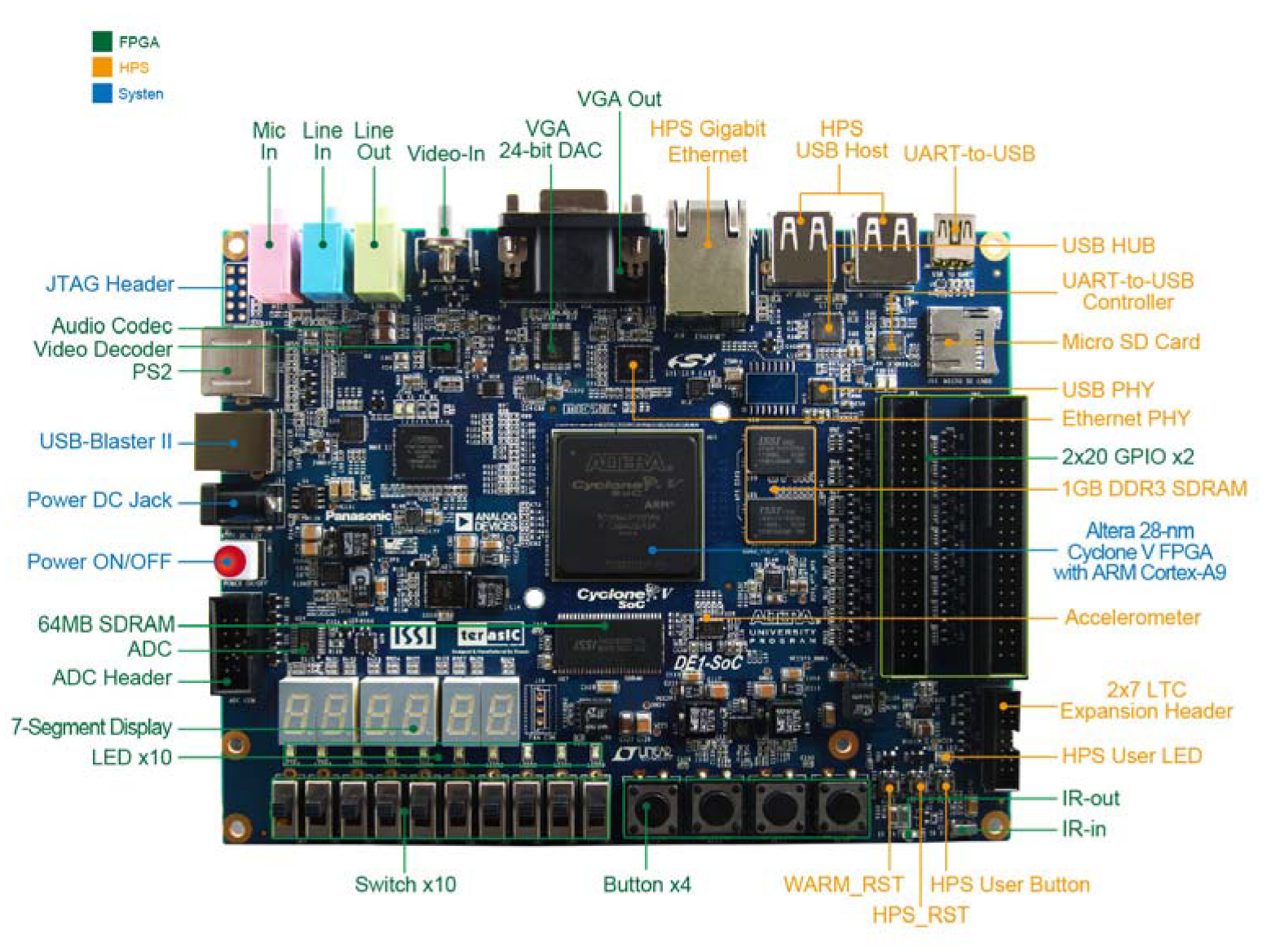


MAPA DE UTILIZAÇÃO DA DE1-SoC

Processador RISC-V versão 2.0



9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

Timer

Enable

fdiv

Auto/Man

Reset

Debug

Slow/Fast

Clock Manual

Frame Select

PC/IR

BR/FPBR

Display : SW[9:8]==2'b11 ? PC :

