

CALCULADORA DIDÁTICA COM CIRCUITO DIGITAL TTL

José Bonifácio Neves¹, Luis Filipe Wiltgen Barbosa²

^{1,2}LRA/FEAU/UNIVAP, São José dos Campos – SP – Brasil
wiltgen@univap.br

Resumo- Este artigo consiste no projeto e desenvolvimento de uma calculadora digital didática baseada integralmente em componentes com tecnologia de integração de circuitos integrados do tipo TTL. Esta é capaz de executar as funções básicas de uma calculadora (soma, subtração, multiplicação, divisão e potenciação). A calculadora possui os periféricos de entrada e saída típicos deste equipamento, um teclado, um visor e um sistema computacional capaz de executar os algoritmos das funções aritméticas da calculadora. O sistema computacional foi totalmente implementado com circuitos integrados da família TTL programável, permitindo a implementação de qualquer função matemática para a calculadora de forma que a mesma pode ser facilmente modificada e alterada por estudantes durante laboratórios de eletrônica digital e microprocessadores.

Palavra-chave: circuitos integrados, lógica digital, arquitetura de computadores, calculadora.

Área do Conhecimento: III Engenharia

Introdução

O objetivo deste projeto foi a implementação de uma calculadora didática usando circuitos integrados da família TTL (Texas, 1978), que execute as operações de soma, subtração, multiplicação, divisão e potenciação de números inteiros com até 6 dígitos.

Uma calculadora é um sistema computacional dedicado (Langdon, 1979), que possui uma unidade central de processamento e controle, memória e periféricos de entrada e saída de dados.

Nesta calculadora didática é possível visualizar todos os circuitos digitais que compõem a máquina, diferentemente do que ocorre em uma calculadora digital comum. Em uma calculadora digital comum todos estes circuitos e componentes estão encapsulados em um único circuito integrado (CI).

Durante o desenvolvimento desta máquina foi possível inclusive construir os programas de computador responsáveis pela formatação e escrita dos códigos necessários para a implementação das funções aritméticas da calculadora didática. Através dos programas escritos em Visual Basic (Nelson, 1994), o estudante pode implementar outras funções, ou modificar as funções existentes na calculadora.

O subsistema I é a unidade lógica e aritmética (ULA). Esta ULA esta implementada em um circuito integrado 74LS181 e seus registradores são compostos pelo circuito integrado 74LS670.

O subsistema II é a memória do programa com os algoritmos das funções executadas pela calculadora. A memória esta implementada em uma EEPROM AT28C64 com uma memória de dados do tipo RAM HY 6264.

O subsistema III é a unidade de controle, que tem a finalidade de buscar e executar as instruções que estão armazenados na memória de programa.

Esta unidade gera os sinais que controlam o fluxo de dados dentro do circuito I, realizando a interface entre os circuitos I e II, entre os circuitos I e IV, e finalmente entre os circuitos IV e I.

Por ser uma unidade de controle microprogramada foi utilizada uma memória AT 28C64 para armazenar os microprogramas.

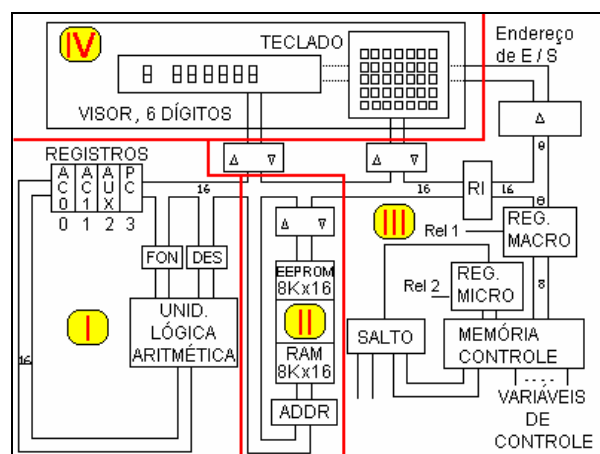


Figura 1 – Diagrama da calculadora TTL.

O subsistema IV, é formado por um teclado de 20 teclas (10 dígitos, 1 soma, 1 subtração, 1 multiplicação, 1 divisão, 1 potenciação, 1 sinal de igual, 1 limpar e 3 reservas), e um visor de 6 dígitos numéricos além de LEDs para indicação da operação.

