

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

UBIRATÃ GODINHO CALDEIRA

**DISPOSITIVO MICROCONTROLADO PARA TESTE DE BOBINA DE
IGNIÇÃO**

**Santo André – São Paulo
2018**

UBIRATÃ GODINHO CALDEIRA

**DISPOSITIVO MICROCONTROLADO PARA TESTE DE BOBINA DE
IGNIÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André, como requisito parcial para conclusão do curso superior de Tecnologia em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Alexander Tressino de Carvalho

**Santo André – São Paulo
2018**

C146d

Caldeira, Ubiratã Godinho

Dispositivo microcontrolado para teste de bobina de ignição / Ubiratã Godinho Caldeira. - Santo André, 2018. – 84f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Alexander Tressino de Carvalho

1. Eletrônica. 2. Giga de teste. 3. Microcontrolador. 4. Veículos. 5. Bobina de ignição. 6. Partida. I. Dispositivo microcontrolado para teste de bobina de ignição.

621.389

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 20 DE DEZEMBRO DE 2018.

**LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
“DISPOSITIVO MICROCONTROLADO PARA TESTE DE BOBINA
DE IGNIÇÃO” DO ALUNO DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.**

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. EDSON CAORU KITANI 

MEMBROS:

PROF. PAULO TETSUO HOASHI PROF. MURILO ZANINI DE CARVALHO **ALUNOS:**UBIRATÃ GODINHO CALDEIRA 

Dedico este trabalho a minha esposa Sandra e meu filho Gabriel, pela paciência e compreensão neste período de ausência do convívio familiar.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão a todos os docentes, em especial ao professor Edson Caoru Kitani, que forneceu a bobina para o desenvolvimento inicial e cuja disciplina foi fundamental para a escolha do tema, assim como ao Engenheiro Maurilio e aos docentes Talles, Bruno e ao ex-aluno Cleysson, todos do SENAI Santo André, que ajudaram nas horas mais difíceis.

“Você precisa fazer aquilo que pensa que não é capaz de fazer.”

Eleanor Roosevelt

RESUMO

Com o aumento do número de veículos em circulação, diversos fatores podem interferir na verificação de funcionamento das bobinas de ignição e por este motivo torna-se interessante o desenvolvimento de um dispositivo para a realização de testes do tipo passa não passa, por lote, alfandegários, final de linha de montagem, controle de entrada em almoxarifados e até validação em balcão de autopeças, de forma a garantir para qualquer parte envolvida no manuseio e utilização da bobina, uma qualidade assegurada. Desta forma, o presente trabalho, tem como objetivo, propor a criação deste dispositivo de teste capaz de identificar, por exemplo, se uma bobina é transistorizada ou não, através de testes específicos. Será realizado um levantamento bibliográfico teórico sobre o assunto, simulações via *software* PROTEUS, e testaremos o protótipo com produtos de mercado disponíveis na oficina FATEC. Para este projeto, será definida uma estrutura, baseada em microcontrolador 16F84A da Microchip e demais componentes discretos, com eventual utilização do LCD 16x2 para ilustrar o status da bobina. Não se descarta o teste de travas elétricas ou outros componentes indutivos.

Palavras chaves: Giga, Dispositivo, Bobina, Ignição, Partida.

ABSTRACT

With the increase in the number of vehicles in circulation, several factors can interfere in the verification of the operation of the ignition coils and for this reason it is interesting to develop a device for conducting tests of the type pass does not pass by lot, customs, end of assembly line, control of entry in warehouses and even validation in counter of auto parts, in order to guarantee for any part involved in the handling and use of the coil, a quality assured. In this way, the present work aims to propose the creation of this test device capable of identifying, for example, whether a coil is transistorized or not, through specific tests. A theoretical literature review will be carried out on the subject, simulations using PROTEUS software, and we will test the prototype with market products available in the FATEC workshop. For this project, a structure based on Microchip 16F84A microcontroller and other discrete components will be defined, with possible use of the 16x2 LCD to illustrate the coil status. Testing of electrical locks or other inductive components is not discarded.

Keywords: Giga, Device, Coil, Ignition, Start.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Máquina de teste para dispositivos elétricos automotivos	16
Figura 2. Acionamento moderno com distribuidor e bobina convencional	18
Figura 3. Acionamento moderno típico de um solenoide (interno ao eletroinjeter)....	18
Figura 4. Experimento de Oersted	19
Figura 5. Bobina de Ruhmkorff	21
Figura 6. Diagrama da Bobina de Ruhmkorff	21
Figura 7. Patente do primeiro motor ciclo Otto	23
Figura 8. Sistema de ignição por magneto.....	24
Figura 9. Antigo sistema de ignição da DELCO	25
Figura 10. Sistema de ignição moderno	26
Figura 11. Circuito CDI moderno	27
Figura 12. Proposta de um sistema de ignição a laser	28
Figura 13. Variáveis para cálculo do valor de indutância.	29
Figura 14. Linhas de campo magnético no solenoide	30
Figura 15. Mapa conceitual do indutor	31
Figura 16. Bobina de ignição em corte mostrando o indutor	32
Figura 17. Bobina de ignição compacta	35
Figura 18. Diagrama de blocos do projeto	36
Figura 19. Esquema elétrico da patente de uma bobina com transistor interno.....	36
Figura 20. Equivalente elétrico da bobina de ignição tradicional.....	37
Figura 21. Osciladores a transistor Colpitts e Hartley	38
Figura 22. Oscilador base com amplificador operacional	39
Figura 23. Circuito ressonante (tank LC)	40
Figura 24. Amplificador e malha de realimentação de corrente em série	41
Figura 25. Processo de oscilação a partir de uma tensão de ruído	42
Figura 26. Circuito simulado sem histerese.....	42
Figura 27. Circuito simulado com histerese.....	43
Figura 28. Circuito ajustado.....	44
Figura 29. Fonte de alimentação.....	45
Figura 30. <i>Interface</i> bobina-microcontrolador.....	45
Figura 31. Microcontrolador e <i>display</i>	46
Figura 32. Impedância de entrada com a bobina	46

Figura 33. Simulação de bobina aberta.....	48
Figura 34. Simulação bobina em curto	49
Figura 35. Esquema interno da bobina transistorizada – Catálogo MTE-Thomson. .	50
Figura 36. Simulação bobina transistorizada (PN direto)	51
Figura 37. Simulação bobina transistorizada (PN reverso)	52
Figura 38. Simulação bobina MSD 8 mH	53
Figura 39. Simulação bobina MSD 6,9 mH	53
Figura 40. Bobinas de mercado	54
Figura 41. Tela do microburner	55
Figura 42. Gravador K150U	55
Figura 43. Fluxograma 1: Rotina inicial de <i>setup</i> do LCD	57
Figura 44. Fluxograma 2: Declaração de variáveis	58
Figura 45. Fluxograma 3: Tratamento da interrupção	59
Figura 46. Fluxograma 4: Corpo do programa principal	60
Figura 47. Fluxograma 5: Leitura de frequência	61
Figura 48. Fluxograma 6: Identifica frequência e aciona <i>display</i>	62
Figura 49. Fluxograma 7: Botão de <i>reset</i>	63
Figura 50. Mensagem sobre uso de memória.....	63
Figura 51. Simulação aberto	64
Figura 52. Simulação curto.....	65
Figura 53. Simulação Primário normal	65
Figura 54. Simulação Trans BC	66
Figura 55. Simulação Trans BE	66
Figura 56. Simulação Secundário normal	67
Figura 57. Análise em funcionamento	68
Figura 58. Teste curto	69
Figura 59. Teste de circuito aberto.....	69
Figura 60. Teste do secundário	70
Figura 61. Conexões do primário – MTE-Thomson.....	71
Figura 62. Teste primário 1	71
Figura 63. Teste primário 2	71
Figura 64. Teste primário 3	72
Figura 65. Placa lado da solda	72

Figura 66. Placa montada	73
Figura 67. Projeto final	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Comparativo multímetro x jiga x ponte LCR - Autoral.....	17
Quadro 2. Valores típicos de grandezas elétricas em bobinas - Autoral	33
Quadro 3. Resultado do comparativo entre sistemas de ignição - Autoral.....	34
Quadro 4. Valores em frequência proporcionais ao estado elétrico da bobina - Autoral.....	53
Quadro 5. Tabela final - Autoral	68