SW[9:8]==2'b10 ? IR :

SW[9:8]==2'b01 ? Debug :

SW[9:8]==2'b00 ? Livre

Timer: SW[5] ? 10 segundos : Free running (Para verificar o desempenho de mudanças no processador)

Frame Select : SW[6] troca a frame que é apresentada no monitor

Reset: Assíncrono

Frequência do processador: CLK = 50 MHz / (SW[4:0]) Obs.: SW[4:0]=5’d00000 divide por 32

Modo Debug: SW[9]=1, visualização do PC e do IR no display de 7 segmentos e do Banco de Registradores no display VGA.

Banco de Registradores SW[7]=0 ou Banco de Registradores de Ponto Flutuante SW[7]=1

**Monitoramento dos Sinais de Controle:**

|  |  |
| --- | --- |
| **UNICICLO** | |
| **LED** | **Sinal** |
| LEDR[0] | Clock |
| LEDR[1] | Slow/Fast |
| LEDR[2] | Manual/Automático |
| LEDR[3] | Não usado |
| LEDR[4:9] | Não usado |

|  |  |
| --- | --- |
| **PIPELINE** | |
| **LED** | **Sinal** |
| LEDR[0] | Clock |
| LEDR[1] | Slow/Fast |
| LEDR[2] | Manual/Automático |
| LEDR[3] | Não usado |
| LEDR[4:9] | Não usado |

|  |  |
| --- | --- |
| **MULTICICLO** | |
| **LED** | **Sinal** |
| LEDR[0] | Clock |
| LEDR[1] | Slow/Fast |
| LEDR[2] | Manual/Automático |
| LEDR[3] | Não usado |
| LEDR[4:9] | Estado |

**Simulação por forma de onda: Waveform1.vwf** ou **Waveform2.vwf**

**Break Point para Debug Manual:**

O processador irá parar (Clock em Manual) ao iniciar a execução da instrução localizada no endereço armazenado no segmento BRK0 do *In-System Memory Contend Editor*. Isto é, coloque no BRK0 o endereço onde você quer que o processador pare.

