SISTEMA PULSO-ECO MICROCONTROLADO PARA GERAÇÃO E MEDIÇÃO DE CAMPOS ULTRA-SÔNICOS

J. M. Maia¹ e E. T. Costa²

RESUMO -- Para uma melhor compreensão e confiabilidade no processamento das informações obtidas pela radiação ultra-sônica, torna-se muito importante o conhecimento dos princípios básicos da sua geração, propagação e interação através dos mais diversos meios. Isto pode ser parcialmente alcançado através da utilização de equipamentos adequados e um amplo conhecimento das suas características de operação. Tendo como objetivo a medição e o estudo de características ultra-sônicas de diferentes materiais no Laboratório de Ultra-som do Centro de Engenharia Biomédica da Unicamp (LUS-CEB), foi desenvolvido um Sistema Pulso-Eco Microcontrolado (SPEM) para geração e recepção de sinais de radiofrequência (RF) na faixa do ultra-som para diagnóstico médico. O hardware do sistema desenvolvido é formado por circuitos de transmissão, recepção, controle e interfaceamento. Os circuitos de interfaceamento e controle têm como base o microcontrolador MC68HC11-A1 da Motorola, "drivers" e circuitos de apoio para implementar a Interface Padrão IEEE-488 (GPIB). O SPEM pode ser operado tanto por controle remoto, via interface GPIB, como por controle local via teclado e chaves no seu painel frontal. Os circuitos de transmissão são capazes de gerar pulsos com largura de 330 ns e amplitude controlada entre 15 V e 200 V ou pulsos de 200 ns, 300 ns, 400 ns, 500 ns, 600 ns e 700 ns com amplitude controlada entre 2 V e 28.4 V. Os circuitos de recepção podem amplificar sinais de RF com frequências entre 20 kHz e 10 MHz em 25 ganhos distribuídos na faixa entre 0.6 V/V e 3730 V/V (-4.4 dB a 71.5 dB). O sistema foi testado utilizando-se um transdutor de 1 MHz, colocado em contato com a face de um cilindro de alumínio, ambos imersos em um tanque com água. Ondas ultra-sônicas foram geradas e recebidas pelo sistema, que apresentou bom desempenho e mostrou-se adequado para realizar pesquisas em laboratório.

Palavras-chave: Pulso-Eco, Microcontrolador, Campos Ultra-Sônicos.

INTRODUÇÃO

Atualmente, várias técnicas baseadas em radiação têm sido utilizadas em medicina, tais como a tomografia por raio-x, tomografia axial computadorizada (TAC), tomografia por emissão de pósitron (TEP), ressonância nuclear magnética (RNM), tomografia ultra-sônica computadorizada (TUC), entre outras (Webb, 1988). A utilização do ultra-som tem crescido continuamente devido ao

¹ Engenheiro, Centro de Engenharia Biomédica, Unicamp (CEB/UNICAMP), Caixa Postal 6040, 13083-970 - Campinas - SP

² Professor, Departamento de Engenharia Biomédica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Unicamp (DEB/FEE/UNICAMP), Caixa Postal 6040, 13083-970 - Campinas - SP E-mails: joaquim@deb.fee.unicamp.br, educosta@deb.fee.unicamp.br

seu baixo custo, à possibilidade de se conseguirem imagens em tempo real e prover informações das propriedades elásticas dos tecidos, ser um método não invasivo e principalmente devido à sua característica de radiação não-ionizante. Tem sido largamente empregado como auxiliar no diagnóstico médico dentro da obstetrícia e ginecologia, oftalmologia, neurologia e cardiologia além de sua utilização como ferramenta comum em procedimentos terapêuticos (Al-Karmi et alii, 1994).

O ultra-som utilizado na área médica para obtenção de imagens e caracterização de tecidos situa-se na faixa de 1 MHz a 20 MHz e tem normalmente baixa intensidade, entre 10 mW/cm² e 1 W/cm², podendo chegar a 10 W/cm² para curtos períodos de exposição, da ordem de milésimos de segundo (McDicken, 1981). Na fisioterapia, são utilizadas freqüências na faixa entre 1 MHz e 3 MHz, com intensidades entre 250 mW/cm² e 3 W/cm² (Wells, 1977). O ultra-som de alta intensidade, na faixa entre 10 W/cm² e 50 W/cm², com freqüências entre 20 kHz e 50 kHz, é utilizado em procedimentos terapêuticos como raspagem, corte, fragmentação e emulsificação, etc. O mecanismo pelo qual o ultra-som é efetivo nestes procedimentos ainda não está totalmente esclarecido (Hadjicostis *et alii*, 1984; Hekkenberg, Reibold e Zeqiri, 1994).

O tipo de análise e processamento a serem efetuados nos sinais enviados e recebidos pelos transdutores dependem das informações requeridas pelo médico, que podem ser a apresentação da imagem de um órgão interno, a atenuação da onda ultra-sônica em um determinado órgão, a estimativa do fluxo sanguíneo ou o deslocamento de determinadas estruturas em relação às suas posições normais (Webster, 1992; Wells, 1977).

A compreensão dos princípios básicos da geração de ondas ultra-sônicas, assim como de sua interação e propagação em diferentes meios é de grande importância para uma maior confiabilidade no processamento das informações obtidas por este tipo de radiação. A precisão com que se procura medir estes parâmetros depende do entendimento dos processos físicos da propagação e espalhamento das ondas ultra-sônicas nos diferentes meios, bem como dos métodos e da instrumentação utilizados para realizar estas medidas, como por exemplo: transdutores, capacidade dos equipamentos em fornecer a informação desejada, o tipo de campo ultra-sônico, etc. (Costa, 1989; Foster e Hunt, 1979).

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de equipar o Laboratório de Ultra-som do Centro de Engenharia Biomédica (LUS-CEB) da Unicamp com um sistema pulso-eco para estudo da geração, propagação e detecção de ondas ultra-sônicas em diferentes materiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O diagrama em blocos do sistema pulso-eco desenvolvido é apresentado na Figura 1. É um equipamento funcionando em Modo A, composto basicamente por uma unidade de geração e transmissão dos pulsos elétricos para excitação do transdutor ultra-sônico, uma unidade de recepção e amplificação de sinais, uma unidade de controle, circuitos de lógica de apoio e controle, uma interface GPIB (padrão IEEE-488) para permitir a comunicação com um microcomputador, um "display" e um teclado para apresentação e entrada dos dados e memórias (RAM e EPROM) para armazenar o "software" de controle. Foram montadas fontes de alimentação separadas e utilizados circuitos de isolação entre os circuitos de controle (parte digital - unidade de controle) e os circuitos analógicos (unidades de transmissão e recepção).

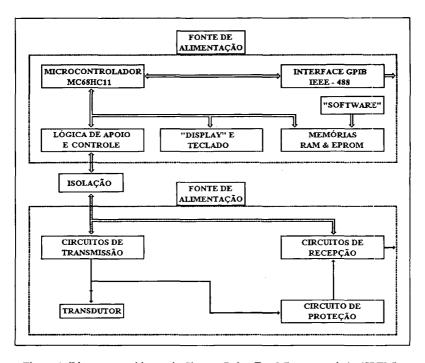


Figura 1. Diagrama em blocos do Sistema Pulso-Eco Microcontrolado (SPEM).

A descrição de cada uma das unidades que compõem o sistema será apresentada a seguir, onde serão discutidos os circuitos das mesmas.

Unidade de controle

A unidade de controle é responsável pelas tarefas de controle dos circuitos de transmissão e de recepção e pelo gerenciamento da entrada e apresentação de dados a nível local por meio de chaves, teclado e "display", ou por computador via interface GPIB. A Figura 2 mostra o diagrama em blocos da unidade de controle do SPEM e a Figura A1 do Apêndice mostra o diagrama esquemático completo do circuito implementado.