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Cálculo da indutância em transformador	29
Equação 2. Cálculo do campo magnético em solenoide	30
Equação 3. Relação direta entre indutância e corrente elétrica	30
Equação 4. Comportamento da corrente em relação a resistência e indutância	32
Equação 5. Relação entre a energia da bobina e o quadrado da corrente	34
Equação 6. Cálculo da frequência.....	39
Equação 7. Cálculo da frequência de oscilação.....	40
Equação 8. Ganho do sistema	43
Equação 9. Cálculo de f_1	47
Equação 10. Cálculo de f_2	47
Equação 11. Cálculo de L_x	47
Equação 12. Cálculo de L_x em função de C	47
Equação 13. Cálculo de L_x em função de C e f_1 e f_2	47
Equação 14. Cálculo de L_x em curto.....	47
Equação 15. Cálculo de L_x aberto	47

LISTA DE TERMOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI – *American National Standards Institute*;

CDI – *Capacitive Discharge Ignition*;

CNAM – Conservatório de Artes e Ofícios de Paris;

DELCO – *Dayton Engineering Laboratories Co*;

ECU – *Electronic Control Unit* – Unidade eletrônica de controle. Dispositivo eletrônico que efetua a leitura de entradas e o acionamento de saídas;

EUA – Estados Unidos da América;

FPO – *Free Patents Online*;

GND – *Ground* – Terra. Potencial de zero Volts em circuitos elétricos e eletrônicos;

IDE – *Integrated Development Environment*;

LCD – *Liquid Crystal Display* – *Display* de cristal líquido;

LCR – Instrumento de medição de Indutância, Capacitância e Resistência;

PIC – *Programmable Interrupt Controller*;

RPM – Rotações por minuto;

SAE – *Society Automotive Engineers* – Sociedade de Engenheiros Automotivos. É uma organização responsável pelos estudos em engenharia automobilística e indústrias montadoras de automóveis;

USB – *Universal Serial Bus*;

USP – Universidade de São Paulo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivos e motivação.....	17
1.2. Conteúdo e Metodologia	17
2. INDUTORES NO AMBIENTE AUTOMOTIVO	18
2.1. Uma breve história sobre ignição.....	19
2.2. Indutor em transformadores.....	28
2.3. Indutor em solenoides.....	29
2.4. Indutor na bobina de ignição.....	31
2.5. Cálculo da corrente na bobina de ignição.....	32
3. METODOLOGIA DE CONFECÇÃO DO <i>HARDWARE</i>	36
4. PROJETO DO DISPOSITIVO	45
4.1. Programas.....	54
4.2. Fluxograma da rotina de teste.....	56
4.3. Testes do <i>software</i> em ambiente virtual.....	63
4.4. Resultados obtidos.....	67
5. CONCLUSÃO	74
5.1. Propostas futuras.....	74
REFERÊNCIAS	75
ANEXOS	79
ANEXO A – Lista de materiais	79
ANEXO B – Listagem do <i>software</i>	80
ANEXO C – Pinagem do <i>flat cable</i>	83

1. INTRODUÇÃO

Redução de custo sempre foi e sempre será um motivador que move a indústria na busca por soluções simples e engenhosas de forma a racionalizar custos nos processos produtivos e entregar ao cliente sempre a melhor relação custo/benefício.

Por força de novas demandas na sociedade, como a proteção do meio ambiente e o tratamento de resíduos, sejam sólidos, líquidos ou gasosos, e por conta da falta de espaço físico de armazenamento e/ou despejo, já há algum tempo percebe-se uma movimentação da indústria no sentido de promover maneiras ecológicas para tratar o descarte de seus produtos, ganhando mercado e uma visão de apoio frente aos formadores de opinião.

Sendo assim, ao invés de descartar pura e simplesmente a bobina, podemos testá-la e conforme suas condições técnicas reaproveitá-las em veículos usados, experimentais, de uso restrito e no meio acadêmico.

Na pesquisa de mercado em território nacional não foi possível identificar um produto similar. Há multímetros mais baratos, que não leem algumas características e medidores mais caros. Fora do Brasil, como visto na figura 1, encontram-se grandes dispositivos, que atestam a qualidade de vários itens do veículo, como alternador, cabos, reguladores, velas, bobina e obviamente com preço proporcional (US\$ 3000,00/base março 2012) as características embutidas e garantia da qualidade, mão de obra para manutenção e logística associados.

Figura 1 – Máquina de teste para dispositivos elétricos automotivos.



Fonte: haolida.en.alibaba.com.

1.1. Objetivos e motivação

Este trabalho tem por objetivo mostrar como criar de um dispositivo automático de teste para bobina de ignição de veículos automotivos, de forma a dar uma ferramenta de maior qualidade ao eletricista ou mecânico, visto que um multímetro simples, trabalhando em corrente contínua, não percebe as capacitâncias intrínsecas dos enrolamentos das bobinas de primário e secundário. No quadro 1 percebemos a vantagem econômica.

Quadro 1 – Comparativo multímetro x jiga x ponte LCR

Multímetro	Jiga proposta	Ponte LCR
R\$ 19,49 (sem frete)	R\$ 119,03	R\$ 297,00 (sem frete)
Fonte: soldafria.com.br	Fonte: Autoral, anexo A	Fonte: mercadolive.com

Fonte: Autoral, dezembro de 2018

A intenção deste dispositivo é permitir a verificação de parâmetros de indutância do primário, secundário e se a bobina é do tipo com transistores, para qualquer modelo de bobina submetido a teste, utilizando para isso um sinal alternado no tempo que representa proporcionalmente os valores presentes em catálogo.

Destacam-se como contribuições deste trabalho, uma revisão bibliográfica sobre o tema indutor, descrição das variáveis matemáticas associadas e o uso de técnicas de programação C em ambiente MikroC, com as informações apresentadas em um *display* 16x2.

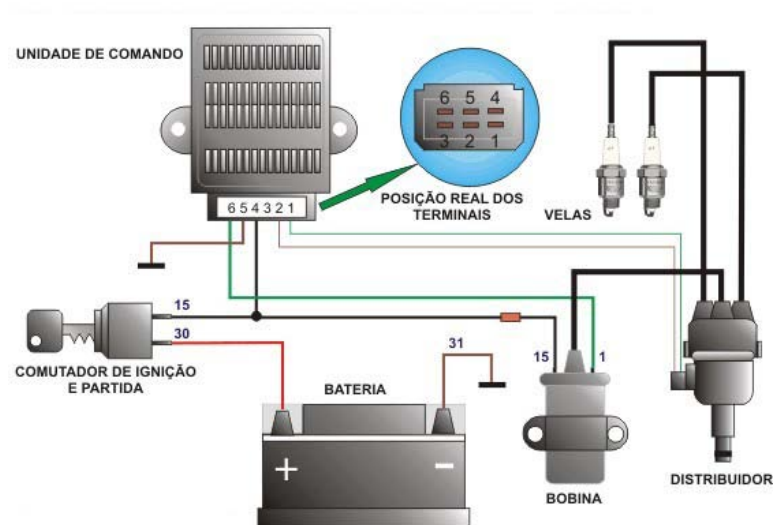
1.2. Conteúdo e Metodologia

Este texto monográfico está distribuído da seguinte maneira: o capítulo 2 descreverá os diversos tipos de bobinas e sua utilização, citando características e princípios de funcionamento. No capítulo 3, serão abordados os circuitos eletrônicos adotados no dispositivo, motivo deste projeto. No capítulo 4 serão apresentados os resultados obtidos a partir de testes com certo número de bobinas de mercado. Finalmente, no capítulo 5, discute-se sobre as conclusões obtidas através dos resultados coletados, além de indicar possibilidades de novos estudos e evoluções da ideia aqui proposta.

2. INDUTORES NO AMBIENTE AUTOMOTIVO

Bobinas cilíndricas convencionais, aquelas formadas de chapas laminadas de ferro, são largamente utilizadas no cenário automotivo quase sempre em conjunto com os distribuidores. Estes dispositivos são responsáveis diretos pela produção da centelha e fazem parte do sistema de ignição como visto na figura 2.

Figura 2 – Acionamento moderno com distribuidor e bobina convencional



Fonte: <https://www.willysoverland.com.br/ignicao.php>.