No Arquivo Parametros.v defina o tipo do processador a ser sintetizado

**`define UNICICLO**

**`define MULTICICLO**

**`define PIPELINE**

e a ISA a ser implementada

**`define RV32I** sintetiza a ISA básica de inteiros

**`define RV32IM** acrescenta as operações de multiplicação e divisão

**`define RV32IMF** acrescenta as operações de ponto flutuante

**Mapeamento da Memória:**

E/S Mapeada em Memória (MMIO)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Endereço** | **Tamanho** | **Uso** |
| 0xFF00 0000 | 76800 bytes | Frame0  Memória de  vídeo da VGA |
| ... |
| 0xFF01 2C00 |
| 0xFF10 0000 | 76800 bytes | Frame1  Memória de  vídeo da VGA |
| ... |
| 0xFF11 2C00 |
| ... |  | Não Alocado |
| 0xFF20 0000 | 4 bytes | KDMMIO Key Ctrl |
| 0xFF20 0004 | 4 bytes | KDMMIO Key Buffer |
| 0xFF20 0008 | 4 bytes | KDMMIO Disp Ctrl |
| 0xFF20 000C | 4 bytes | KDMMIO Disp Buffer |
| ... |  | Não Alocado |
| 0xFF20 0100 | 4 bytes | Buffer0 Teclado |
| 0xFF20 0104 | 4 bytes | Buffer1Teclado |
| ... |  | Não Alocado |
| 0xFF20 0160 | 4 bytes | Áudio inL |
| 0xFF20 0164 | 4 bytes | Áudio inR |
| 0xFF20 0168 | 4 bytes | Áudio outL |
| 0xFF20 016C | 4 bytes | Áudio outR |
| 0xFF20 0170 | 4 bytes | Áudio Ctrl1 |
| 0xFF20 0174 | 4 bytes | Áudio Ctrl2 |
| 0xFF20 0178 | 4 bytes | NOTE\_SYSCALL\_ADDRESS |
| 0xFF20 017C | 4 bytes | NOTE\_CLOCK |
| 0xFF20 0180 | 4 bytes | NOTE\_MELODY |
| 0xFF20 0184 | 4 bytes | MUSIC\_TEMPO\_ ADDRESS |
| 0xFF20 0188 | 4 bytes | MUSIC\_ADDRESS |
| 0xFF20 018C | 4 bytes | PAUSE\_ADDRESS |
| ... | ... | Não Alocado |
| 0xFF20 0500 | 4 bytes | IrDA\_CTRL |
| 0xFF20 0504 | 4 bytes | IrDA\_RX |
| 0xFF20 0508 | 4 bytes | IrDA\_TX |
| 0xFF20 0510 | 4 bytes | STOPWATCH\_ADDRESS |
| 0xFF20 0514 | 4 bytes | LFSR\_ADDRESS |
| 0xFF20 0520 | 4 bytes | KEYMAP0 00 a 1F |
| 0xFF20 0524 | 4 bytes | KEYMAP1 20 a 3F |
| 0xFF20 0528 | 4 bytes | KEYMAP2 40 a 5F |
| 0xFF20 052C | 4 bytes | KEYMAP3 60 a 7F |
| 0xFF20 0600 | 4 bytes | BREAK POINT ADDRESS |
| 0xFF20 0604 | 4 bytes | VIDEO FRAME SELECT |

Memória de Instruções (CodeMemory)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Endereço** | **Tamanho** | **Uso** |
| 0x0040 0000 | 64 kibytes | .text  UserCodeBlock |
| ... |
| 0x0040 FFFF |
| ... |  | Não Alocado |

Memória de Dados (DataMemory)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Endereço** | **Tamanho** | **Uso** |
| 0x1001 0000 | 128 kibytes | .data  UserDataBlock |
| ... |
| 0x1002 FFFF |
| 0x1003 0000 | 64 Mibytes | SRAM |
| ... |
| 0x1400 FFFF |
| ... |  | Não Alocado |

Valores definidos na inicialização do Processador:

Endereço da Base da Pilha: sp = 0x1002 FFFC

Endereço do Contador de Programa: PC = 0x0040 0000

Arquivos Default:

Memória de Programa do Usuário: de1\_text.mif

Memória de Dados do Usuário: de1\_data.mif

Os arquivos .mif devem ser gerados pelo MIF Dump Memory do RARS.

O arquivo SYSTEMv13.s contém a rotina de tratamento de exceções/interrupções e ecalls.

Deve-se configurar o Rars para:

-Habilitar Settings/Self-Modifying Code

-Desabilitar Settings/Exception Handler

Usar .include “..\macros2.s” no início e “..\SYSTEMv13.s” no final do programa que permite usar as definições .eqv dos endereços da tabela diretamente no programa.

* **Chamadas do Sistema:**

No endereço apontado por UTVEC encontra-se a rotina de tratamento de exceções/interrupções e chamadas do sistema:

Ecalls

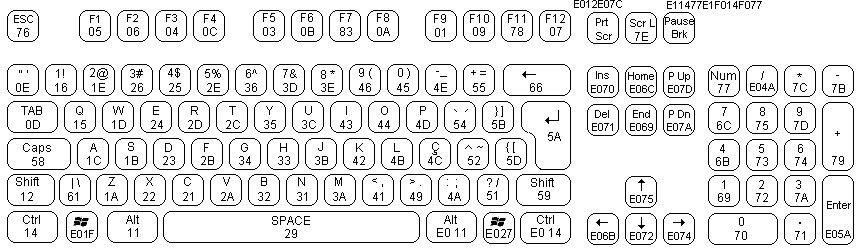
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Serviço** | **$v0** | **Argumentos** | **Resultados** |
| Print Integer | 1  101 | a0=inteiro  a1=coluna  a2=linha  a3=cores  a4=frame | Imprime o número inteiro complemento de 2 a0 na posição (a1,a2) com as cores a3={0...0BBGGGRRRbbgggrrr} BGR fundo; bgr frente |
| Print Float | 2  102 | fa0=float  a1=coluna  a2=linha  a3=cores  a4=frame | Imprime o número float em fa0 na posição (a1,a2) com as cores a3 |
| Print String | 4  104 | a0=endereço string  a1=coluna  a2=linha  a3=cores  a4=frame | Imprime a string terminada em NULL (.string) presente no endereço a0 na posição (a1,a2) com as cores a3 |
| Read Int | 5  105 |  | Retorna em a0 o valor inteiro com sinal lido do teclado. |
| Read Float | 6  106 |  | Retorna em fa0 o valor float lido do teclado. |
| Read String | 8  108 | a0 endereço do buffer de entrada  a1 número de caracteres máximo | Retorna no endereço a0 o conjunto de caracteres lidos, terminando com /0. |
| Print Char | 11  111 | a0=char (ASCII)  a1=coluna  a2=linha  a3=cores  a4=frame | Imprime o caractere a0 (ASCII) na posição (a1,a2) com as cores a3 |
| Exit | 10  110 |  | Retorna ao sistema operacional. Na DE1-SoC trava o processador. |
| Read Char | 12  112 |  | Retorna em a0 código ASCII do caractere da tecla pressionada |
| Time | 30  130 |  | Retorna o tempo do sistema (número de ciclos de clock)  a0 = parte menos significativa  a1 = parte mais significativa (zero na DE1-SoC) |
| MIDI Out  assíncrono | 31  131 | a0 = pitch  a1 = duração ms  a2 = instrumento (1)  a3 = volume | Gera o som definido e retorna imediatamente |
| Sleep | 32  132 | a0=tempo(ms) | Aguarda a0 milissegundos |
| MIDI Out  síncrono | 33  133 | a0 = pitch  a1 = duração ms  a2 = instrumento (1)  a3 = volume | Gera o som definido e retorna apenas após o término |
| print integer  hexadecimal | 34  134 | a0=inteiro  a1=coluna  a2=linha  a3=cores | Imprime, em hexadecimal, o número inteiro de 32 bits em a0 na posição (a1,a2) com as cores a3 |
| Rand | 41  141 |  | a0 = número randômico de 32 bits |
| Clear Screen | 48  148 | a0 = cor  a1=frame | Limpa a frame a1(0 ou 1) com a cor a0 |

Os ecalls 1xx são para utilização com o Bitmap Display Tool e o Keyboard Display MMIO Tool do Rars, e também funcionam de maneira idêntica com a DE1-SoC.

* **Interface Teclado PS2**

O teclado PS2 utiliza um protocolo que envia serialmente um código de 8 bits (scancode) para cada tecla pressionada. O “despressionamento” de uma tecla é identificada pelo envio do marcador 0xF0 antes do scancode da tecla que foi solta.

A figura abaixo mostra o mapeamento dos scancodes (em hexa) das teclas.



Teclas especiais (Pause, Prt Scr, setas direcionais, etc,) utilizam códigos de 2 ou mais bytes.

Há 3 formas implementadas para acessar os dados fornecidos por um teclado PS2.

1. Buffer de scancodes:

Nos endereços Buffer0Teclado e Buffer1Teclado está um buffer de 8 bytes que armazena os scancodes enviados pelo teclado.

Buffer1 Buffer0

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 8 | 7 | 6 | 5 |  | 4 | 3 | 2 | 1 |

O código mais recente está localizado no byte 1 do Buffer0 e o mais antigo no byte 4 do Buffer1, permitindo assim a análise da sequência de pressionamento das teclas ao longo do tempo.