Microcontrolador MC68HC11-A1 -- Para ser utilizado na unidade de controle do SPEM, o microcontrolador foi configurado por hardware para operar no modo Expandido Multiplexado (MODA = 1, MODB = 1), de maneira a permitir o endereçamento de memórias e periféricos externos ao mesmo. Conectado ao mesmo está um circuito de "clock" externo de 8 MHz (entradas XTAL e EXTAL) formado pelo cristal Y1, o resistor R3 e os capacitores C1 e C2, um circuito de "reset" externo, formado pela chave "push button" SW1, o diodo D1, o capacitor C4 e os resistores R5 e R6. Ao ser acionado, este circuito coloca a entrada "RESET" em nível lógico 0, provocando a

reinicialização do microcontrolador, bem como dos periféricos conectados ao mesmo. Aos pinos de entrada de tensão de referência do conversor A/D (VRH e VRL), foi conectado um "trimpot" (POT4) para que se possa ajustar a tensão de referência em 5,12 V. As demais entradas e saídas do microcontrolador são as portas de entrada e saída internas (porta A, porta D e porta E), o barramento de dados multiplexado com as oito linhas menos significativas do barramento de endereços (D0/A0 - D7/A7), as oito linhas mais significativas do barramento de endereços (A8 - A15), as linhas de entrada de pedido de interrupções por hardware (XIRQ e IRQ) e as linhas de controle (AS = "Address Strobe", R/W = "Read/Write", E = "clock" do barramento = 1/4 do "clock" externo = 2MHz). Estes sinais serão utilizados em circuitos descritos nas seções subseqüentes.

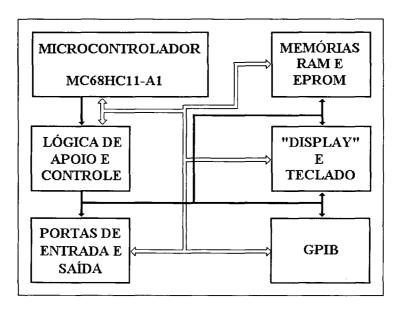


Figura 2. Diagrama em blocos dos circuitos da unidade de controle do SPEM.

Lógica de Apoio e Controle -- Os circuitos de lógica de apoio e controle (ver Figura A1 do Apêndice) incluem dois decodificadores 74LS138 (U5 e U10), duas portas lógicas NAND (U20:A e U20:B), três inversores (U6:A, U6:B e U6:C) e um "latch" 74LS373 (U2) que é utilizado para realizar a demultiplexação entre o barramento de dados (D0 - D7) e as oito linhas menos significativas do barramento de endereços (A0 - A7). A linha de controle AS ("Address Strobe", conectada à entrada de habilitação de U2) sinaliza, em sincronismo com o sinal de "clock" do barramento (E), se os sinais presentes nas linhas PC0 a PC7 são endereços (AS = 1) ou dados (AS = 0). A linha de controle R/W (escrita/leitura) sinaliza se o microcontrolador está escrevendo (R/W = 0) ou lendo (R/W = 1) dados dos periféricos.

A decodificação dos endereços dos periféricos presentes na placa de controle foi feita nos endereços disponíveis no mapa da memória.

Memórias RAM e EPROM -- A placa de controle possui 8 k "bytes" de memória RAM (U3) habilitadas para escrita ou leitura de dados temporários nos endereços \$C000 a \$DFFF pelo decodificador 74LS138 (U5) e pela saída da porta NAND (U20:A). Esta placa também possui 8 k "bytes" de memória EPROM (CI 2764) habilitadas pela saída Y7 do mesmo decodificador entre os endereços \$E000 e \$FFFF (Obs: o caractere "\$" é utilizado nos manuais do MC68HC11 para indicar um número em notação hexadecimal e, por conveniência, a mesma simbologia será adotada neste trabalho). A memória EPROM foi utilizada para gravar o "software" de controle do SPEM.

Portas de entrada e saída -- Além das portas de entrada e saída (E/S) disponíveis no microcontrolador (Porta A, Porta D e Porta E), foram implementadas mais duas portas de Entrada/Saída e duas somente para saída, utilizando-se "latches" 74LS273, "buffers" ("line drivers") 74LS244, o circuito de "reset" e as linhas de habilitação de endereços dos decodificadores. A porta de saída montada com o "latch" U21 foi implementada para realizar a tarefa de controle de ganho do circuito de recepção. A outra porta de saída (U23) foi utilizada para conexão do conversor D/A MC1408 da Motorola (U22). Este conversor fornece um nível de tensão entre 1,5 V e 2,9 V (ajustado pelos "trimpots" POT2 e POT3) para controle da amplitude dos pulsos elétricos dos circuitos de transmissão. As duas portas de Entrada/Saída foram utilizadas nos circuitos da interface GPIB. A Tabela 1 mostra, de maneira resumida, a utilização de cada "bit" das portas de entrada/saída internas ao microcontrolador.

"Display" e Teclado -- Foi utilizado um teclado de telefone (sem a parte de controle) com doze teclas distribuídas em uma matriz 4 x 3 conectado diretamente à porta A da maneira mostrada na Figura 3.

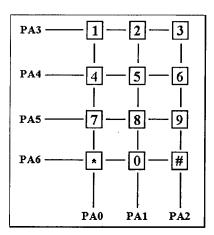


Figura 3. Conexão do teclado à porta A.

Tabela 1. Descrição resumida da utilização de cada um dos "bits" das portas de entrada e saída internas ao microcontrolador MC68HC11.

Sinais	Conectado com:	Função
PA0-PA6	Teclado	Realizar a leitura de dados do teclado
PA7	LED3 GPIB-REMOTO	Sinalizar controle remoto ou local 1 = "led" aceso = remoto 0 = "led" apagado = local
PD0	Monoestável CD4098	Habilitar monoestável 1 = Habilita 0 = Desabilita
PD1	LED1-LOCAL	Sinalizar controle painel ou microcontrolador 1 = "led" aceso = painel 0 = "led" apagado = microcontrolador
PD2	"Multiplex" CD4052-U11	Selecionar sinal do "multiplex" 1 = Sinal de sincronismo 0 = Detector de pico
PD3	Monoestável CD4528	Habilitar monoestável 1 = Habilita 0 = Desabilita
PD4	"Driver" GPIB SN75161	Controlar a direção do barramento de comandos GPIB
PD5	"Drivers" GPIB SN75160 e 75161	Controlar a direção do barramento de dados GPIB
PE0	SW7-Recepção (A/D)	Receber sinal da chave de seleção de ganho dos circuitos de recepção
PE1	Detector de pico	Receber sinal do circuito detector de pico
PE2	SW3-INT/PAINEL	Receber pedido de interrupção (chave PAINEL) 1 = Não há pedido de interrupção 0 = Há pedido de interrupção
PE3	CON4-DIM8	Detectar presença amplificador externo no conector DIM8 e identificá-lo
PE4	SQ6/SW4	Identificar posição selecionada na chave SW4 1 = Transmissor IRF840 - TAPT 0 = Transmissor D80A - TBPT
PE5	SQ6/SW5	Identifica posição selecionada na chave SW5 1 = "Trigger" externo 0 = "Trigger" interno do monoestável CD4528
PE6	SQ6/SW6	Identificar posição selecionada na chave SW6 1 = Conector TRANSD.2 e DIM8: Pulso 0 = Conector TRANSD.1: Pulso-eco
PE7	РОТ3	Receber sinal da chave de seleção de largura de pulso do circuito de geração de pulsos de baixa amplitude (TBPT)

Os "bits" PA3, PA4, PA5 e PA6 são de saída e os "bits" PA0, PA1 e PA2 são de entrada e estes ficam normalmente em estado lógico 0. Desta forma, pode-se colocar os "bits" de saída em estado lógico 1 e quando uma das teclas for acionada, o "bit" de entrada correspondente à coluna da tecla acionada muda do estado lógico 0 para o estado lógico 1. Para determinar a linha da tecla acionada, faz-se uma varredura dos "bits" de saída colocando-se, sequencialmente, cada deles em estado lógico 1 e mantendo os demais em estado lógico 0, até que o "bit" de entrada correspondente à coluna da tecla acionada, já determinado anteriormente, mude novamente de estado lógico 0 para 1. No instante em que isto ocorrer, o "bit" de saída que estiver em estado lógico 1 fornece a linha da tecla acionada e com estas duas informações (linha e coluna) determina-se a tecla acionada.