Os solenoides podem ser encontrados nos dispositivos de trava elétrica e nos eletroinjetores. Nestes, o solenoide interno é acionado via *hardware* pelo sistema de *driver* analógico em função do sinal digital recebido da ECU, resultado das leituras dos sensores envolvidos no processo de ignição (eletroinjetor) ou conforto (trava elétrica) segundo BOSCH (2004), observável na figura 3.

Figura 3 – Acionamento moderno típico de um solenoide (interno ao eletroinjetor)



Fonte: dc441.4shared.com

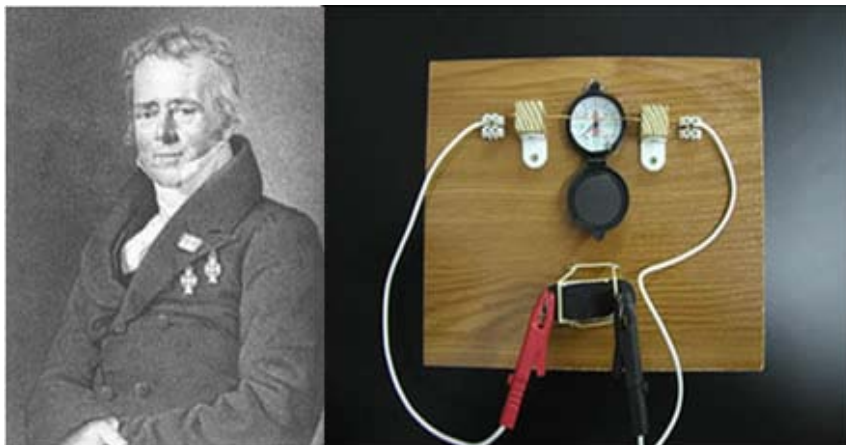
2.1 Uma breve história sobre ignição

Segundo encontramos na referência DEEC-USP (2012), os motores de ciclo Otto estão largamente desenvolvidos, bem como seus subsistemas, mas com destaque especial ao sistema de ignição por centelha elétrica, que se firmou ao longo dos anos pela praticidade e conveniência aliadas à precisão, à eficiência e ao baixo custo deste sistema. Entretanto, ele não é um sistema simples. O princípio deste processo de ignição por centelha surgiu no início do século 19, como parte das novas descobertas científicas na Inglaterra por Faraday e nos EUA com Joseph Henry.

De acordo com Gregory (1998), experimentos com eletricidade motivaram Hans Christian Oersted, que recebera uma bolsa de estudos, a viajar e estudar pela Europa. Em passagem pela Alemanha, conheceu o físico Johann Wilhelm Ritter, que pesquisava uma ligação entre a eletricidade e o magnetismo.

Oersted tentava reproduzir o experimento em seu laboratório particular influenciado pelo pensamento de Ritter que naquela época, também pesquisava sobre a corrente elétrica. Neste local, ao deixar sobre a mesa de experimento a sua bússola, ao lado do condutor elétrico principal, Oersted percebeu que ao ligar o circuito elétrico, sua bússola apontava para outra direção. Este experimento, figura 4, foi publicado no meio científico, já que pela primeira vez fora possível conectar dois grandes mistérios da ciência da época: a eletricidade e o magnetismo.

Figura 4 – Experimento de Oersted



Fonte: BrasilEscola.com/física

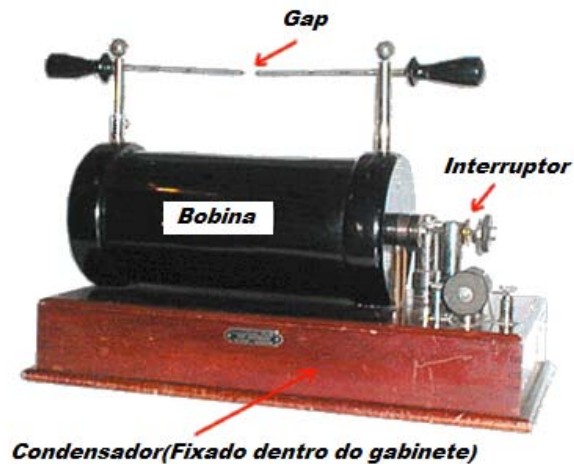
Continuando nossa história sobre a ignição, na Faraday Biographie encontramos uma convergência dos pensamentos de Ritter e de Oersted, não só no estudo do eletromagnetismo, mas também para criar uma visão unificada do conceito de energia sob as mais variadas formas (mecânica, térmica, eletromagnética, etc). Embora vários cientistas de renome tenham estudado o fenômeno, poucos deles conseguiram ir além do experimento em si, exceto por um ajudante de laboratório sem formação acadêmica: Michael Faraday. O estudo da eletricidade e do magnetismo, nas suas mais variadas formas, tomaria toda a vida de Faraday e servindo de embasamento teórico para todo o seu trabalho, graças a ajuda James Clerk Maxwell, que estabeleceu a teoria eletromagnética, lançando as bases para as futuras teorias relativista e quântica.

Da leitura em referência DEEC-USP (2012), encontramos outros pesquisadores importantes, como André Marie Ampère e Joseph Henry, que completariam seu trabalho. Faraday observou a maioria dos fenômenos eletromagnéticos, como o aparecimento de corrente elétrica no condutor quando este se desloca em um campo magnético ou o aparecimento de um campo magnético devido a circulação de corrente. Ele demonstrou que não existe diferença entre o campo magnético de um ímã e o gerado por uma corrente elétrica. É dele também a ideia de enrolar um condutor elétrico várias vezes, a fim de somar os diversos campos magnéticos de cada segmento, criando assim as primeiras bobinas elétricas. Também criou o primeiro motor elétrico, da observação dos fenômenos magnéticos descritos anteriormente.

Segundo o Sparkmuseum, outro estudioso, Joseph Henry, estudou profundamente os efeitos de indutância, inclusive o efeito de indutância mútua. Outro pesquisador, Heinrich Daniel Ruhmkorff, estava interessado em estudar efeitos da alta tensão sobre materiais isolantes, mas havia um problema, a fonte básica de tensão nesta época era uma bateria, e seriam necessárias milhares delas para atingir a tensão ideal para a realização dos experimentos, o que inviabilizava o seu projeto. Baseado nos estudos de Faraday e Henry, Ruhmkorff percebeu que uma corrente elétrica criava um campo magnético, assim como um campo magnético variável era capaz de induzir uma tensão elétrica em um condutor. Ele pensou que se os dois fenômenos fossem unidos em um único equipamento, poderia conseguir a tensão elevada criando assim um equipamento com duas

bobinas enroladas sobre um mesmo núcleo de aço, como podemos observar nas figuras 5 e 6 do museu.

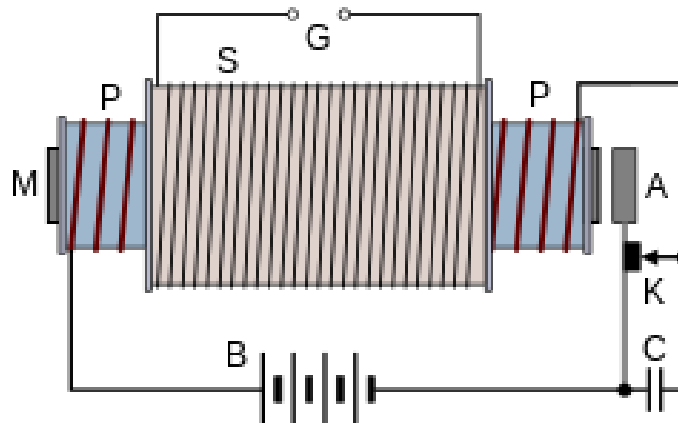
Figura 5 – Bobina de Ruhmkorff



Fonte: sparkmuseum.com

O equipamento, posteriormente chamado de “Bobina de Rhumkorff”, opera em duas etapas segundo a Sparkmuseum. Na primeira, quando acionado um mecanismo com interruptor e mola de retorno, uma corrente variável no tempo percorre a bobina primária, criando o campo magnético no núcleo e induzindo alta tensão na bobina secundária em função da relação de espiras. Na segunda, quando há um corte súbito da corrente no primário com o desligamento do interruptor, a tensão secundária acumulada no capacitor da base, aumenta até o ponto que a carga acumulada vencer o espaço entre as pontas, cujo dielétrico é o ar, gerando uma centelha, conforme observamos na figura 6.

