

# Medidor de Indutância e Capacitância

## MICROPROCESSADORES E MICROCONTROLADORES

Filipe Alves de Sousa (15/0125429), Flavio Vieira Leão (15/0125682)

Engenharia Eletrônica

Faculdade Gama - Universidade de Brasília

Gama, DF

E-mail: fylpew@gmail.com, flavio.vl@gmail.com

Diogo Caetano Garcia

### RESUMO

Este projeto tem o intuito de construir medidor, pequeno e de simples uso, de Indutância e Capacitância utilizando de um microcontrolador MSP430 de baixo consumo de potência desenvolvida pela Texas Instruments..

### I. INTRODUÇÃO

De acordo com o Inmetro, instrumentos de medição são dispositivos utilizados para mensurar grandezas físicas, tornando possível a obtenção de dados, em um determinado sistema e em diferentes contextos e aplicações. [1]

O uso de equipamentos que medem de forma precisa, conjuntamente com os avanços em pesquisas e experimentos voltados a Engenharia Eletrônica, possibilitaram operações sofisticadas que auxiliam o contínuo estudo de componentes. Como no caso da análise de capacitores e indutores, cujas propriedades de interesse a serem verificadas são respectivamente, capacitância e indutância.

A capacitância é uma grandeza escalar, dada pela quantidade de energia elétrica que fica armazenada no campo elétrico de um capacitor, cuja unidade de medida é o Farad [F]. E a indutância é uma grandeza, determinada pela quantidade de energia elétrica que fica armazenada no campo magnético de um indutor, medida em uma unidade conhecida como Henry [H]. [2]

Devido à grande demanda por quantificar/medir e contribuir com outras tantas particularidades de circuitos com os quais trabalha-se com estes

componentes, foi proposta a implementação de um instrumento capaz de aferir as grandezas supracitadas.

### II. OBJETIVO

O objetivo do projeto é de desenvolver um instrumento de fácil manuseio e baixo custo, utilizando o MSP430, cuja finalidade é medir as grandezas Indutância e Capacitância de cada componente eletrônico a ser analisado, respeitando-se os limites de tolerância em relação aos seus respectivos valores teóricos.

### III. REQUISITOS

O medidor deverá, de forma satisfatória, medidas precisas de capacitores e indutores:

**Capacitância:** Faixa de 20pF até centenas de microfarads com precisão de até  $\pm 5\%$ .

**Indutância:** Faixas de 20 $\mu$ H até centenas de milihenry com precisão de até  $\pm 5\%$ .

### IV. JUSTIFICATIVA

Os equipamentos de medição são de suma importância para quem trabalha com eletrônica. Visto que eles permitem a análise de defeitos, diagnósticos e aferição de valores reais dos componentes.

Existem muitos multímetros que fazem medidas de indutância e capacitância, porém, geralmente são equipamentos de alto custo, difícil acesso e que, muitas

das vezes, não são disponibilizados aos alunos de cursos técnicos e de graduação.

A motivação deste projeto consiste em complementar os instrumentos básicos de medição, já existentes, para que todo aluno de eletrônica possa comprar ou fazer o seu medidor de capacitância e indutância.

## V. BENEFÍCIOS

O instrumento a ser projetado poderá ser utilizado para auxiliar na verificação de valores de capacitância e indutância de forma prática, facilitando na identificação de cada componente a ser medido. Devido ao MSP430 ser um microcontrolador de baixo consumo energético, por ser um equipamento portátil, o medidor poderá ser alimentado com uma bateria ou com um laptop comum. Além do fácil manuseio, esse dispositivo armazenará os valores medidos, será de baixo custo e poderá melhorar de forma significativa o desempenho em estudos de circuitos eletrônicos.

## VI. DESCRIÇÃO DO HARDWARE

Serão utilizados os seguintes componentes:

- Microcontrolador MSP430G2553;
- Display LCD– 16x2
- Bateria de alimentação 9V;
- Protoboard
- Resistores: 3x100K, 2x47K e 100;
- Indutor: 82uH
- Capacitores: 2x1nF, 10uF e 0.1uF ;
- LM7805;
- Fios e Jumpers Macho;
- 

O circuito analógico foi separado em 3 partes, uma para medir indutância e duas para capacitância (capacitância até 1 nF e a outra para maiores que 1nF).

A medição de capacitores menores e indutores foi usada por meio da abordagem de um circuito ressonador LC (tanque de ressonância). Usando um indutor e capacitor de precisão conhecidos gerando uma frequência de oscilação inicial, após isso, com o oscilador funcionando foi adicionado um indutor desconhecido

em série ou um capacitor desconhecido em paralelo com o ressonador gerando uma nova frequência de oscilação. Assim, podemos medir a variação da frequência provocada adicionando um indutor ou capacitor desconhecido e determinar o valor desconhecido calculando-se a partir da fórmula de frequência de ressonância abaixo:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C+C*)}}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L+L*)C}}$$

$$L_x = \left[ \left( \frac{f_r}{f_2} \right)^2 - 1 \right] L$$

$$C_x = \left[ \left( \frac{f_r}{f_1} \right)^2 - 1 \right] C$$

Onde:

Fr é a frequência de oscilação sem adicionar nenhum componente desconhecido.