Foi utilizado um "display" de cristal líquido da ALFACOM de 16 colunas e duas linhas, matriz de pontos 8 X 5 e altura dos caracteres 5,55 mm (LCM 1602-0555). Este "display" foi conectado ao microcontrolador através de um "buffer" bidirecional de dados 74LS245 (U17), habilitado em dois endereços: um endereço para leitura e escrita de instruções, \$4005, e outro para leitura e escrita de dados na memória RAM interna do mesmo, \$4006. A direção do fluxo dos sinais no barramento de dados/instruções do "display" é controlada pelo sinal R/. O "trimpot" POT1, presente na placa da unidade de controle, é utilizado para ajustar o ângulo de visão no "display".

Interface GPIB -- Para implementar a interface GPIB da unidade de controle foram utilizados dois "latches" 74LS273 (U11 e U18) com inversores "open collector" na saída (U7, U8 e U9) como portas de saída e dois "buffers" octais 74LS244 (U12 e U19) como portas de entrada. O "latch" U11, juntamente com os inversores conectados ao mesmo, e o "buffer" U12 formam uma porta paralela de entrada e saída de dados de oito "bits" para o barramento de dados da GPIB e o outro conjunto formado pelo "latch" U18, "buffer" U19 e inversores formam outra porta de entrada e saída para o barramento de controle. O condicionamento dos sinais, de acordo com requisitos da interface GPIB, foi feito com o auxílio de um transmissor ("driver") bidirecional de 8 canais para o barramento de dados (SN75160 - U13) e um transmissor de oito canais para o barramento de controle (SN75161 - U14). A saída da porta lógica OU de duas entradas (74LS32 - U15) e os "bits" PD4 e PD5 da porta D do microcontrolador são utilizados para controle da direção dos sinais do barramento de controle e do barramento de dados.

O endereço para comunicação via GPIB do SPEM pode ser selecionado pela chave SW2 de 5 canais, sendo que o acesso à mesma pelo microcontrolador é feito via um "buffer" bidirecional de dados 74LS245 (U16).

Unidade de transmissão

A unidade de transmissão foi projetada de modo a se conseguir pulsos de tensão com amplitude, largura e freqüência de repetição variáveis, controladas tanto por controle remoto, via interface GPIB, como por controle local no painel frontal do equipamento. A Figura 4 mostra o diagrama em blocos dos circuitos de transmissão e a Figura A2 do Apêndice mostra o circuito implementado. Esta unidade é formada pelos circuitos de isolação e por dois circuitos de geração de pulsos: um circuito de geração de pulsos de alta amplitude (TAPT) e outro de baixa amplitude (TBPT).

O circuito de geração de pulsos de alta amplitude é formado basicamente por um circuito multivibrador astável (oscilador) que gera um sinal de sincronismo ajustado na faixa entre 157 Hz e

1200 Hz. Este sinal controla a freqüência de repetição dos pulsos e é aplicado à entrada do circuito de acionamento do transistor de potência, onde é feito o ajuste da largura do pulso e condicionamento do sinal para disparar o elemento de potência (IRF840 alimentado por uma fonte DC de 200 V). A amplitude do pulso gerado no elemento de potência é controlada por um atenuador e depois o sinal é aplicado à carga, selecionada através de uma chave no painel, que pode ser um transdutor colocado no conector PULSO-ECO, ligado também ao circuito de recepção para que o equipamento possa operar no modo pulso-eco, ou a um transdutor colocado no conector PULSO. Isto foi feito com o objetivo de permitir a utilização de dois transdutores, um para transmissão no conector PULSO e outro para recepção conectado aos circuitos de recepção e amplificação no conector PULSO-ECO (quando a chave é posicionada para PULSO, os circuitos de transmissão ficam desacoplados dos circuitos de recepção). O conector PULSO está ligado a um circuito de proteção, juntamente com um conector onde os ecos recebidos pelo transdutor podem ser monitorados. O usuário também tem acesso ao pulso elétrico gerado pelos circuitos de transmissão em um conector com as tensões de alimentação para circuitos externos.

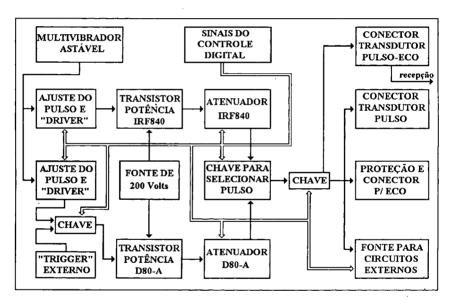


Figura 4. Diagrama em blocos dos circuitos de transmissão do SPEM.

O circuito de geração de pulsos elétricos de baixa amplitude opera de maneira semelhante ao circuito de alta amplitude e a diferença entre ambos está no fato que o circuito de baixa amplitude permite sincronismo interno, via multivibrador astável, ou sincronismo externo. O sinal de sincronismo é selecionado por meio de uma chave no painel.

A seguir será feita a descrição dos elementos que constituem esta unidade.

Circuitos de isolação -- Os circuitos de controle foram isolados dos circuitos analógicos por optoacopladores TIL111 e amplificadores isoladores de ganho unitário ISO122 alimentados por fontes separadas. Isto foi feito com a finalidade de proteger os circuitos de controle de quaisquer problemas que venham a ocorrer na parte analógica bem como para evitar interferência entre os mesmos. Desta forma, há dois terras distintos: um para os circuitos de controle (pino 16 do componente U2) e outro para os circuitos analógicos (pino 8 do mesmo componente). Os elementos de isolação utilizados na unidade de transmissão foram um amplificador isolador de ganho unitário ISO122 (U2) para isolação do sinal do conversor D/A, utilizado para controlar a amplitude dos pulsos elétricos de saída e dois optoacopladores TIL111 (U4 e U5) utilizados para isolar os "bits" PD0 e PD1 da porta D, respectivamente. Os optoacopladores são acionados por meio de transistores bipolares npn (T7 e T8) que operam no corte ou na saturação, em função do sinal aplicado à base dos mesmos. Os sinais de saída dos optoacopladores, obtidos sobre os resistores R25 e R27. possuem a mesma polaridade do sinal de entrada e sua amplitude está relacionada com a intensidade da corrente que circula no "led" interno e, portanto, função dos valores dos resistores R24 e R26. Os valores destes resistores foram determinados experimentalmente para adequar os níveis de tensão para acionamento de circuitos TTL (0 V ou 5 V) ou circuitos CMOS com alimentação positiva +12V (0 V ou aproximadamente 12 V). O circuito "multiplex" CD4053 (U3) é utilizado para selecionar os sinais de controle dos elementos da unidade de transmissão. Ele é formado por três canais de saída (x, y e z) com duas entradas para cada um deles (x₀, x₁; y₀, y₁; z₀, z₁), selecionadas a partir do "bit" PD1 da porta D (PD1 = 0, seleciona x_0 , y_0 , z_0 , PD1 = 1, seleciona x_1 , y_1 , z_1) que, ao mesmo tempo, sinaliza através do LED1 (PAINEL) se os sinais de controle são do microcontrolador ("led" apagado) ou de chaves no painel do equipamento ("led" aceso). A saída x é conectada às entradas dos circuitos de controle de amplitude dos pulsos elétricos e o sinal selecionado para esta saída pode ser o do conversor D/A (entrada x₀) ou o da chave rotativa SW1. A saída y contém o "bit" PD0, após isolação, e é utilizada para habilitação do multivibrador monoestável 4098 e a saída z contém o "bit" PD3, utilizado para habilitar o monoestável 4528. O "bit" PD3 também é utilizado na unidade de recepção e o acoplador óptico de isolação do mesmo está na Figura A3 do Apêndice.

Circuito de geração de pulsos elétricos de alta amplitude (TAPT) -- A descrição dos circuitos de geração de pulsos elétricos de alta amplitude será feita em três etapas: descrição dos circuitos de sincronismo (multivibrador astável/monoestável), descrição dos circuitos de condicionamento do sinal para disparar o elemento de potência ("driver" de corrente) e os circuitos de potência.

Multivibrador astável/monoestável -- A função do multivibrador é gerar pulsos positivos com reduzida largura (em torno de 500 ns) e amplitude 12 V para chaveamento do circuito de potência. Por ser capaz de atender a estas especificações, foi utilizado o multivibrador tecnologia COS/MOS CD4098.