Figura 6 – Diagrama da Bobina de Ruhmkorff.



Fonte: https://wikivisually.com/lang-es/wiki/Bobina_de_Ruhmkorff

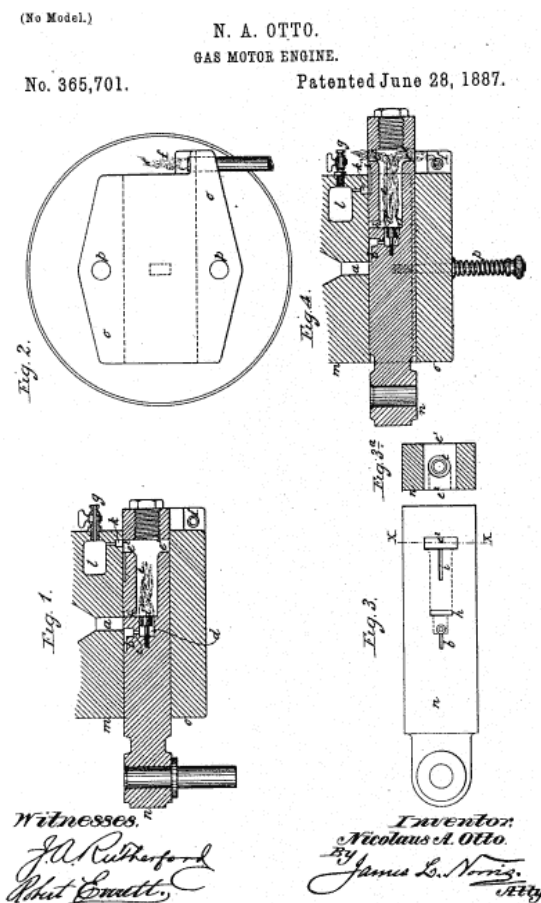
Retomando a leitura em referência DEEC-USP (2012), não só Ruhmkorff foi bem sucedido em suas experiências, como ofereceu à comunidade científica um equipamento compacto capaz de gerar elevadas tensões com facilidade. Anos mais tarde, Nikola Tesla faria uma importante revisão na bobina de Ruhmkorff.

De acordo com o Teslasociety (2012), Tesla criou a teoria da corrente alternada e do motor de indução entre centenas de invenções patenteadas, além de vislumbrar outra forma de funcionamento, porém usando a mesma estrutura básica. Através da variação da corrente na bobina primária, gera-se um campo magnético que induz uma corrente na bobina secundária. Essa transferência baseia-se no fenômeno de indução de Faraday. Este equipamento chama-se “transformador”. Neste, a corrente alternada aplicada na bobina primária gera diretamente uma tensão alternada na bobina secundária por efeito de indutância mútua. O núcleo do transformador é usado apenas para acoplamento magnético entre as duas bobinas, podendo ser muito menor que o núcleo da Bobina de Ruhmkorff.

Esta forma de operar permite que o transformador opere em frequências mais altas e com maior eficiência que a Bobina de Ruhmkorff. Essas características do transformador, sem paralelo na corrente contínua, determinaram que o padrão de distribuição de energia elétrica no mundo inteiro seja em corrente alternada, entre tantas outras aplicações segundo a Teslasociety.

E segundo a Inventors about (2012), em paralelo a estes avanços do eletromagnetismo, ocorre o desenvolvimento dos motores de combustão interna, do automóvel e Otto usou em seu motor experimental, uma ignição baseada em uma barra metálica incandescente no interior da câmara de combustão similar ao sistema de aerodelismo. Uma “vela” (*glow plug*) possui um filamento de platina que é aquecido inicialmente através de uma bateria, e permanece incandescente pelo próprio funcionamento do motor.

Figura 7 – Patente do primeiro motor ciclo Otto



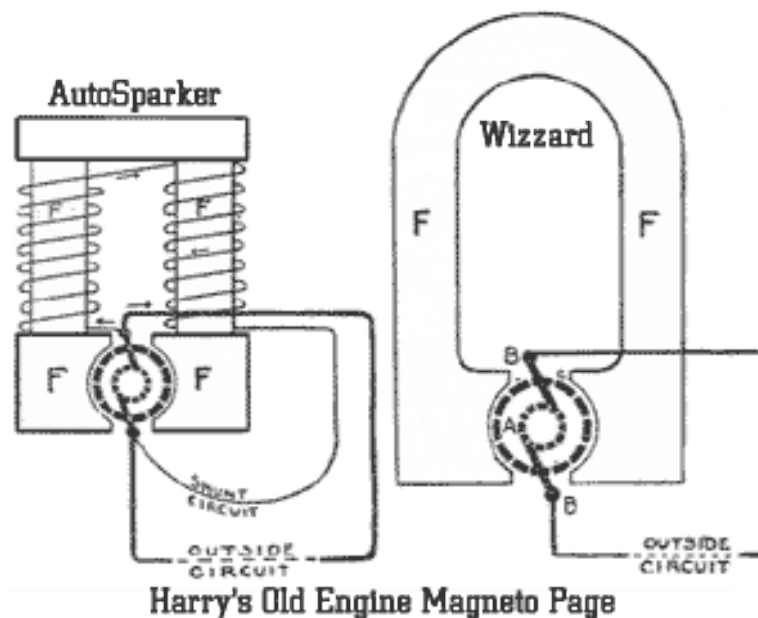
Fonte: inventors.about.com

Ainda segundo a Inventors about (2012), Gottlieb Daimler, construiu para seu automóvel um motor com uma ignição baseada em um tubo de platina aquecido externamente, exatamente como Otto fizera nos seus protótipos (figura 7). Karl Benz inovou ao utilizar um sistema de centelha de alta tensão com uma vela de ignição. A alta tensão era gerada pelo choque de um percussor sobre uma pastilha de cerâmica piezoelétrica, da mesma forma como ainda se faz em alguns acendedores de fogão.

Continuando a pesquisa, encontramos em CNAM (2012) e OLD ENGINE (2012), a referência acerca de Georges Bouton, construtor de carros de alta precisão para a época, junto com o Conde Albert De Dion (criador do sistema de suspensão mais utilizado mundialmente e presente no Smart), foram os primeiros a imaginar um sistema de ignição baseado em um interruptor elétrico e uma bobina para produzir

um motor eficiente em alta rotação. Para produzir corrente elétrica por meios mecânicos existiam duas maneiras, com o uso de dínamos ou magnetos. Para os primeiros automóveis, foi escolhido o sistema de ignição por magneto. Existem diversos sistemas de ignição baseados no uso do magneto. O mais comum utiliza um interruptor elétrico para comandar a geração de uma centelha em relação à posição do curso do pistão (figura 8). Entretanto, ao contrário do sistema de bateria, onde a bobina de ignição opera como uma bobina de Ruhmkorff, no sistema de magneto, a bobina opera pelo princípio do transformador.