F1 é frequência de oscilação com o capacitor desconhecido adicionado em série.

F2 é frequência de oscilação com o indutor desconhecido adicionado em paralelo.

L é a indutância do tanque conhecida.

C é a capacitância do tanque conhecida.

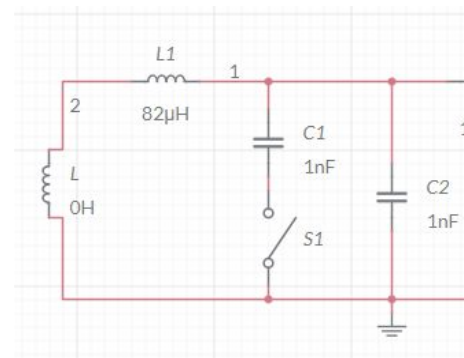
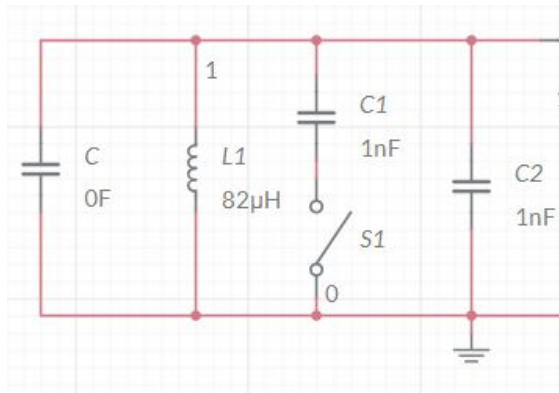


Figura 1. Circuito ressonante LC com indutor desconhecido



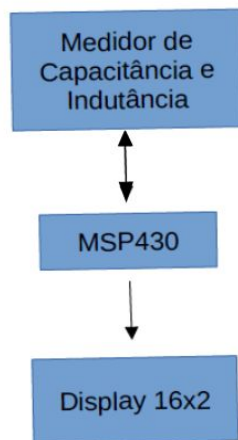
**Figura 2.** Circuito ressonante LC com capacitor desconhecido

Na medição de capacitores maiores que 1nF, foi usado o ciclo de carga e descarga, associando-se o capacitor a um resistor conhecido, com um timer preciso, onde é medido o tempo de carga e descarga deste capacitor. Como o tempo de carga é linear, ele foi usado para calcular o valor da capacitância a partir da fórmula da constante de tempo abaixo:

$$\tau = RC \qquad C = \frac{\tau}{R}$$

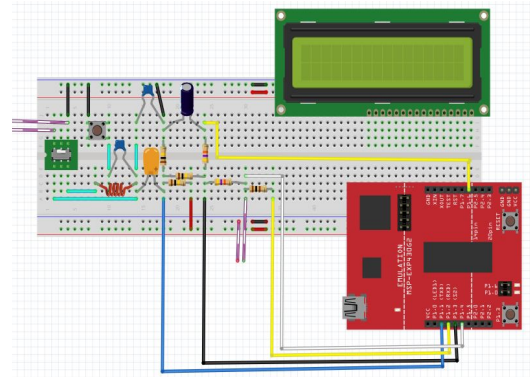
A comunicação com o display está em fase de adaptação, utilizando-se a linguagem C. Foi possível escrever também, uma parte do que diz respeito ao funcionamento conjunto do circuito analógico conectado ao microprocessador para aferir e exibir as medidas dos indutores e capacitores.

Diagrama de blocos funcional do projeto.



**Figura 1.** Diagrama de blocos ilustrando o circuito

A parte digital consiste na comunicação entre o microcontrolador e o display. O arranjo dos componentes utilizados está representado na figura a seguir:



**Figura 2.** Disposição dos componentes utilizados

Neste circuito, a parte do medidor LC (Capacitância até 1nF) utiliza P1.1, P1.3, P1.6. O comparador A é usado junto com outros componentes passivos para formar um circuito de tanque LC. Ele oscila em uma frequência com base nos valores do indutor e do capacitor.

Um interruptor foi usado para selecionar o modo de medição de capacitância ou indutância. Com o componente capacitor/indutor conectado, pode-se obter a frequência da oscilação e verificar o valor L ou C, segundo a equação citada.

A medição de capacitor de alta faixa utiliza os pinos P1.4 e P1.3. O pino P1.4 do microcontrolador foi configurado como entrada inversora do Comparador A (-) e utilizou-se uma tensão de 0.55V interna na entrada não-inversora (+).