O multivibrador CD4098 (U1:A) opera no modo astável (oscilador) e gera pulsos com frequência de repetição ajustável pelo POT1 no painel do equipamento entre 157 Hz (POT1 = 0, período de 6,38 ms) e 1200 Hz (POT1 = 220 kW, período de 0,8 ms) com amplitude de +12 V. Estes pulsos são utilizados para disparar outro circuito CD4098 (U1:B) que opera no modo monoestável, e gera um pulso com largura de aproximadamente 500 ns, obtida em função do resistor R2 e do capacitor C2. A habilitação do multivibrador monoestável é feita pelo "bit" PD0 da porta D após passar pelos circuitos de isolação descritos na seção anterior.

"Driver" de corrente -- O multivibrador utilizado (CD4098) tem capacidade relativamente pequena de absorver e injetar corrente sendo, desta forma, incapaz de acionar diretamente o circuito de potência. Devido a este fato, foi necessária a utilização de um "driver" para aumentar a corrente de acionamento.

O "driver" foi montado com componentes discretos de chaveamento rápido. O elemento do circuito é um transistor "mosfet" D80 (T1), que garante uma alta impedância de entrada com baixo consumo de corrente, adequado ao acionamento pelo multivibrador CMOS. O circuito de saída é composto por três transistores bipolares dispostos em uma configuração denominada "pull-up" ativo, geralmente utilizada em circuitos TTL para aumentar a capacidade de corrente dos mesmos.

Na ausência de pulso, a tensão na porta de T1 é zero e o mesmo está cortado, polarizando T2 através dos resistores R4 e R5. Com T2 conduzindo, T4 está saturado e T3 está cortado, levando a saída para 0 V. Quando há um pulso na porta de T1, o mesmo satura fazendo com que T2 e T4 fiquem na região de corte enquanto T3 satura levando a tensão de saída para aproximadamente 10 V.

Circuitos de potência -- Os elementos principais do estágio de potência dos circuitos de geração de pulsos de alta amplitude (TAPT) são os transistores "mosfet" de potência IRF840 (T5 e T6). O transistor T5, ao ser chaveado pelo sinal de saída do "driver" de corrente, juntamente com o capacitor C4, é o responsável pela geração dos pulsos elétricos de alta amplitude e o transistor T6, que opera como um resistor controlado a tensão, é utilizado para controlar a amplitude do pulso a ser aplicado ao transdutor.

Na ausência de pulsos na porta do transistor T5, este opera na região de corte e permite que o capacitor C4 carregue-se através de R7, com a tensão de alimentação do circuito (+200 V). Quando a porta de T5 é acionada com um pulso, este satura e aterra o terminal positivo do capacitor C4, levando a tensão no dreno de T6 instantaneamente para, aproximadamente, (-200 V). Como T6 opera como um resistor controlado a tensão, acionado pelo sinal da saída do conversor D/A dos circuitos de controle ou pela chave rotativa SW1 no painel do equipamento, pode-se controlar a amplitude do pulso a ser aplicado ao transdutor em uma faixa entre 15 V e 190 V, com polaridade negativa, e largura de 330 ns, aproximadamente.

A Figura 5 mostra a curva de tensão de saída do circuito de transmissão em função do número decimal (inteiro) enviado ao conversor D/A pelo microcontrolador. A tensão de saída do conversor D/A é aplicada à porta do transistor T6 e situa-se na faixa entre 2,1 V (número decimal do D/A = 170) e 2,9 V (número decimal do D/A = 255), com 85 níveis possíveis de seleção (pontos na Figura 5). O valor da tensão aplicada à porta do transistor é dado por V = N*(2,9 - 1,5)/255 + 1,5, onde N é o número decimal (inteiro) enviado ao conversor D/A.

A chave rotativa SW1 seleciona um dos 12 níveis de tensão do divisor resistivo formado pelos resistores R11 a R23 e pelo "trimpot" POT2 (esse "trimpot" é utilizado para calibração do divisor resistivo). A faixa de tensões aplicadas ao transistor de controle de amplitude é igual à aplicada pelo conversor D/A, mas com apenas 11 níveis de saída (15 V, 16 V, 17 V, 19 V, 27 V, 40 V, 57 V, 82 V, 118 V, 170 V e 190 V de polaridade negativa).

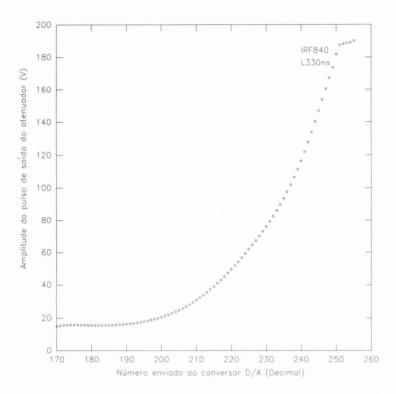


Figura 5. Amplitude do pulso elétrico de saída do circuito de transmissão TAPT em função do número decimal (inteiro) enviado ao conversor D/A (largura do pulso 330 ns, utilizando o transistor IRF840).

Após o pulso elétrico ter sido gerado e condicionado no circuito de potência, ele passa pela chave SW4 (utilizada para selecionar o sinal do circuito TAPT ou do TBPT) e depois, em função da posição da chave SW6 (PULSO-ECO/PULSO), pode ser aplicado ao transdutor presente no conector CON1 que é interligado com a unidade de recepção para operar no modo pulso-eco, ou aos conectores CON2 e CON4. O conector CON2 não está ligado diretamente à unidade de recepção e, através dele, o usuário pode aplicar pulsos isolados ao transdutor e receber os ecos, sem nenhum tipo de amplificação, no conector CON6. Este possui um circuito de proteção contra sobretensões igual ao utilizado para proteção da unidade de controle. O conector CON4 é do tipo DIM de 8 pinos com sinais para alimentação de pré-amplificadores externos.

Circuito de geração de pulsos elétricos de baixa amplitude (TBPT) -- O funcionamento do circuito de geração de pulsos de baixa amplitude é semelhante ao de alta amplitude. Este circuito foi implementado com o objetivo de obter uma maior flexibilidade no controle da largura e no número de pulsos elétricos a ser aplicado aos transdutores via "trigger" externo.

A geração de pulsos para chaveamento do circuito de potência é feita com o multivibrador astável U1:A (CD4098) e um multivibrador monoestável CD4528 (U6) que gera pulsos com largura mais estreita que o monoestável 4098. O controle da largura do pulso é feito pela chave rotativa de dois polos e seis posições POT3, onde um dos polos da mesma é conectado ao "bit" PE7 do microcontrolador para identificação da largura de pulso selecionada. O sinal de saída do monoestável aciona a porta do transistor "mosfet" D80A (T10) sem a necessidade do "driver" de corrente utilizado no circuito TAPT, porque este transistor é de menor potência que o IRF840 e exige uma corrente de porta menor para ser chaveado. O chaveamento pode ser feito externamente por uma mudança de posição na chave de dois polos e duas posições SW5 (um dos polos é conectado ao "bit" PE5 da porta E para informar a posição selecionada: "trigger" interno ou externo).

O controle da amplitude dos pulsos é feito utilizando-se o transistor D80A (T11) e o sinal do conversor D/A, da mesma maneira realizada anteriormente para o circuito TAPT. A Figura 6 mostra a amplitude do pulso de saída em função do número decimal (inteiro) enviado ao conversor D/A

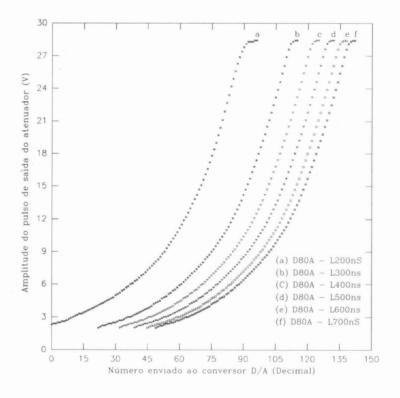


Figura 6. Amplitude do pulso elétrico de saída do circuito de transmissão (TBPT) em função do número decimal (inteiro) enviado ao conversor D/A para larguras de 200 ns, 300 ns, 400 ns, 500 ns, 600 ns ou 700 ns

para larguras de pulso de 200 ns, 300 ns, 400 ns, 500 ns, 600 ns e 700 ns selecionadas pela chave rotativa. A tensão aplicada à porta do transistor D80A (T11) para controle da amplitude é dada por V = N*(2,9 - 1,5)/255 + 1,5, onde N é o número decimal (inteiro) enviado ao conversor D/A (este número está na faixa entre 0 e 140, ver Figura 6). Quando o chaveamento é feito externamente, o microcontrolador configura o circuito de controle de amplitude para atenuação mínima e não há controle da amplitude e da largura do pulso de saída via microcontrolador sendo que, para um pulso quadrado de polaridade positiva entre 10 V e 15 V, a tensão de saída é de aproximadamente 28 V, ficando a largura do pulso sujeita ao "trigger" externo.