Figura 8 – Sistema de ignição por magneto

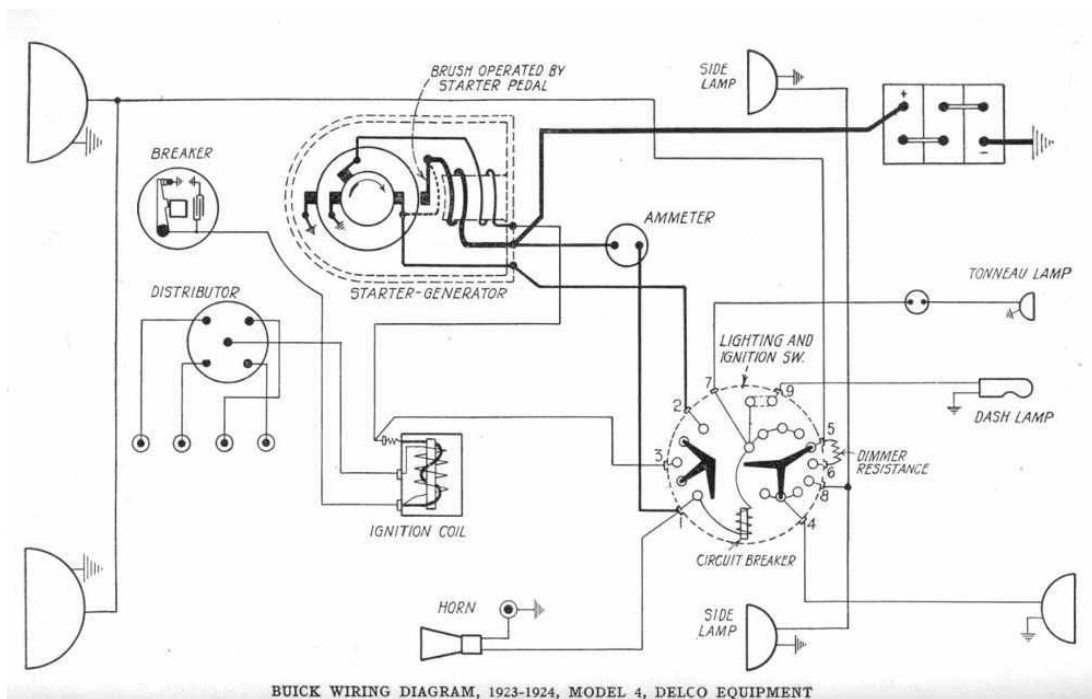


Fonte: old-engine.com

Na Delco (2012), observa-se que em 1910, Charles Franklin Kettering patenteia o sistema Delco (também chamado de sistema Kettering, que pouco antes constituía a Dayton Engineering Laboratories Co., daí o nome Delco) de ignição, lançando-o no Cadillac de 1910 e tornando-se referência para os automóveis. Neste sistema, uma bobina de Ruhmkorff era alimentada pela bateria, e a corrente de magnetização era controlada pelo platinado, um interruptor que abre e fecha em sincronismo com o movimento do motor. A alta tensão na saída da bobina é direcionada para a vela correta por um distribuidor, um seletor sem contato de alta tensão.

O próximo passo na evolução do sistema Delco foi adotar um sistema de avanço centrífugo e avanço a vácuo, oferecendo um ajuste automático mais preciso que o avanço fixo ou de ajuste manual oferecido nos primeiros veículos. Kettering e a Delco voltariam a revolucionar o automóvel no ano seguinte, ao lançar um Cadillac equipado com iluminação e partida elétrica, alimentados por um sistema de dínamo e bateria. Após o sucesso do sistema Delco, visto na figura 9, o sistema de magneto logo se estabeleceu como referência em três aplicações envolvendo motores: motociclismo, aeronáutica e eventos de competição segundo informações na Delco (2012).

Figura 9 – Antigo sistema de ignição da DELCO



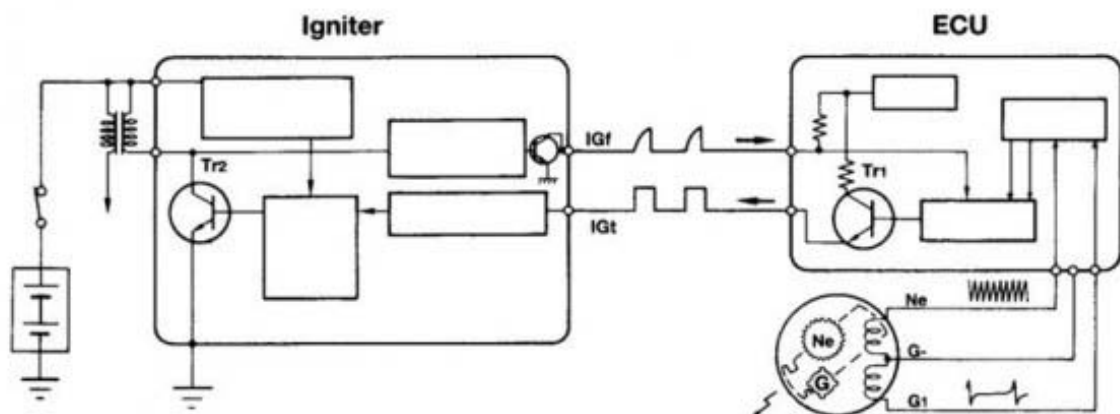
Fonte: auto-wiring-diagram.com

Com base nas informações da Bosch (2012), o sistema anterior recebeu atualização até que, na década de 1960, adotou-se o transistor. Inicialmente utilizado como elemento semicondutor funcionando como chave, o transistor, mostrou-se mais eficiente para ligar e desligar a bobina de ignição em relação ao platinado. O platinado é o elemento de comando, mas problemas com centelhamento nos seus contatos afeta a precisão do ponto de ignição, reduz sua vida útil e requer constantes ajustes do tempo de ignição. A facilidade de construir circuitos elétricos reguladores de baixo custo com a adição de mais transistores, capazes de estabelecerem funções complexas, conduziu o sistema Delco ao

sistema totalmente eletrônico, sem platinado. Neste sistema, um módulo eletrônico e um sensor magnético (sensor Hall), permitem maior potência da centelha em rotações mais elevadas se comparado aos limites operacionais do uso do platinado.

Segundo os arquivos da FPO (2012), com o uso da eletrônica nos sistemas de partida, como o da figura 10, permite-se que um novo tipo de ignição, o sistema por descarga capacitiva ou CDI (*Capacitive Discharge Ignition*). Na ignição CDI, um capacitor carrega-se até um dado valor de tensão (algo em torno de 400 V) e faz a comutação desta carga sobre a bobina no ponto de ignição. Diferente do sistema Delco, a ignição CDI armazena energia no capacitor e a bobina opera como transformador e não como bobina de Ruhmkorff. Os sistemas de módulo eletrônico e ignição CDI resolveram os problemas de qualidade da centelha, mas faltava ajustar o ponto de ignição ideal.

Figura 10 – Sistema de ignição moderno



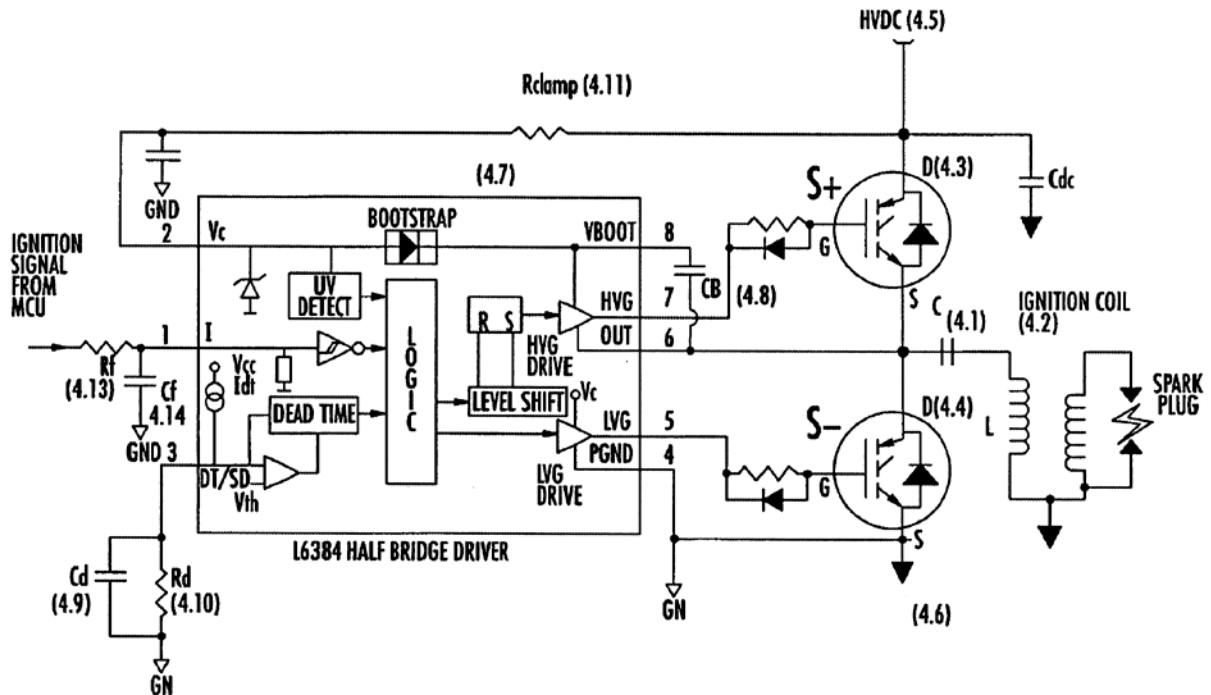
Fonte: bestbookpdf.com

De acordo com o Inmetro (2012), nos anos 1970, com a Crise do Petróleo e o surgimento das primeiras regulamentações de emissões de poluentes, era necessário que os motores aproveitassem ao máximo a energia contida no combustível, e este problema passava por uma ignição que se adaptasse precisamente a cada situação de rotação e carga, algo que a solução avanço centrífugo e a vácuo, não garantia precisão.