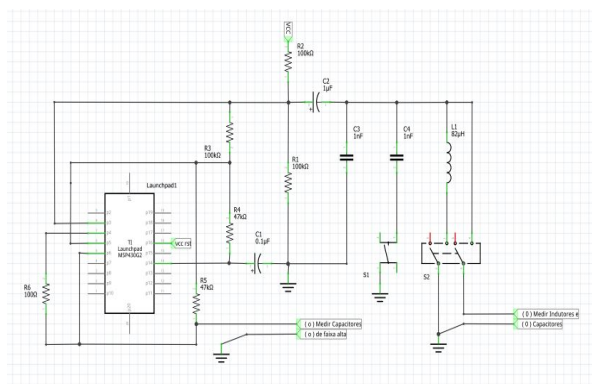
Configurou-se a interrupção do comparador para disparar o Timer A e medir o tempo que leva para carregar um capacitor a ser medido com tensão de 0,55V. Sabendo que o tempo de carga é linear à capacitância, foi usado um valor calibrado armazenado como referência para calcular a capacitância do elemento testado.

O pino P1.3 foi usado para iniciar a carga do capacitor testado através de um resistor de 47k. Então, devido a demora ocorrida durante as medições de capacitores com valores maiores, foi adicionado um resistor com objetivo de medir o valor da resistência interna dos capacitores, ESR (pelo pino P1.2), obtendo-se assim um maior alcance.

Desta forma, foi possível carregar o capacitor desconhecido através do pino P1.3 (resistor de 47k) sendo que quando ele atingia 50 vezes, pode-se conectá-lo ao local de medir via pino P1.2 (com resistor de 100 ohms), para carregar o capacitor testado em menor tempo.

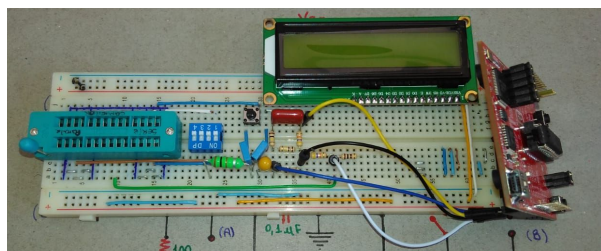
A medição de ESR foi baseada na medição de capacitância de faixa alta (pinos P1.4, P1.3) com um pino P1.2 adicional. Onde utilizou-se o pino P1.4 como entrada ADC. O resistor de 100 ohms foi usado entre os pinos P1.2 e P1.4, com um capacitor de teste no lugar entre P1.4 e terra, esses três nós (P1.2, P1.4 e Gnd) formam um divisor de tensão. Medindo a tensão em P1.4 para encontrar a resistência interna (ou ESR) do capacitor testado.

Conforme a imagem do esquemático a seguir:



**Figura 3. Esquemático do circuito medidor de capacitância**

A imagem a seguir mostra o circuito medidor montado:



**Figura 4 – Foto da montagem do medidor implementado em Protoboard**

O medidor de capacitância e indutância é composto por um circuito analógico elaborado para fornecer os sinais de tensão ao microprocessador MSP430, que por sua vez, integrará os periféricos

utilizados, fará a aquisição e o processamento dos dados e os apresentará em um display.

## VII. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

Foi desenvolvida uma parte do protótipo funcional atendendo os principais requisitos do projeto, que consistem em medir dados, processá-los e mostrá-los em um display.

Utilizou-se a plataforma de desenvolvimento Energia, uma plataforma baseada em C++ semelhante à plataforma de desenvolvimento do Arduino, onde a programação do microcontrolador iniciou-se com a declaração das bibliotecas e das variáveis usadas nesse código (conexões de pinos analógicos para medir tensão no capacitor, um pino de carga e um de descarga do capacitor

## VIII. CONCLUSÃO

A partir dos testes realizados, foram obtidos resultados os quais apresentaram problemas de compatibilidade de software entre as bibliotecas utilizadas e o ambiente de desenvolvimento Energia. Em testes subsequentes, os valores gerados no terminal serial do Energia não foram os valores esperados.

Foi possível verificar que as dificuldades encontradas na implementação desse projeto envolve a comunicação entre o circuito analógico e o microcontrolador. Isso prejudicou o desenvolvimento do projeto para o ponto de controle 2. Entretanto, é possível compreender quais foram os erros cometidos de forma e buscar solucioná-los de forma a implementar e adequar o projeto.

## IX. REFERENCIAS

[1] INMETRO, “Instrumentos de Medição”. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/instrumentosMedicao.asp>> Acesso em: 08 de abr. 2018

[2] Richard C Dorf e James A. Svoboda. Introducao aos Circuitos Eletricos, LTC, 2012

[3] TEXAS INSTRUMENTS. **MSP420:**

Ultra-Low-Power Microcontrollers. Disponível em:

<<http://www.ti.com/lit/sg/slab034v/slab034v.pdf>.>

Acesso em: 08 de abr. 2018.

[4] PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores MSP430 – Teoria e Prática**. s.l. : Érica Ltda, 2005.

## **Anexos**

Código utilizado na programação do  
microcontrolador