Desenvolvimento da Calculadora TTL

Esquema Básico e Divisões dos Circuitos Digitais

Toda calculadora eletrônica é formada por uma unidade central de processamento, uma unidade de entrada de dados (teclado), uma unidade de saída de dados (visor), uma fonte de tensão e pelos barramentos que interligam estes circuitos.

Na Figura 2 é possível observar a unidade central de processamento da calculadora.

A unidade central de processamento é formada por uma unidade de controle (1), uma unidade lógica e aritmética (2), uma memória com o programa que executa os algoritmos das funções (3) da calculadora e uma memória que armazena os dados digitados pelo usuário (4).

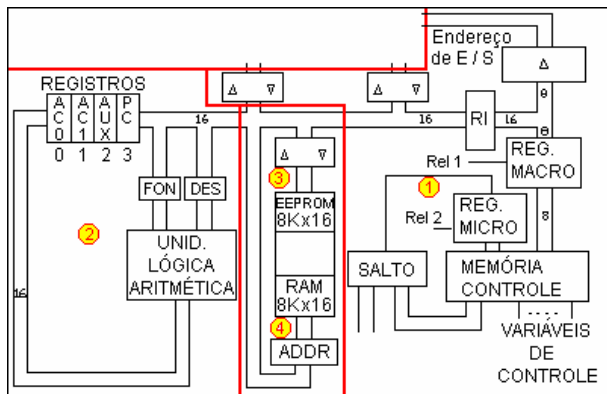


Figura 2 – Diagrama da Unidade Central de Processamento (UCP) da Calculadora TTL.

O barramento de dados e endereços terá um comprimento de 16 bits. Esta escolha foi um compromisso entre uma possível simplificação da unidade de controle, ou o aumento da quantidade de circuitos integrados.

O conjunto de instruções foi escolhido para permitir saltos condicionais e incondicionais, deslocamento de dados, transferência de dados entre dispositivos de entrada e acumulador e entre acumulador e dispositivo de saída e finalmente operações lógicas e aritméticas com dados do acumulador.

O repertório de instruções é bem abrangente, mas se for necessário podem ser acrescentadas novas instruções.

Unidades de Armazenamento (memória)

O endereço de memória onde o dado será gravado ou lido é armazenado no registro ADDR.

A memória está dividida em 8 bancos que vão de 0 até 7. Estes bancos de memória são selecionados pelos três últimos bits do endereço ADDR. Assim cada banco deverá ter 8k endereços. O banco 0 estará endereçando duas RAMs HY 6264 que tem cada uma 8k palavras de

8 bits, totalizando 8k palavras de 16 bits. O banco 7 estará endereçando duas EEPROMs AT 28C64 que tem cada uma 8k palavras de 8 bits, totalizando 8k palavras de 16 bits.

A RAM cobrirá os endereços de 0 até 8191 e a EEPROM cobrirá os endereços de 57.343 até 65.534. No banco de memória EEPROM ficará o programa com os algoritmos das funções da calculadora. No banco de memória RAM ficarão armazenados os dados temporários digitados pelo usuário. Na Figura 3 tem-se o diagrama de fluxo do circuito de memória.

Os sinais de controle são provenientes da unidade de controle que gera os sinais a seguir:

- M1 : habilita um banco de memória;
- M2 : habilita a leitura da memória;
- M3 : habilita a escrita na memória RAM;
- M4 : grava no ADDR end. de memória.

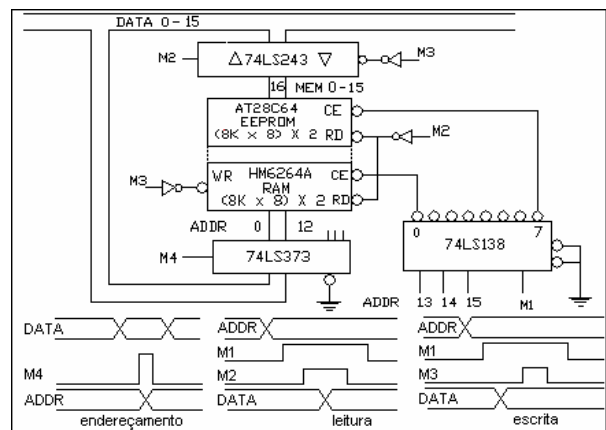


Figura 6 – Diagrama de fluxo da memória

Unidades de Processamento (controle)

As unidades de controle, dos sistemas digitais, podem ser de controle fixo ou controle micro-programado.