Em seu *website*, a Bosch (2012) afirma que em 1979, lançou o sistema Motronic. Pela primeira vez, um módulo eletrônico controla de forma integrada a injeção de combustível e a ignição, com a vantagem que os mesmos sensores eram

otimizados para as duas funções, operando em conjunto. O sistema Motronic também era mapeado, adotando valores de avanço precisos para cada situação de rotação e carga como observado na figura 11.

Figura 11 – Circuito CDI moderno



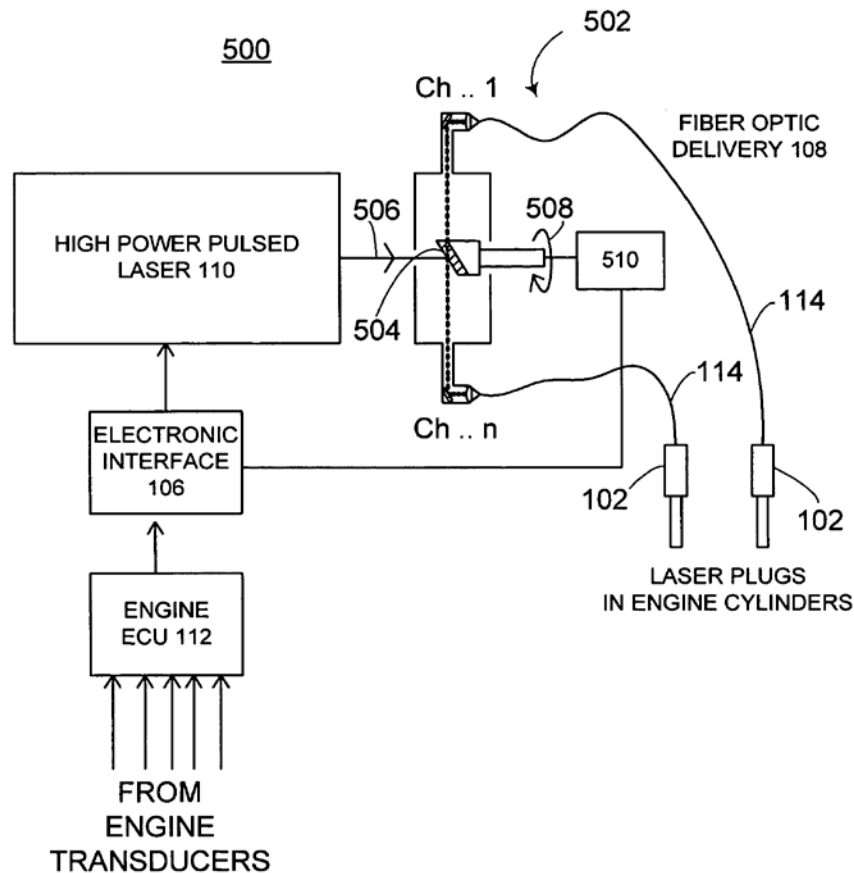
Fonte: freepatentsonline.com

Ainda segundo a Bosch (2012), o sistema Motronic utiliza uma roda dentada, ou roda fônica, como referência mecânica da posição do virabrequim. A roda fônica fornece um sinal preciso da rotação ao módulo da Motronic e este determina com precisão o instante de acionar a centelha.

Desta forma, o sistema Motronic foi o primeiro a oferecer um sistema de ignição de alta precisão, fornecendo confiabilidade às necessidades de operação do motor, além de operar em conjunto com o sistema de alimentação de combustível.

No desenvolvimento de novos sistemas de ignição, ocorreram inúmeras contribuições com a pesquisa de vários sistemas alternativos à ignição por centelha, incluindo sistemas de ignição a laser e por micro-ondas, visto na figura 12, porém nenhum deles obteve uma relação custo/benefício atraente e o sistema de ignição por bobina e vela mantém-se como referência, principalmente para veículos com relação custo-benefício estreita. A numeração 5XX da figura 12 são subpartes da patente e não interessam a este trabalho.

Figura 12 – Proposta de um sistema de ignição a laser



Fonte: freepatentsonline.com

2.2 Indutor em transformadores

Segundo Fitzgerald (2006), um indutor ou bobina, na maior parte de suas aplicações, é formado de material ferromagnético para direcionar e dar forma a campos magnéticos, os quais atuam como meio de transferência e conversão de energia. Este indutor fará parte de um circuito magnético que consiste em uma estrutura composta por material magnético de permeabilidade elevada e esta característica faz com que o fluxo magnético fique confinado aos caminhos delimitados pela estrutura.

De acordo com Fitzgerald (2006), para determinar a indutância L , resultado matemático de proporcionalidade que envolve as características do indutor, medida em *henrys* (H) ou *weber-espira por ampère*, consideramos desprezível a relutância em relação ao entreferro, se houver, e podemos assumir na equação 1, com base na figura 13, que:

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot Al}{l} \quad (1)$$

Na qual:

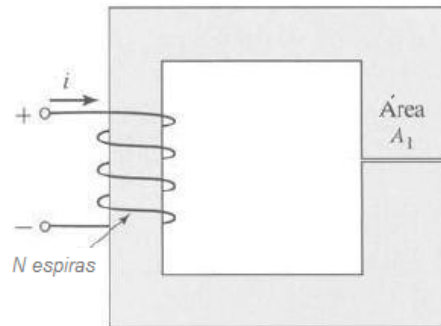
N é o número de espiras;

μ_0 é a permeabilidade magnética do material no vácuo;

Al é a área de secção transversal do fio;

l é o comprimento do fio.

Figura 13 – Variáveis para cálculo do valor da indutância



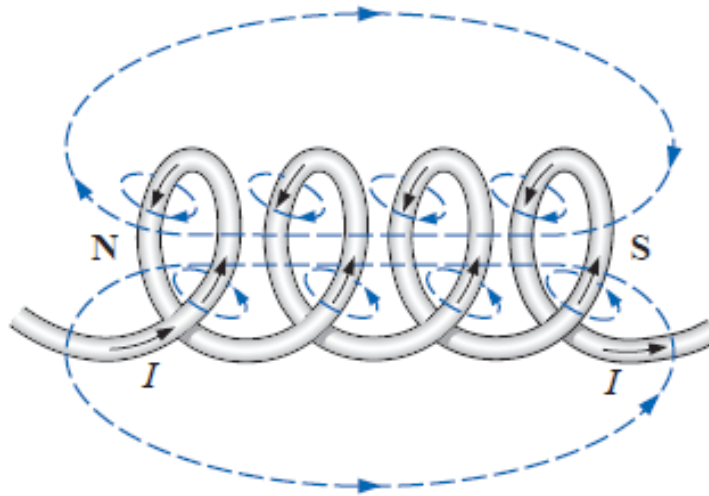
Fonte: FITZGERALD, 2006.

2.3 Indutor em solenoides

Existem outros tipos de indutores, como os solenoides. Sua aplicação decorre da necessidade de um campo magnético uniforme, da mesma forma que usamos um capacitor de placas paralelas para obter um campo elétrico uniforme conforme cita Resnick (1996).

Ainda conforme Resnick (1996), um solenoide é construído enrolando-se um fio de certo comprimento l sobre um núcleo de material ferro magnético (com ou sem *gap*) ou núcleo de ar e fazendo uma corrente i percorrer o fio, resultando em um campo magnético B , resultado da soma vetorial dos campos gerados por todas as espiras que o constituem, como observado na figura 14.

Figura 14 – Linhas de campo magnético no solenoide



Fonte: FITZGERALD, 2006.