1. Mapeamento das teclas (KeyMap):

Nas words dos endereços KeyMap0, KeyMap1, KeyMap2 e KeyMap3 está o mapeamento em 128 bits de todos os scancodes das teclas, onde bit 1 significa que a tecla está acionada no momento, 0 a tecla não está pressionada.

Ex.: Memoria[KeyMap0] & (1<<(29-1)) indica se a tecla W (scancode 0x1D = 29) está acionada ou não

A tecla ENTER (0x5A) é mapeada no bit 90, isto é, Memoria[KeyMap2] & (1<<(90-64)-1)

Deste modo pode-se verificar o pressionamento simultâneo de teclas.

Obs.: Cuidar, pois vários teclados PS2 comerciais não permitem o acionamento simultâneo de determinadas combinações de 3 ou mais teclas.

1. Keyboard Display MMIO Tool do Rars

O endereço KDMMIO\_Ctrl possui no seu bit menos significativo a informação se há ou não uma tecla pressionada.

O endereço KDMMIO\_Data possui o código ASCII da tecla pressionada. Permitindo assim a detecção do pressionamento de uma tecla de cada vez.

* **Interface VGA:**

A interface VGA é idêntica ao Bitmap Display Tool do Rars.

Estão implementados 2 frames buffers localizados nos endereços VGAADDRESSINI0 = 0xFF000\_0000 e VGAADDRESSINI1 = 0xFF10\_0000 selecionáveis pelo endereço VGAFRAMESELECT, que deve conter a word 0 ou 1, ou pela chave SW[6].

O arquivo frame0.mif é carregado na memória VGA frame0 e o arquivo frame1.mif na frame1 ao inicializar o processador.

Mapeamento da tela VGA para resolução 240 linhas(Y) × 320 colunas(X) pixels:

Mapeamento: (X,Y) => Endereço Base (0xFF00 0000) + Y × 320 + X

0xFF**0**00000

0xFF**0**0013F

0xFF**0**12BFF

0xFF**0**12AC0

Com X de 0 a 319 e Y de 0 a 239.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 7-6 | 5-3 | 2-0 |
| BB | GGG | RRR |

Cor do Pixel: 8 bits

Obs.: A cor 0xC7 (Magenta) corresponde ao transparente, tanto na DE1-SoC quanto no Bitmap Display Tool do Rars.

Ver exemplo: testeVGA.s

Obs: O programa bmp2oac.exe converte um arquivo .bmp (24 bits/pixel gerado pelo **paint.net**) para:

1. .bin, para uso no Rars (leitura de arquivo)
2. .mif para carregar diretamente na memória de vídeo VGA (Quartus)
3. .s em uma linha assembly para incluir no .data

* **Interface de áudio CODEC:**

As amostras de 16 bits de áudio estéreo são lidas e escritas nos endereços indicados na tabela de mapa de memória a uma frequência de 44.1kHz.

Sincronismo do Processador com o CODEC segue o seguinte protocolo de comunicação:

1. Processador coloca o Ctrl2 em 0, indicando ao CODEC para enviar uma amostra;
2. Processador aguarda CODEC colocar Ctrl1 em 1, que indica que uma amostra está pronta;
3. Processador lê o valor IN e escreve o valor OUT;
4. Processador coloca o Ctrl2 em 1, indicando ao CODEC que terminou de ler e escrever a amostra;
5. Processador aguarda CODEC colocar Ctrl1 em 0, que indica que o CODEC está pronto novamente
6. Reinicio do ciclo

Onde o bit [0], nas palavras de controle Ctrl1 e Ctrl2, corresponde ao canal R e o bit [1] ao canal L. Com isto é possível o controle, aquisição e síntese de áudio para os 2 canais de forma independente.

