vermelho indicador de energia ligada e um LED azul indicador do momento da operação do conversor. A própria bateria a ser monitorada alimenta o circuito. O conversor foi chamado de BATTERY HOLTER numa referência aos sistemas Holters empregados em medicina (cardiologia), que monitoram durante longas horas os sinais de pressão arterial ou os sinais do eletrocardiograma.

O Programa Supervisório

Para uma programação estruturada o programa é montado em módulos (sub-rotinas). Sub-rotina ADC1 é o programa de conversão:

```
<< OPENIO BUFLN CLOSEIO  
DROP>> OpenIO limpa os caracteres ainda presentes no buffer quando da leitura anterior e abre o canal serial por um tempo, que depende do nível do sinal analógico de entrada. A seguir, conta o número de caracteres no buffer, fecha o canal serial e deleta (DROP) um segundo número (erro na comunicação) gerado pela instrução buflen. A sub-rotina EIX9 é o programa que prepara (desenha os eixos) a tela gráfica quadriculada para a plotagem do gráfico. O gráfico é plotado com a parte interior da curva em tom escuro para destacar melhor. A sub-rotina EIX10 é um programa semelhante ao EIX9, apenas não possui a tela quadriculada para deixar a apresentação mais limpa de informações.
```

BAH1 e BAH2 são os programas principais que chamam as sub-rotinas EIX9 e EIX10 respectivamente.

O código-fonte pode ser baixado no endereço www.sabereletronica.com.br

No **box 1** temos o código-fonte com comentários, o que ajudará o leitor a entender e a aprimorar ainda mais o programa.

Utilizando o Registrador

Após a montagem do circuito conversor e os programas serem instalados na calculadora, faça a conexão da calculadora com o conversor, conecte o conversor em uma bateria de 12 volts

ou em uma fonte variável (entre 11,5 V e 14 V). Ligue a calculadora e aperte a tecla de função correspondente ao programa que deseja executar (BAH1 ou BAH2).

Quando o programa terminar de desenhar os eixos cartesianos e iniciar a leitura (LED azul piscando), verifique se os valores plotados correspondem ao valor da tensão da bateria ou fonte. Um pequeno ajuste em R₇ deverá corrigir a escala, se estiver diferente dos valores medidos com um voltímetro convencional. O outro ajuste possível é no programa BAH1 (ou BAH2). Editando estes programas, basta alterar um pouco um dos três valores numéricos que aparecem após o comando ADC1 (150, 10 e 7.7).

É importante lembrar que a calculadora HP48 deve estar com os seus parâmetros de entrada/saída(I/O) ajustados para WIRE, ASCII, 9600, sem PARIDADE,1,1.

Se os programas forem digitados, onde aparece **R C** significa a instrução **Real** para **Complexo**. Deveria surgir uma seta para a direita entre os dois caracteres, mas como o arquivo foi aberto no Word, não apareceu esta seta. Com o *download* dos arquivos-fonte (diretório SCOP) este problema termina.

Sugestões para melhorias no Projeto

A precisão de leitura pode aumentar significativamente se o CI 3 - LM555 (oscilador astável) for substituído por um circuito integrado PLL CMOS CD4046.

Em outras aplicações este conversor pode ser dimensionado para uma leitura com boa linearidade de tensões entre 0 V e 5 V.

A velocidade do conversor pode ser aumentada se a frequência do oscilador astável for aumentada (dobrada, por exemplo). Neste caso, o período do monoestável deve ser diminuído por experimentação.

É possível aproveitar o pulso de saída TX para ligar e desligar o carregador da bateria, controlando com um programa que estabelece a faixa de tensões entre dois níveis desejados. Descubra o limite deste circuito. **E**

```
"14 " 1 GROB PICT  
SWAP { # 2d # 2d }  
SWAP GXOR "13 " 1  
GROB PICT SWAP {  
# 2d # 22d } SWAP  
GXOR "12 " 1 GROB  
PICT SWAP { # 2d  
# 42d } SWAP GXOR  
" 1min _ Div BaTHolter "  
1 GROB PICT SWAP {  
# 2d # 57d } SWAP  
GXOR 7 FREEZE -3  
-2.4  
FOR D -5 D  
R C 6.5 D R C TLINE  
.1  
STEP  
»
```

```
BAH1  
« CLEAR ERASE  
EIX9 -3.9 6.5  
FOR I 1.2  
WAIT ADC1 150 - 10  
/ 7.7 - R C 1 -2.2  
R C TLINE { # 0d  
# 0d } PVIEW 7  
FREEZE .1  
STEP 7 FREEZE  
»  
END
```