No controle fixo a palavra de instrução é decodificada por blocos lógicos projetados usando as técnicas de minimização de funções booleanas. O grande inconveniente deste tipo de controle é que uma alteração que se faça necessária envolve um re-projeto de toda a unidade de controle.

No controle micro-programado a instrução é enviada a uma memória que contém a decodificação pré-gravada. A grande vantagem deste tipo de controle está na simples re-programação da memória de controle no caso de uma modificação em uma instrução.

Esta calculadora usa uma unidade de controle micro-programada que pode ser analisada na Figura 4 pode-se ver seu diagrama de fluxo da unidade de controle.

Para a execução de cada instrução são necessários três ciclos distintos (Taub, 1984) que

são: ciclo de busca, ciclo de preparação e ciclo de execução.

No ciclo de busca a instrução é pega na memória e gravada no registro RI, no ciclo de preparação o PC é incrementado para apontar para a próxima instrução a ser executada e no ciclo de execução a unidade de controle manipula os bits de controle para o correto fluxo de dados e que a operação correta seja feita.

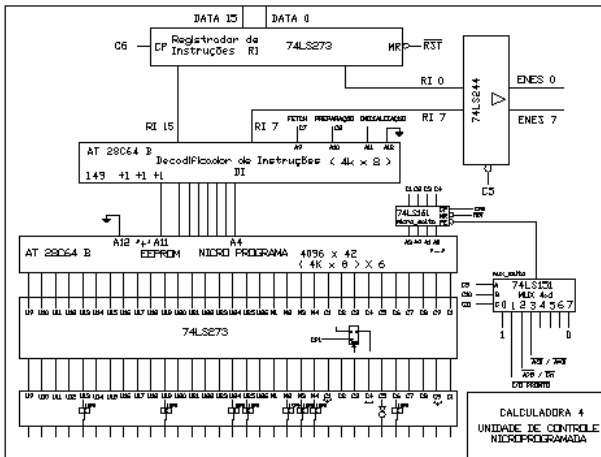


Figura 4 – Diagrama do fluxo da Unidade de Controle.

O decodificador, que usa uma memória apenas de leitura, gera um código para cada instrução a ser executada e esse código é usado para endereçar a memória de controle que tem um contador de zero até quinze, utilizado também, para endereçar as micro-operações. Desta forma, a unidade de controle pode executar até 16 micro-operações para cada macro-operação (instrução).

Os ciclos de busca, preparação e execução são macro-operações que possuem várias micro-operações definidas no projeto da unidade de controle, da arquitetura do hardware e do conjunto de instruções.

Para que os ciclos ocorram e as micro-operações sejam executadas é necessária uma temporização adequada. O ciclo de temporização é mostrado na Figura 5.

Unidade de Entrada

A unidade de entrada é uma placa que possui 20 teclas dispostas em uma matriz de 8 colunas por 3 linhas e o circuito eletrônico capaz de identificar a tecla pressionada, reter o código desta tecla e informar a placa de controle que uma tecla foi pressionada e, finalmente, enviar à unidade de controle o código ASCII da tecla pressionada, quando uma operação de leitura for realizada. O circuito eletrônico foi desenvolvido usando-se circuito integrado CMOS por consumirem pouca corrente elétrica.

Unidade de Saída

Também foram utilizados circuitos integrados CMOS. O circuito integrado *HEF 45438 B* possui um registro interno no qual é armazenado o número que é mostrado no visor da calculadora, além do *driver* que fornece sinal para o visor.