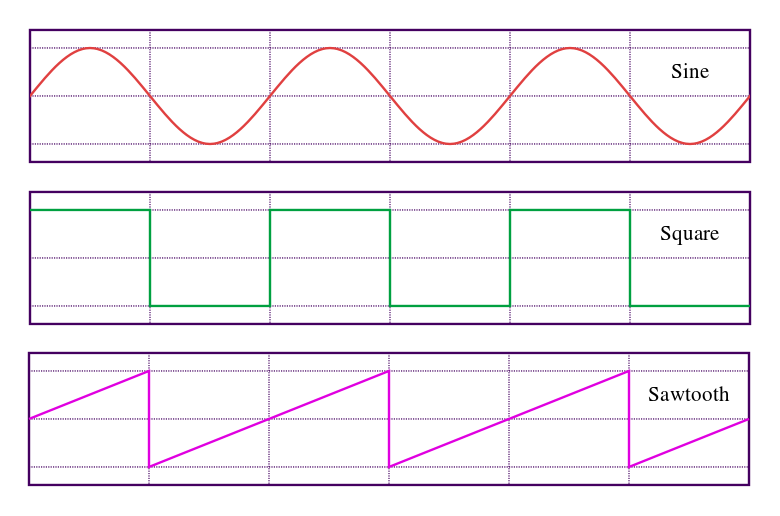
Ver exemplo: testeAUDIO.s

* **Interface de áudio: Sintetizador Polifônico (by Lucas Carvalho)**

O sintetizador de áudio utilizado no curso de OAC é um sintetizador polifônico compacto capaz de tocar até 8 notas simultaneamente. Foi baseado no padrão MIDI e é formado por três sistemas:

### Oscilador:

Gera formas de onda em várias frequências. É responsável por criar o som base de cada nota em 3 possíveis formatos:

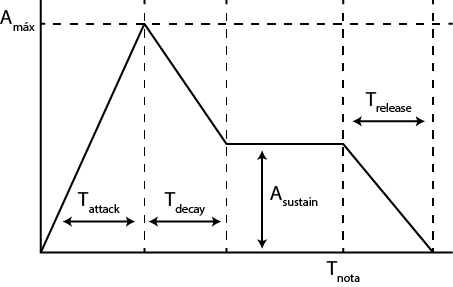


### Filtro:

Um filtro passa-baixas pode ser ativado ou não na saída do oscilador. Sua frequência de corte é a própria frequência da nota e seu fator de qualidade é configurável.

### Envelope:

O tempo de vida de uma nota é dividido em 4 seções: *Attack*, *Decay*, *Sustain* e *Release*. Elas determinam uma variação na amplitude da onda resultando num som mais natural.



# Interface

Para a implementação do sintetizador no RISC-V é necessário utilizar o módulo *Sintetizador*, que encapsula todos os sistemas.

/\*

\* Entradas do CODEC de áudio da própria DE2.

\*/

**input** AUD\_DACLRCK**;**

**input** AUD\_BCLK**;**

Nestas entradas devem ser passados os pinos da DE1-SoC de mesmo nome. São dois pinos de entrada que controlam a taxa de amostragem do CODEC.

/\*

\* Comando de início/fim de uma nota.

\*/

**input** NOTE\_PLAY**;**

**input** **[**6**:**0**]** NOTE\_PITCH**;**

O sintetizador funciona recebendo comandos para que inicie ou termine uma nota. Por exemplo, caso queira tocar 3 notas simultâneas, você deve enviar 3 comandos de início seguidos.

Para enviar um comando atribua a *NOTE\_PLAY* um valor de 1 para iniciar ou 0 para terminar uma nota. *NOTE\_PITCH* determina a nota deste comando, seguindo o padrão MIDI (pesquise por *MIDI Note Table*).

Em toda subida de *AUD\_DACLRCK*, um comando é lido. Comandos repetidos ou inválidos (terminar uma nota que nunca foi iniciada) são entendidos como se não houvesse comando.

/\*

\* Configurações do oscilador.