Podemos expressar o valor do campo B como:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot C \cdot N}{l} \quad (2)$$

Na qual:

N é o número de espiras;

μ_0 é a permeabilidade magnética do material no vácuo;

C é o número de camadas de fios;

i é a corrente no enrolamento do solenoide;

l é o comprimento do fio.

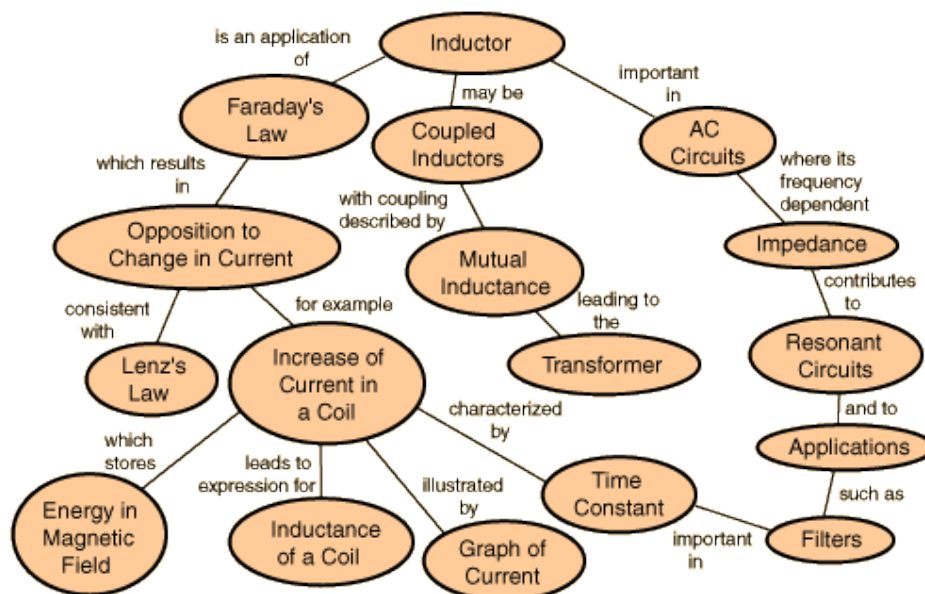
Vale ressaltar que B não depende do diâmetro ou comprimento do corpo do solenoide, é aproximadamente constante no interior do solenoide, estabelecendo assim um campo magnético uniforme, afirma Resnick (1996).

Associando as relações dadas nas equações 1 e 2 por μ_0 obtemos:

$$L = Al \cdot B \cdot C \cdot N \cdot i \quad (3)$$

Ou seja, temos o valor da indutância em função da corrente, grandeza elétrica que pode ser manipulada com circuitos de controle e por associação, visualizar o resultado, por exemplo, em algum tipo de *display* gráfico. A figura 15 relaciona as grandezas elétricas e o indutor por meio de um mapa conceitual. Por meio deste, notamos a relação direta entre a corrente elétrica e a indutância, como partes de um indutor.

Figura 15 – Mapa conceitual do indutor



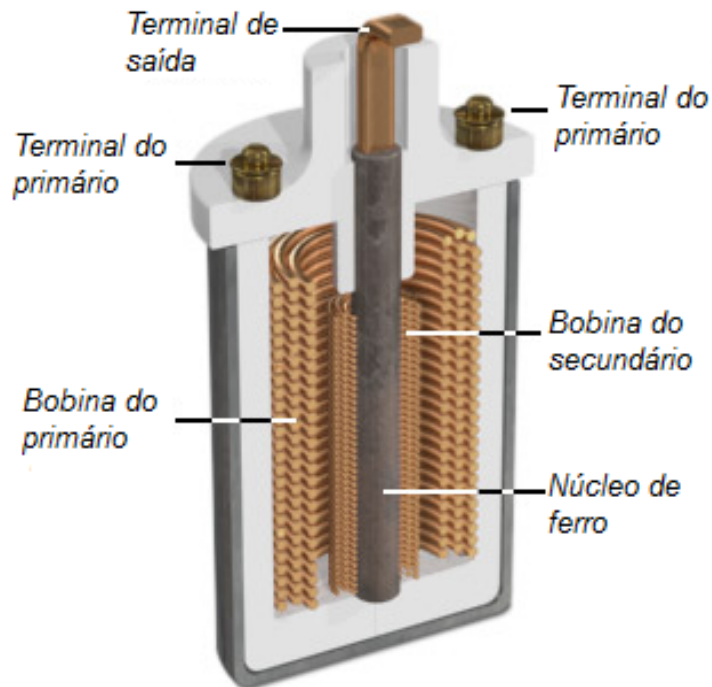
Fonte: hyperphysics.phyastr.gsu.edu

2.4 Indutor na bobina de ignição

A função da bobina de ignição é elevar a tensão proveniente da bateria e cujo comportamento da corrente é revisto no capítulo 2.5 deste trabalho. No capítulo 2.3, verificou-se a dependência da indutância L em relação a corrente i e no histórico observou-se a presença da bobina em todos os sistemas de ignição automotivos. Segundo Pujatti (2007), esta bobina nada mais é que um indutor enrolado sobre um núcleo de ferro com duas camadas de espiras concêntricas, identificadas como enrolamento primário e enrolamento secundário, conjunto devidamente isolado e encapsulado em recipiente metálico, cujos terminais devem suportar a corrente do

sistema de ignição, além de não incrementar perdas no sistema, como pode ser observado na figura 16.

Figura 16 – Bobina de ignição em corte mostrando o indutor



Fonte: <https://nationalmaglab.org/>

2.5 Cálculo da corrente na bobina de ignição

O valor instantâneo da corrente do enrolamento primário da bobina de ignição é determinado por uma série de fatores. Segundo Denton (2004), a alta tensão necessária é produzida e dependente do valor da corrente do primário (Equação 3). A razão de incremento da corrente do primário é vital por conta que esta determina o valor da corrente quando o circuito está aberto no momento do colapso do campo magnético. Se as constantes elétricas do sistema de ignição primário são conhecidas, é possível calcular a corrente de primário. Isto requer uma relação matemática exponencial, como a verificada na equação 4.

$$i = \frac{V}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R \cdot t}{L}}\right) \quad (4)$$

Na qual:

i é a corrente instantânea de primário;

V é a tensão do alternador;

R é a resistência total do primário;

L é a indutância do enrolamento primário;

t é o tempo que a corrente circula;

e é um valor constante (número de Euler).

Alguns valores típicos utilizados no cálculo da corrente, pela equação quatro, podem ser vistos no quadro 2, na forma de um comparativo das grandezas elétricas entre as bobinas de ignição utilizadas no sistema convencional (com distribuidor e platinado) e no sistema com gerenciamento eletrônico (via ECU e *driver*):

Quadro 2 – Valores típicos de grandezas elétricas em bobinas

Grandezas	Ignição Convencional	Ignição Eletrônica
R (resistência elétrica)	3 – 4 Ω	1 Ω
V (tensão elétrica)	14 V	14 V
L (indutância)	10 mH	4 mH

Fonte: DENTON, p. 197, 2004

Para analisar e comparar o desempenho entre os sistemas de ignição convencional e eletrônico, além das diferenças encontradas no quadro 2, podemos utilizar como referência, um motor quatro cilindros rodando a 3000 rpm, no qual são necessárias 6000 centelhas por minuto (quatro centelhas a cada duas voltas completas do ciclo de um motor quatro cilindros). Ajustando-se a unidade de tempo de minuto para segundo, na forma $6000/60$, tem-se 100 centelhas por segundo. Nesta condição, afirma Denton (2004), cada centelha será produzida a cada 10 ms (1/100). Continuando o exemplo, tomando-se um período de permanência típico de, digamos, 60%, para o tempo t , em 3000 rpm, em um motor de quatro cilindros, tem-

se 6 ms. A 6000 rpm, t será de 3 ms. Empregando a equação quatro, a corrente para cada sistema, com os valores de resistência, tensão e indutância do quadro 2, nos dá os valores presentes no quadro 3.

Quadro 3 – Resultado do comparativo entre sistemas de ignição

	3000 rev/min	6000 rev/min
Ignição Convencional	3,2 A	2,4 A
Ignição Eletrônica	10,9 A	7,3 A

Fonte: DENTON, p. 196, 2004.