Unidade de recepção

A Figura 7 mostra o diagrama em blocos da unidade de recepção do SPEM. Esta unidade possui, na entrada, um circuito de proteção contra sobre-tensão e um "buffer" de ganho unitário. Isto faz-se necessário porque, para poder operar no modo pulso-eco, ela fica conectada à saída do circuito de transmissão e este gera pulsos de alta amplitude que danificariam os circuitos de amplificação se aplicados diretamente aos mesmos. Após o sinal recebido passar pelos circuitos de proteção, ele é condicionado em quatro estágios de amplificação com ganho controlado digitalmente pela unidade de controle e, depois, este passa por dois "buffers" colocados em paralelo: um "buffer" de saída para permitir monitoração por meio de um osciloscópio digital, por exemplo, e o outro "buffer" para permitir ao microcontrolador, via conversor A/D, o acesso ao valor da amplitude do eco amplificado (obtido por meio de um detector de pico) e a implementação de um controle automático de ganho, se necessário.

A isolação entre os circuitos da unidade de controle e os da unidade de recepção foi feita com optoacopladores e amplificadores isoladores de ganho unitário, igual ao método de isolação implementado na unidade de transmissão. A Figura A3 do Apêndice mostra o diagrama esquemático dos circuitos de recepção implementados.

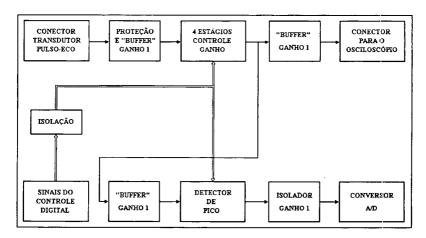


Figura 7. Diagrama em blocos dos circuitos da unidade de recepção do SPEM.

Circuito de entrada da unidade de recepção -- Para operar no modo pulso-eco, a saída do circuito de transmissão é ligada à entrada do circuito de recepção e, para evitar danos ao mesmo, há necessidade de um circuito de proteção. Este é formado pelo resistor R113 e os diodos D6 e D7 colocados em sentido antiparalelo. Desta forma, quando o pulso elétrico de alta amplitude é aplicado ao transdutor e, consequentemente, à entrada do circuito de transmissão, um ou os dois diodos são polarizados diretamente e funcionam como um circuito fechado, limitando a tensão aplicada ao amplificador "buffer" de entrada OPA633 (A1) em aproximadamente -0,7 V, para o pulso de polaridade negativa, ou em 1,4 V de pico a pico, caso haja alguma oscilação dos circuitos durante a aplicação do pulso. No entanto, esses diodos funcionam como um circuito aberto para os ecos recebidos, isto porque a amplitude dos mesmos é inferior a 1,4 V de pico a pico, não sendo suficiente para polarizá-los diretamente, e o sinal é totalmente aplicado à entrada do buffer. A utilização do resistor na entrada é necessária porque sem o mesmo não seria possível aplicar o pulso elétrico de alta amplitude ao transdutor, pois os diodos aterrariam o sinal, mas o mesmo não influencia na recepção dos ecos porque foi utilizado um "buffer" que propicia uma impedância de entrada alta e desta forma a queda de tensão sobre o resistor R113 é baixa. A saída do "buffer" A1 é conectada ao primeiro estágio de amplificação.

Estágios de amplificação da unidade de recepção -- A amplificação dos sinais recebidos pelo SPEM é feita em quatro estágios. O amplificador de saída do estágio é um LH0032 (A2), que possui uma largura de banda de freqüências de 70 MHz e uma taxa de inclinação de 500 V/ms. Por meio de testes realizados em bancada e com base nas curvas de resposta em freqüência apresentadas pelo fabricante, optou-se pela montagem do mesmo na configuração inversora. Como este amplificador operacional não possui circuitos internos de controle de ganho, foi montado um circuito externo que tem como base o multiplexador 74HC4052 (U7) de tecnologia CMOS de alta velocidade. Após o sinal recebido passar pelo circuito de entrada descrito na seção anterior, ele é aplicado ao divisor de tensão formado pelos resistores R44, R45, R46 e R47 e um dos quatro níveis de tensão é selecionado digitalmente pelo multiplexador e depois aplicado à entrada inversora do amplificador. Os ganhos obtidos experimentalmente em cada estágio foram 0,89 V/V, 1,52 V/V, 3,77 V/V e 7,82 V/V, selecionados digitalmente.

O ganho final, após os quatro estágios de amplificação, está na faixa entre 0,6 V/V e 3730 V/V (-4,4 dB a 71,5 dB) dividido em 25 ganhos diferentes. A seleção do ganho final desejado pode ser feita, no painel do equipamento, pelo teclado, que permite a seleção de qualquer um dos 25 ganhos possíveis ou pela chave rotativa SW7 que permite a seleção de 12 ganhos (1,0 V/V; 4,6 V/V; 11,4 V/V; 27,7 V/V; 48,0 V/V; 81,0 V/V; 140 V/V; 200 V/V; 350 V/V; 420 V/V; 730 V/V; 870 V/V). Esta chave foi conectada ao canal PE0 do conversor A/D do microcontrolador e o ganho selecionado por meio da mesma é uma função do nível de tensão do divisor de tensão formado pelos resistores R79 a R90 e o "trimpot" POT4 para ajustar o nível de tensão máximo em 5,12 V que corresponde à seleção do ganho 870 V/V.

Estágio de saída da unidade de recepção -- O sinal recebido, após passar pelos quatro estágios de amplificação, é aplicado na entrada de dois "buffers" OPA633, A6 e A7, sendo que a saída de um deles (A6) é colocada diretamente em um conector no painel do SPEM (CON5), onde o usuário tem acesso ao sinal amplificado com o ganho selecionado. A saída do outro "buffer" (A7) é aplicada à entrada de dois circuitos de retificação.

Cada circuito de retificação é formado por um diodo, retificador de meia onda, conectado a um capacitor de filtro que fica em paralelo com uma resistência de carga. O conjunto formado pelo diodo de germânio AA119 (D10), o resistor de carga de 1MW (R77) e o capacitor de 1mF (C99) é utilizado para medir o valor de pico do sinal após, a amplificação.

O outro conjunto formado pelo diodo D11, o capacitor de 10 nF (C100) e o resistor de 1 kW (R78) é utilizado como circuito de sincronismo para detectar a presença de pulsos e informar ao microcontrolador, o instante de realizar a aquisição do sinal do detector de pico. A seleção entre o sinal de sincronismo e o sinal do detector de pico é feita com um circuito "multiplex" CMOS 4052, controlado digitalmente pelo "bit" PD2 da porta D (PD2 = 0, seleciona o detector de pico; PD2 = 1, seleciona o circuito de sincronismo). O sinal selecionado no circuito "multiplex" passa pelo amplificador isolador ISO122 (U12), depois por um divisor de tensão para limitar a tensão a ser aplicada ao canal PE1 do conversor A/D a, no máximo 6 V, de forma que o mesmo não sofra danos. A Figura 8 mostra o gráfico da resposta em freqüência da unidade de recepção.

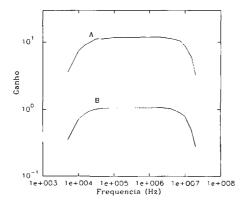


Figura 8. Resposta em freqüencia dos circuitos de recepção (Curva A: Ganho 10 V/V; Curva B: Ganho 1 V/V).