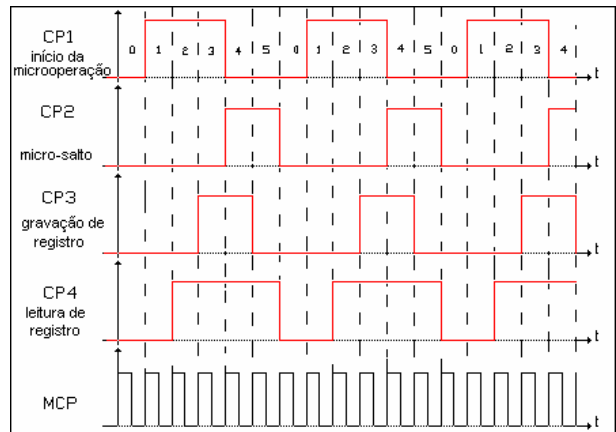


Figura 5 – Ciclos de temporização para as operações no microprocessador.

O visor é formado por um display simples de 7 segmentos, *A-551E*, anodo comum, vermelho de alto brilho.

A memória *EEPROM AT 28C64B* seleciona qual visor receberá o número colocado no barramento de saída.

Circuito Geral da Calculadora Digital

A calculadora é formada por uma fonte de + 5 Vcc e 9 A, que fornece energia para a placa de circuito impresso onde então as memórias com os algoritmos, as memórias de controle, a unidade lógica e aritmética e toda a lógica de controle, e para a placa interface onde estão os mostradores e as teclas.

A placa interface tem um conjunto de mostradores numéricos com 6 dígitos mais um para o sinal além de vários *LEDs* para indicar a operação, o sinal do número, etc.

O conjunto de teclas que esta na interface tem os 10 dígitos mais 5 operações mais 1 de igual e 1 de limpeza.

A placa interface liga-se a placa principal pelo conector lateral que existe na placa principal. Sendo a alimentação para a placa interface fornecida pela placa principal através do próprio conector.

A corrente elétrica que a placa de interface poderá consumir deverá ser no máximo de 1,5 A cada uma.

A placa principal tem um botão de *reset* que reinicializa a unidade de controle. Tem uma chave que seleciona o *clock* interno ou externo. Tem uma chave para fazer o *clock* externo.

Na Figura 6 tem-se a foto da montagem da placa de controle.



Figura 6 - Foto da placa de controle sendo montada com os soquetes.

Resultados e Testes de Funcionamento

Para testar toda a placa de controle de modo eficiente adotou-se a técnica de montar grupos funcionais de circuito integrado e testar se estão funcionando.

O primeiro passo foi testar a possibilidade de ter um curto circuito na alimentação.

O próximo passo foi testar a fonte de alimentação.

A seguir foram testados os circuitos integrados do relógio manual, do oscilador interno, do circuito de *reset* e do circuito de temporização: CP1, CP2, CP3 e CP4.

O primeiro problema detectado foi a inversão da serigrafia dos diodos D4 e D5. Depois foi o não funcionamento do oscilador interno U63A, devido ao alto valor do resistor R4 que de 10 k Ω passou para 150 Ω . Aproveitou-se para reduzir a frequência de oscilação com o uso de um capacitor eletrolítico de 470 μ F no lugar de 100 k μ F para C1.

Para os próximos testes é necessário dispor de um gravador de *EEPROM* para gravar as micro-operações nas memórias de controle.

Conclusão

O projeto da calculadora didática utilizando circuitos integrados digitais de pequena e média escala de integração permite ao estudante visualizar de forma clara, como é composto um sistema microcontrolado em grande escala.

A calculadora está na fase final de montagem, esta pesquisa foi executada durante o trabalho graduação do autor principal, e atualmente o mesmo se dedica na finalização da gravação das memórias e detalhes de acabamento da máquina.

Espera-se, em futuro próximo, utilizar esta calculadora em aulas práticas de eletrônica digital no qual os estudantes terão a chance de inserir novas funções na calculadora inclusive com a substituição de alguns componentes.

Referências

- TEXAS INSTRUMENTS. **Projetos com Circuitos Integrados TTL**. Rio de Janeiro. Guanabara Dois, 1978.

- LANGDON JR., G. G., FREGNI, E. **Projeto de Computadores Digitais**. São Paulo. Edgard Blücher, 1979.

- NELSON, R. **Visual Basic For Windows**. São Paulo. Makron Books do Brasil, 1994.

- TAUB, H. **Circuitos Digitais e Microprocessadores**. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, 1984.