\*/

**input** **[**1**:**0**]** WAVE**;**

**input** NOISE\_EN;

A entrada *WAVE* define qual forma de onda será gerada pelo oscilador, como mostra a seguinte tabela de referência.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 0 | 1 | 2 | 3 |
| Mudo | Senoide | Quadrada | Dente-de-serra |

O oscilador adicionará um certo ruído à onda gerada se *NOISE\_EN* assumir valor 1. Este mecanismo é útil na criação de efeitos sonoros. Sintetizadores de vídeo games antigos utilizavam uma técnica similar para simular explosões, impacto, dano etc.

/\*

\* Configurações do filtro.

\*/

**input** FILTER\_EN;

**input** **[**7**:**0**]** FILTER\_QUALITY**;**

O filtro passa-baixas é ativado se a entrada *FILTER\_EN* estiver alta. Sua frequência de corte é a própria frequência da nota sendo filtrada e seu fator qualidade pode ser configurado pela entrada *FILTER\_QUALITY*, que é interpretada como ponto fixo Q8.

O fator de qualidade controla a banda de frequências que passa pelo filtro. Caso assuma o valor zero, o filtro se comporta como um passa-baixas comum, sem ressonância. Uma onda quadrada filtrada com fator de qualidade alto se aproxima bastante de uma senoide.

/\*

\* Configurações do envelope aplicado durante a vida de uma nota.

\*/

**input** **[**6**:**0**]** ATTACK\_DURATION**;**

**input** **[**6**:**0**]** DECAY\_DURATION**;**

**input** **[**6**:**0**]** SUSTAIN\_AMPLITUDE**;**

**input** **[**6**:**0**]** RELEASE\_DURATION;

Toda nota tem uma envoltória aplicada a sua onda enquanto é tocada. Uma tecla de piano, ao ser pressionada, gera um som alto inicial que decai e mantém uma altura constante. Quando a tecla é solta a nota some aos poucos até ficar inaudível. Este processo é simulado em sintetizadores por meio do envelope de 4 seções mostrado anteriormente.

A duração de cada fase é configurável, exceto a de *Sustain* cuja amplitude é variável. A escala destes valores é, assim como definido no padrão MIDI, dependente da implementação, ou seja, é necessária uma certa experimentação.

/\*

\* Amostra de saída do sintetizador.

\*/

**output** **[**15**:**0**]** SAMPLE\_OUT;

Os sistemas internos do sintetizador processam todas as notas e produzem uma nova amostra a cada subida do clock de amostragem *AUD\_DACLRCK*. Esta amostra deve ser repassada ao CODEC da DE1-SoC. Este processo não é parte do sintetizador e já está implementado no processador RISC-V do curso.

* **Interface de áudio: Sintetizador Polifônico (Grupo 1 - 2015/1 by Luiz Henrique Campos)**

1 - Foi criada uma memória de dados de duas portas UserDataBlockDouble. Uma porta de escrita e leitura para o uso da CPU e uma porta somente de leitura para o sintetizador (na pasta item6/core/memoria). FOI RETIRADA ESSA CARACTERÍSTICA

2 - Outra PLL foi usada para gerar o AUD\_CTRL\_CLK e "afinar" o sintetizador.

3 - Outros Parâmetros adicionados :

NOTE\_SYSCALL\_ADDRESS = 32'hFF20 0178,

NOTE\_CLOCK = 32'hFF20 017C,

NOTE\_MELODY = 32'hFF20 0180,

MUSIC\_TEMPO\_ADDRESS = 32'hFF20 0184,

MUSIC\_ADDRESS = 32'hFF20 0188,

PAUSE\_ADDRESS = 32'hFF20 018C

4 - Adição do módulo SynthControl que toca a música sequencialmente na memória de dados está na pasta **/core/Sintetizador**.

Existem 2 tipos de Configuração para a nota na memória, uma para ecall e outra para a música que será tocada sequencialmente. FOI RETIRADA ESTA CARACTERÌSTICA

**Configuração para notas que serão tocadas sequencialmente**:

**Melody** – 1 se for melodia; 0 se for acorde. Se esse bit for 1, a próxima nota só será tocada ao fim desta. Se for zero, a próxima nota será tocada na próxima borda de subida de AUD\_DACLRCK.