"Software" de controle

O "software" de controle foi desenvolvido na linguagem "Assembly" do microcontrolador MC68HC11, com o auxílio de uma placa de emulação da Motorola Inc. Ele é o responsável pelo gerenciamento de todas as tarefas do SPEM tais como mostrar dados no "display", leitura de dados do teclado, controle da unidade de transmissão, controle da unidade de recepção e a comunicação com um microcomputador, via interface GPIB. Ele foi gravado na memória EPROM presente na unidade de controle e ocupa, aproximadamente, 6,8 k "bytes" dos 8 k disponíveis na mesma.

A Figura 9 mostra o fluxograma geral do "software" de controle. Inicialmente são feitas as inicializações do sistema, tais como definição de variáveis, reserva de memória RAM para dados,

endereço da pilha, definição do vetor de interrupções, inicialização das portas de entrada/saída, da interface GPIB, do "display" e das unidades de transmissão e recepção com amplitude de pulsos e ganho mínimos, respectivamente. Em seguida, verifica-se se há comandos do microcomputador, via interface GPIB. Se houver comandos, há o desvio para a rotina de atendimento à GPIB, caso contrário, é mostrado o estado do equipamento no "display", o que inclui as posições selecionadas nas chaves do painel, ganho nos circuitos de recepção, amplitude dos pulsos de saída e a presença ou não de pré-amplificadores externos conectados ao SPEM. Feito isto, verifica-se se há instruções via teclado. Se sim e as instruções forem válidas, são executadas e é mostrado o novo estado do equipamento no "display". Se o usuário digitar valores fora da faixa permitida, é mantido o estado anterior ou, caso os mesmos estejam dentro da faixa permitida, mas não sejam valores possíveis, são selecionados os valores inferiores mais próximos dentro desta faixa. A partir deste ponto, verifica-se

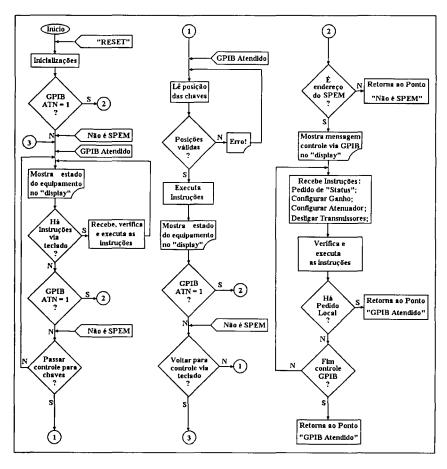


Figura 9. Fluxograma do "software" para controle do SPEM

novamente a interface GPIB. Se o pedido de GPIB não for endereçado ao SPEM, verifica-se se houve pedido, via chave "push button" no painel, para transferir o controle para as chaves. Em caso negativo repete-se o ciclo acima.

Na rotina para controle do equipamento via chaves (ramificação 1 na Figura 9), são verificadas as portas de entrada, recebendo-se informações sobre as posições selecionadas nas chaves do painel. As informações são verificadas e mostra-se mensagem de erro no "display", caso algum tenha ocorrido, ou executadas as instruções selecionadas, mostrando-se, a seguir, o novo estado do equipamento. A seguir é verificado o estado da interface GPIB e, se não houver comandos para o SPEM, verifica-se se houve pedido para voltar a receber instruções pelo teclado (pedido feito por meio da mesma chave "push button"). Nao havendo, este ciclo é repetido.

Na rotina de atendimento GPIB (ramificação 2 na Figura 9), inicialmente e verificado se as instruções que estão no barramento foram endereçadas para o SPEM. Se não foram, retorna à posição "Não é SPEM", logo em seguida ao ponto de interrupção; caso contrário, sinaliza controle via GPIB no painel e "display", depois recebe, verifica e executa as instruções. Se o usuário, por meio da chave "push button" LOCAL no painel, solicitar o controle do SPEM localmente ou se não houver mais instruções, retorna-se ao ponto "GPIB Atendido" da rotina que sofreu a interrupção.

A qualquer instante em que a chave "push button" de "RESET", presente no painel do SPEM, for acionada, o "software" será reiniciado.

TESTES E RESULTADOS

A Figura 10 mostra a forma do pulso elétrico gerado pelos circuitos de geração de pulsos de alta amplitude (TAPT). Este pulso possui polaridade negativa, largura aproximada de 330 ns, tempo de descida 100 ns ("falling time") e tempo de subida 50 ns ("rise time").

A Figura 11 mostra o efeito do controle de amplitude pelo atenuador do circuito de geração de pulsos elétricos de alta amplitude (TAPT). Neste caso, o pulso elétrico de 190 V (RF1) de amplitude foi atenuado para 104 V (RF2), houve uma ligeira diminuição no tempo de descida de 100 ns para 80 ns e o tempo de subida manteve-se em torno de 50 ns. O controle de amplitude do circuito TAPT pode ser feito na faixa entre 15 V e 190 V, pelo microcontrolador, via conversor D/A, ou pela chave de controle de amplitude no painel.

A Figura 12 apresenta os ecos resultantes (CH2) da aplicação de um pulso elétrico (CH1) de 190 V de amplitude a um transdutor de 1 MHz, colocado em contato com um cilindro de alumínio de 9,4 cm de comprimento, imerso em um tanque com água da maneira mostrada na Figura 13. O ganho dos circuitos de recepção do SPEM foi ajustado para 10 V/V. Os resultados mostraram que o equipamento pode ser utilizado para realizar medidas de velocidade de propagação do som. Como pode ser observado na Figura 12, o intervalo de tempo decorrido entre o primeiro eco (da interface transdutor-cilindro), que coincide com a reverberação provocada pela aplicação do pulso elétrico ao transdutor, e o segundo eco (da outra extremidade do cilindro) é de aproximadamente 29,5 ms. Como a distância percorrida é de 18,8 cm (duas vezes o comprimento do cilindro), a velocidade (calculada) de propagação do som neste material é de, aproximadamente, 6372 m/s. Comparando-se este valor com o apresentado por Bronzino (1986), que indica uma velocidade de 6300 m/s, o erro é

de 1,14%. Wells (1977) apresenta o valor de 6400 m/s para o mesmo tipo de material, o que nos permite concluir que o resultado obtido é razoavel para os propósitos a que se destina o equipamento.

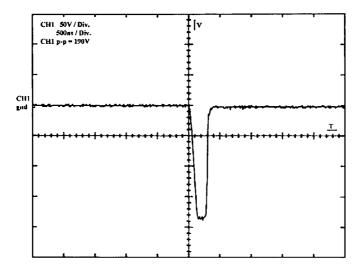


Figura 10. Forma do pulso gerado pelos circuitos de transmissão do SPEM

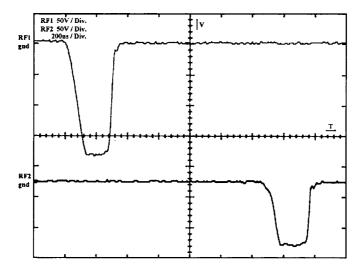


Figura 11. Controle de amplitude do pulso elétrico pelo atenuador do circuito TAPT: RF1 = 190 V, tempo de descida = 100 ns, tempo de subida = 50ns; RF2 = 104 V, tempo de descida = 80 ns, tempo de subida = 50 ns, largura = 330 ns.

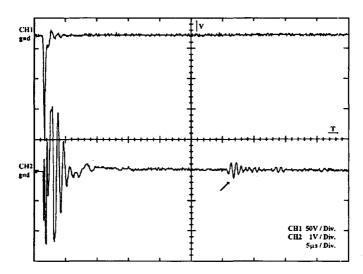


Figura 12. Pulso elétrico aplicado a um transdutor de 1 MHz (CH1 - Amplitude ajustada no SPEM, 190 V) e ecos recebidos de um cilindro de Alumínio (CH2-Ganho SPEM 10 V/V).

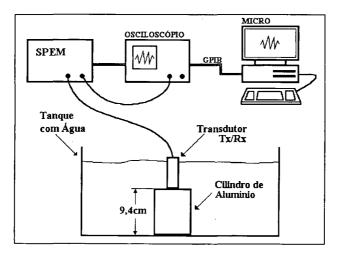


Figura 13. Configuração utilizada para medir a velocidade de propagação do som no alumínio.

A Figura 14 mostra o efeito do controle da largura do pulso gerado pelos circuitos de geração de pulsos de baixa amplitude (TBPT) onde, para uma mesma amplitude (aproximadamente 24 V), é mostrado um pulso com largura de 200 ns (RF1), um com largura de 400 ns (RF2) e um com largura de 700 ns (RF3). O sistema permite controle de largura de pulso entre 200 ns e 700 ns com passos de 100 ns através da chave rotativa no painel.

A utilização de um sistema de sincronismo externo, permitiu gerar um número controlável de pulsos por ciclo. Foi utilizado um gerador de funções programável Tektronix FG5010, com a saída conectada à entrada de sincronismo externo do SPEM. A Figura 15 mostra um, três e cinco pulsos de 28,4 V de amplitude e largura de 100 ns, gerados por meio do sincronismo externo.

A Figura 16 mostra outra configuração utilizada com sincronismo externo, onde o gerador de funções é disparado pelo SPEM para gerar um ou mais pulsos elétricos senoidais de 1 ms de duração, com amplitude de 20 V de pico a pico. Estes pulsos são aplicados a um transdutor de 1 MHz imerso em água, acoplado à face de um cilindro de alumínio. O transdutor emite pulsos ultrasônicos que se propagam através do meio e são captados por outro transdutor de 1 MHz, na face oposta do cilindro e acoplado ao sistema de recepção do SPEM, que foi configurado para um ganho de 20 V/V. As Figuras 17 e 18 mostram os resultados obtidos com a utilização desta configuração. Nestas figuras, não estão sendo indicados os atrasos entre os pulsos aplicados ao transdutor emissor e os sinais captados no receptor, porque optou-se por colocar os dois sinais no mesmo quadro para melhor visualização, mas o atraso entre os mesmos é, aproximadamente, a metade do tempo obtido na análise dos resultados da Figura 12 (14,75 ms), pois o cilindro de alumínio utilizado é o mesmo e a distância percorrida pelo sinal é de 9,4 cm (comprimento do cilindro).

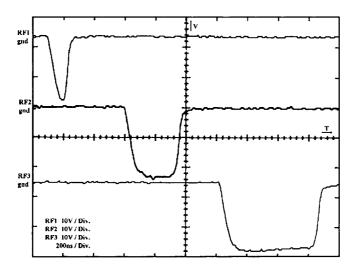


Figura 14. Controle da largura de pulso do circuito de geração de pulsos elétricos de baixa amplitude (TBPT): REF1 = 200 ns; REF2 = 400 ns; REF3 = 700 ns.

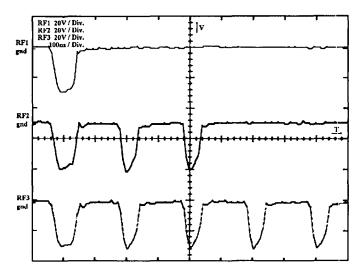


Figura 15. Pulsos gerados utilizando-se "trigger" externo de um gerador de funções: REF1 = 1 Pulso; REF2 = 3 Pulsos; REF3 = 5 Pulsos (Largura dos pulsos: 100 ns, Amplitude: 28,4 V).

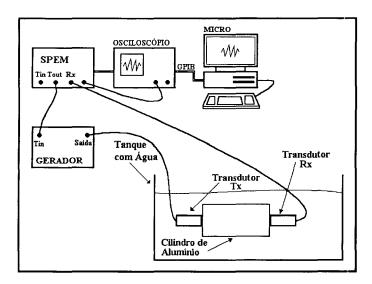


Figura 16. Configuração utilizada para realizar testes na unidade de recepção com um gerador de funções sendo utilizado para aplicar os pulsos elétricos ao transdutor.

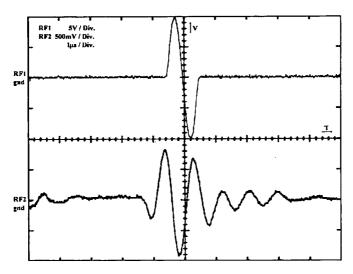


Figura 17. Pulso transmitido pelo gerador de funções com "trigger" pelo SPEM (REF1) e onda recebida pelo segundo transdutor, amplificada 20 vezes no circuito de recepção do SPEM (REF2).

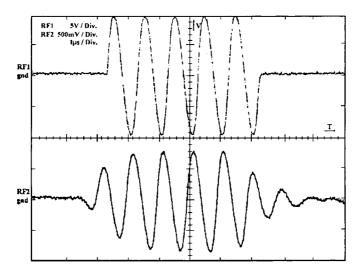


Figura 18. Pulso transmitido pelo Gerador de Sinais com "trigger" pelo SPEM (RF1 - 5 pulsos 1 MHz) e sinal recebido e amplificado nos circuitos de recepção do SPEM (RF2 - Ganho 20 V/V).

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O sistema proposto foi implementado e está operando no Laboratório de Ultra-som do Centro de Engenharia Biomédica da Unicamp.

Os resultados apresentados mostraram que o controle de amplitude não afeta significativamente a forma dos pulsos gerados pelo sistema de transmissão e que para amplitudes menores, a largura, os tempos de descida e subida são ligeiramente menores, o que não modifica a faixa de utilização do equipamento, visto que estes parâmetros são importantes para uma maior transferência de energia e consequente aumento de rendimento do transdutor.

Os resultados mostraram ainda que o equipamento pode ser utilizado para realizar medidas de velocidade de propagação do som. Outras variáveis tais como atenuação e índice de reflexão dos materiais, podem ser obtidas pela análise dos sinais recebidos.

Com sincronismo externo, o equipamento pode ser utilizado para aplicar um ou mais pulsos elétricos a um transdutor por meio do circuito de geração de pulsos de baixa amplitude. Como o mesmo foi montado para ser utilizado em um laboratório de pesquisa, esta característica é desejável porque torna possível a avaliação do desempenho dos transdutores sob tais formas de excitação.

O circuito de geração de pulsos de alta amplitude não foi projetado para operar com sincronismo externo pois, para manter as suas características de funcionamento (largura de pulso em torno de 330 ns e amplitude entre 15 V e 190 V), a freqüência de repetição dos pulsos tem que estar na faixa entre 157 Hz e 1,2 kHz e isto já foi ajustado internamente.

Os valores dos ganhos no circuito de recepção nem sempre são números inteiros. Isto deve-se a que os amplificadores operacionais utilizados (LH0032) não permitem controle digital do ganho e, para realizar esta tarefa e ao mesmo tempo manter a característica de ampla faixa de frequência dos mesmos, foi necessário a utilização de componentes externos com valores que não possibilitaram a obtenção de ganhos inteiros.

O SPEM pode ser controlado localmente no painel do mesmo ou por um microcomputador, via interface GPIB. Isto confere ao mesmo uma característica importante que é a de poder ser utilizado em conjunto com um osciloscópio digital no mesmo barramento, sendo que os dados obtidos e mostrados na tela do osciloscópio podem ser transferidos ao computador para serem processados e analisados posteriormente.

Resumindo, as características do equipamento construído são as seguintes:

- Permite controle local no painel através de chaves e teclado ou controle remoto via interface GPIB;
- A indicação do estado do equipamento é feita por meio de um "display" de cristal líquido e "leds" no painel frontal do mesmo;
- 3) Possui dois circuitos de geração de pulsos que podem ser selecionados por meio de chaves no painel para operação no modo pulso-eco (interligados ao circuito de recepção) ou apenas pulso:

- a) um circuito de geração de pulsos elétricos de alta amplitude (15 V a 190 V) e largura de 330 ns; b) um circuito para geração de pulsos de baixa amplitude (2 V a 28,4 V) com larguras de 200 ns, 300 ns, 400ns, 500 ns, 600 ns ou 700 ns e possibilidade de sincronismo interno ou externo;
- Permite controle da frequência de repetição dos pulsos gerados com sincronismo interno entre 157 Hz e 1,2 kHz;
- Permite seleção digital dos ganhos no circuito de recepção entre 0,6 V/V e 3730 V/V para frequências entre 20 kHz e 10 MHz;
- Possui, no painel frontal, um conector com tensões de alimentação para circuitos préamplificadores externos.