**Instrument** – 16 possibilidades de instrumentos (0 - 15).

**Volume** - 128 possibilidades de amplitude da nota (0 – 127).

**Pitch** – 128 possibilidades de notas musicais segundo o padrão MIDI (0 – 127).

**End** – A última nota da música deverá setar esse bit para 1 para o controlador do sintetizador parar de percorrer a memória.

**Repeat** – Se esse bit estiver setado para 1, a próxima nota será a nota salva no endereço inicial.

**Duration (Q4)** – Duração em ponto fixo de cada nota. O valor é relativo à duração em milissegundos da Nota Base (Semínima). O valor da duração da Nota Base em milissegundos será passado para o endereço 0xFFFF020C. A partir daí o hardware atribuirá a duração em milissegundos equivalente para cada nota baseado em seus 8 primeiros bits (Duração – Ponto Fixo Q8).

„= Semibreve 4 x Nota Base (0100.0000)

Ó= Mínima 2 x Nota Base (0010.0000)

Œ= Semínima Nota Base (0001.0000)

‰= Colcheia ½ x Nota base (0000.1000)

Ù= Semicolcheia ¼ x Nota Base (0000.0100)

Û= Fusa 1/8 x Nota Base (0000.0010)

Ì= Semifusa 1/16 x Nota Base (0000.0001)

Por exemplo, se a duração da Nota base for 400 milissegundos, a duração de (0000.0010) será 400 x 1/8 = 50 milissegundos.

**Configuração para notas do ecall (31 e 33)**:



A word será salva no endereço 0xFF10 0200.

**Melody** – 1 se for ecall 33; 0 se for ecall 31. Em resumo, se esse bit for 1, a próxima nota só será tocada ao fim desta. Se for zero, a próxima nota será tocada na próxima borda de subida de AUD\_DACLRCK.

**Instrument** – 16 possibilidades de instrumentos (0 - 15). (SÓ 1 IMPLEMENTADO)

**Pitch** – 128 possibilidades de notas musicais segundo o padrão MIDI (0 – 127).

**Duration** – Duração da nota em milissegundos.

* **Interface Infravermelho: (Grupo 2 02/2016)**

A sigla IRDA (*Infrared Data Association*) faz referência a um conjunto de protocolos para comunicação sem fio entre dispositivos. A transferência de dados é feita na forma de pacotes que são enviados serialmente. A transmissão começa com o envio de 1 bit de início, seguido por 8 bits de dados e 1 bit de paridade e termina com a transferência de 1 bit de parada. Não é possível enviar e receber pacotes de dados simultaneamente. Para realizar a comunicação entre dispositivos, são necessárias uma porta de recepção (*receiver*) e uma porta de transmissão (*transmitter*).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| IRDA\_CONTROL | Controle do IRDA | 0xFF20 0500 |
| IRDA\_RXD | Receptor IRDA | 0xFF20 0504 |
| IRDA\_TXD | Transmissor IRDA | 0xFF20 0508 |

IRDA\_CONTROL (4 bytes)- wReadData[1] indica que tem dado pronto para leitura e wReadData[0] se existe dado sendo transmitido.

IRDA\_RXD (4 bytes)- é de onde vai ser lido o dado do Irda

IRDA\_TXD (4 bytes)– é o dado que vai ser transmitido pelo Irda (não tem na DE2-70, e não foi testado na DE1-SoC)

* **Interface Stopwatch: (Grupo 2 02/2016)**

STOPWATCH\_ADDRESS (0xFF20 0510)

Retorna o tempo em ms desde que a FPGA foi ligada.

Obs.: Muito útil para fazer temporização no jogo.

* **Interface LSFR: (Grupo 2 02/2016)**

LFSR\_ADDRESS (0xFF20 0514)

Retorna um número pseudoaleatório que foi gerado pela técnica de *Linear Feedback Shift Register* (LFSR).