AGRADECIMENTOS

À FINEP, CNPq e UNICAMP pelo apoio financeiro, aos funcionários e amigos do Centro de Engenharia Biomédica (CEB) e do Departamento de Engenharia Biomédica da Faculdade de Engenharia Elétrica (DEB/FEE) da Unicamp pelo apoio fornecido e ao Prof. Júlio Cezar Adamowski (POLI/USP) pelas sugestões apresentadas.

REFERÊNCIAS

- AL-KARMI, A.M., DINNO, M.A., STOLTZ, D.A., CRUM, L.A. e MATTHEWS, J.C. (1994), "Calcium and Effects of Ultrasound on Frog Skin", *Ultrasound in Med. & Biol.*, Volume 20, Number 1, pages 73-81.
- BRONZINO, J.D. (1986), Biomedical Engineering and Instrumentation: Basic Concepts and Application, BWS-Kent, pages 347-386.
- COSTA, E.T. (1989), Development and Application of a Large-aperture PVDF Hydrophone for Measurement of Linear and Non-linear Ultrasound Fields, Ph.D. Dissertation University of London, London, United Kingdom.
- FOSTER, F.S. e HUNT, J.W. (1979), "Transmission of Ultrasound Beams Through Human Tissue Focussing and Attenuation Studies", *Ultrasound in Med. & Biol.*, Volume 5, pages 257-268.
- HADJICOSTIS, A.N., HOTTINGER, C.F., ROSEN, J.J. e WELLS, P.N.T. (1984), "Ultrasonic Transducer Materials for Medical Applications", Ferroelectrics, Volume 60, pages 107-126.
- HEKKENBERG, R.T., REIBOLD, R. e ZEQIRI, B. (1994), "Development of Standard Measurement Methods for Essential Properties of Ultrasound Therapy Equipment", *Ultrasound in Med. & Biol.*, Volume 20, Number 1, pages 83-98.
- McDICKEN, W.N. (1981), Diagnostic Ultrasonics: Principles and Use of Instruments, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, U.S.A.

WEBB, S. (1988), The Physics of Medical Imaging, Adam Hilger, Bristol.

WEBSTER, J.G. (1992), Medical Instrumentation: Application and Design, Segunda Edição, Houghton Mifflin.

WELLS, P.N.T. (1977), Biomedical Ultrasonics, Academic Press Inc, London, United Kingdom.

APÊNDICE

Neste apêndice são mostrados os diagramas esquemáticos do equipamento, citados no artigo nas seções referentes à Unidade de Controle (Figura A1), Unidade de Transmissão (Figura A2) e Unidade de Recepção (Figura A3).

Devido à grande quantidade de componentes nas figuras, não é possível uma boa visualização dos caracteres e símbolos. Em função disto, os autores colocam-se à disposição para fornecer cópias ampliadas das mesmas aos que se interessarem.

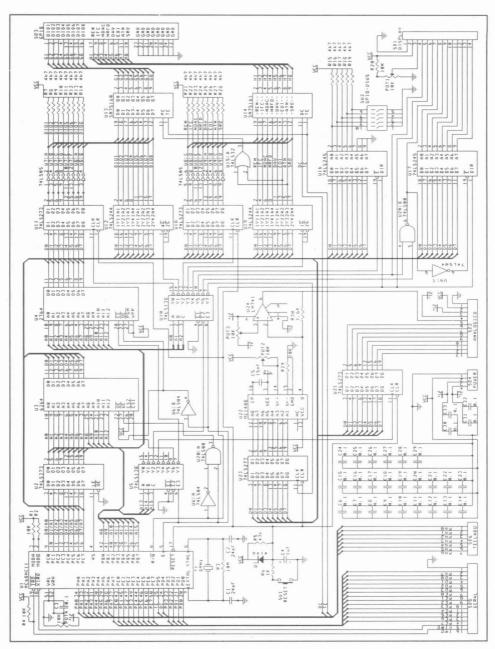


Figura A1. Circuitos de controle do SPEM.

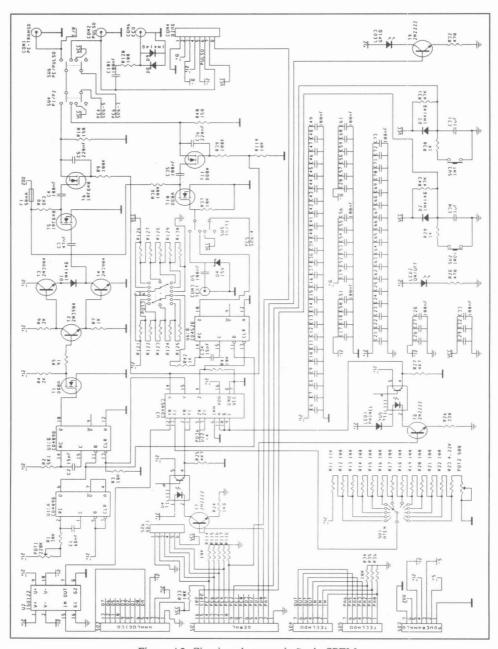


Figura A2. Circuitos de transmissão do SPEM.

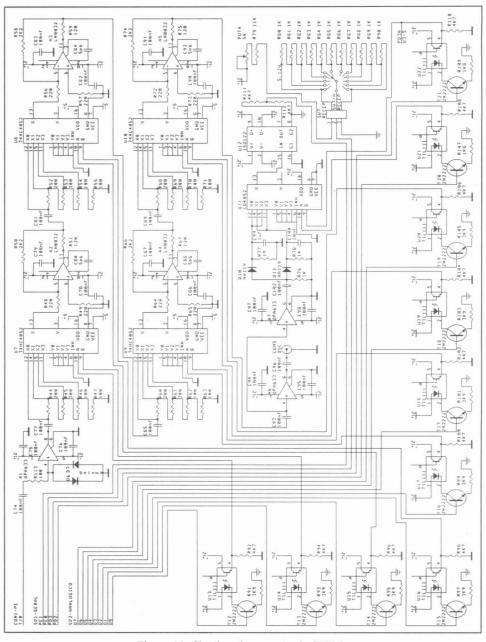


Figura A3. Circuitos de recepção do SPEM.

A PULSE-ECHO SYSTEM FOR GENERATION AND MEASUREMENTS OF ULTRASOUND FIELDS

J. M. Maia¹ and E. T. Costa²

ABSTRACT -- In order to obtain more reliability in the processing of information obtained by ultrasound radiation, it is very important to understand the basic principles of ultrasound wave generation, interaction with and propagation through different media. This can be partially achieved with suitable equipments and a good knowledge of its working conditions. In an effort to measure and study ultrasonic features of different materials, we have developed a Pulse-Echo Microcontrolled System (SPEM) for generation and reception of RF signals in the range of ultrasound medical diagnosis. The hardware consists of transmission, reception, control and interfacing circuits. The control and interfacing circuits were developed with a Motorola MC68HC11-A1 microcontroller and proper circuitry to implement the IEEE Standard 488 (GPIB). The SPEM is fully controlled via remote mode through the GPIB interface, and permits local control with proper keys in the front panel. The transmission circuit emits pulses 330 ns wide with an amplitude that may be controlled from 15 V to 200 V or pulses 200 ns, 300 ns, 400 ns, 500 ns, 600 ns and 700 ns wide with an amplitude controlled from 2 V to 28.4 V. The reception circuit amplifies RF signals in the range of 10 kHz to 10 MHz from 0.6V/V to 3730V/V (-4.4 dB to 71.5 dB) in 25 steps. We have tested the system with a 1MHz transducer facing an aluminun rod both immersed in water. Ultrasound waves have been generated and received by the system which has presented good performance. The results have shown that the equipment may be used for research purposes in the Ultrasound Laboratory of the Centre for Biomedical Engineering at Unicamp.

Key-words: Pulse-Echo, Microcontroller, Ultrasound Fields.

¹ Engineer, Centro de Engenharia Biomédica, Unicamp (CEB/UNICAMP), P. O. Box 6040, 13083-970 - Campinas - SP

² Associate Professor, Departamento de Engenharia Biomédica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Unicamp (DEB/FEE/UNICAMP), P. O. Box 6040, 13083-970 - Campinas - SP E-mails: joaquim@deb.fee.unicamp.br, educosta@deb.fee.unicamp.br