Pelo resultado do quadro 3, fica claro como a energia armazenada na bobina é incrementada devido à baixa resistência e indutância da bobina de ignição eletrônica. É importante notar, conforme alerta Denton (2004), que fluem altas correntes, qualquer que seja o sistema, e deve-se observar nesta etapa de projeto, se alguns sistemas em série com o circuito de ignição não serão afetados.

Para entender nesse processo de ignição, qual é a energia armazenada do campo magnético na bobina de ignição, a partir de equação cinco, retomamos valores dos quadros 2 e 3, e obtemos a energia armazenada do sistema eletrônico de ignição a 6000 rpm em 110 mJ. Já no sistema convencional obtém-se 30 mJ. Isto de acordo com Ribbens (1998) demonstra a vantagem da ignição eletrônica quando se compara a energia armazenada e disponível na bobina para a criação da centelha, assunto discutido no histórico como vantagem do sistema eletrônico em relação ao convencional. A relação matemática segundo Ribbens (1998) para cálculo da energia é, segundo a equação 5:

$$E = \frac{1}{2} \cdot (L \cdot i^2) \quad (5)$$

Na qual:

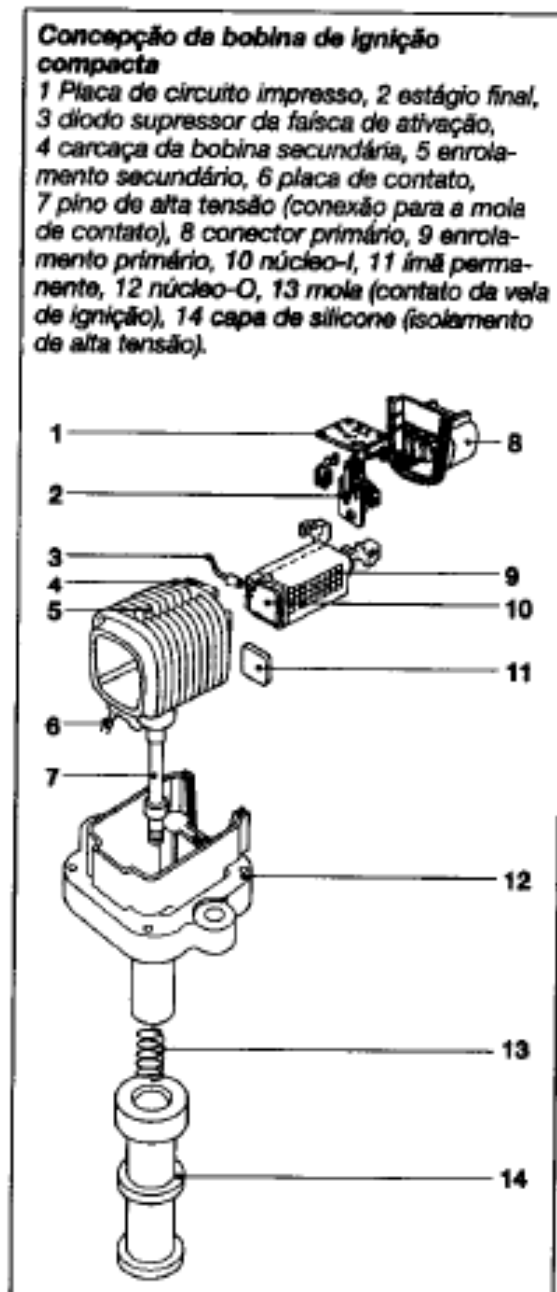
E é a energia;

L é a indutância do enrolamento primário;

i é a corrente do primário.

Até este ponto, reconhecemos a interação entre o valor da indutância e outras grandezas elétricas, como fundamento para compreender o funcionamento da bobina de ignição. Na figura 17 podemos observar alguns detalhes construtivos de uma bobina de ignição compacta.

Figura 17 – Bobina de ignição compacta



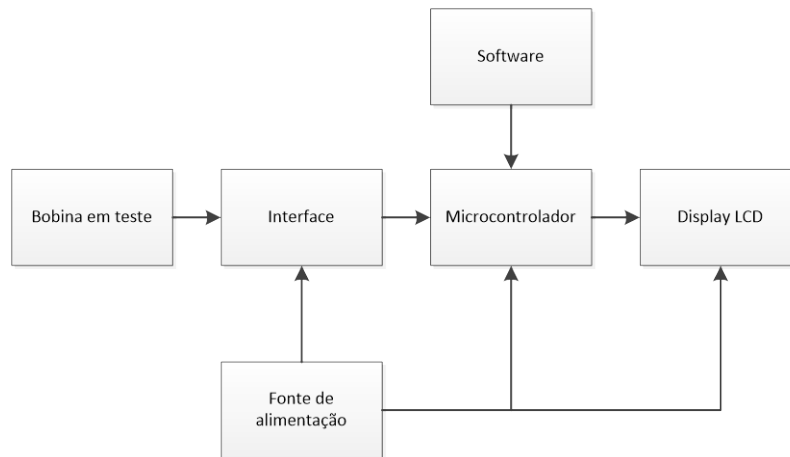
Fonte: Manual Bosch Tecnologia Automotiva

Como nosso projeto se preocupa com custo reduzido, há necessidade de buscar alternativas no capítulo 3.

3. METODOLOGIA DE CONFECÇÃO DO *HARDWARE*

Inicialmente, a proposta do dispositivo é resumida na figura 18. Temos a bobina em teste, cuja conexão se dará com uma *interface*, cujo sinal será interpretado pelo microcontrolador via *software* e os resultados mostrados no *display* LCD.

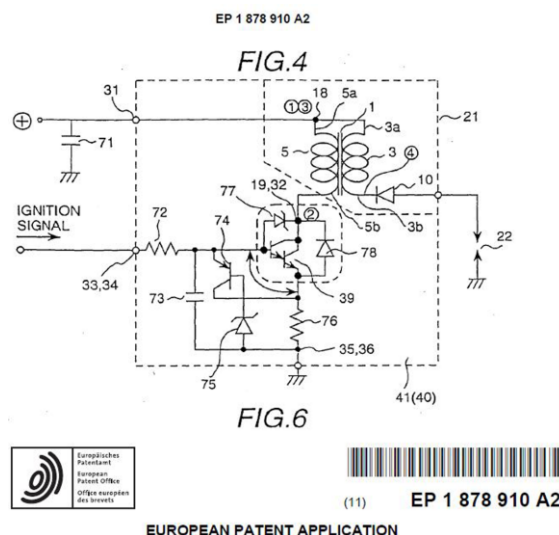
Figura 18 – Diagrama de blocos do projeto



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

Precisa-se identificar o produto alvo do teste e uma pesquisa no mercado de bobinas de ignição, encontra-se dois tipos principais, a bobina tradicional e a bobina com transistor (es) interno(s). A bobina tradicional é basicamente o que foi descrito no capítulo 2 e a transistorizada apresenta diversos esquemas de montagem como o da figura 19.

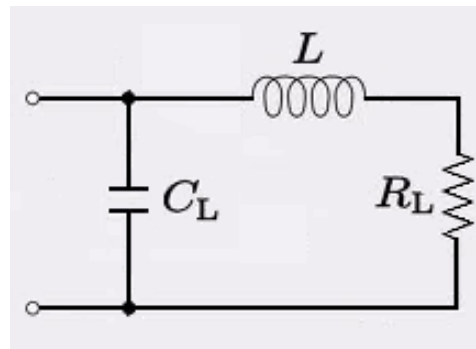
Figura 19 – Esquema elétrico da patente de uma bobina com transistor interno



Fonte: freepatentsonline.com

Neste ponto surge a questão de como efetuar a medição do tipo de bobina tradicional, cujo perfil elétrico equivalente é indutivo com as componentes capacitiva, devido a forma do enrolamento e resistiva, devido ao uso do cobre (LUNDIN, 1985), definido pela indicação da ponte RLC, que retorna um valor em miliHenrys (mH) e indica o perfil como segue na figura 20, compensando na medição as componentes parasitas das trilhas e cabos para medição, bem como a mutua, se houver.

Figura 20 – Equivalente elétrico da bobina de ignição tradicional



Fonte: Autoral via ponte RLC HP 4261A

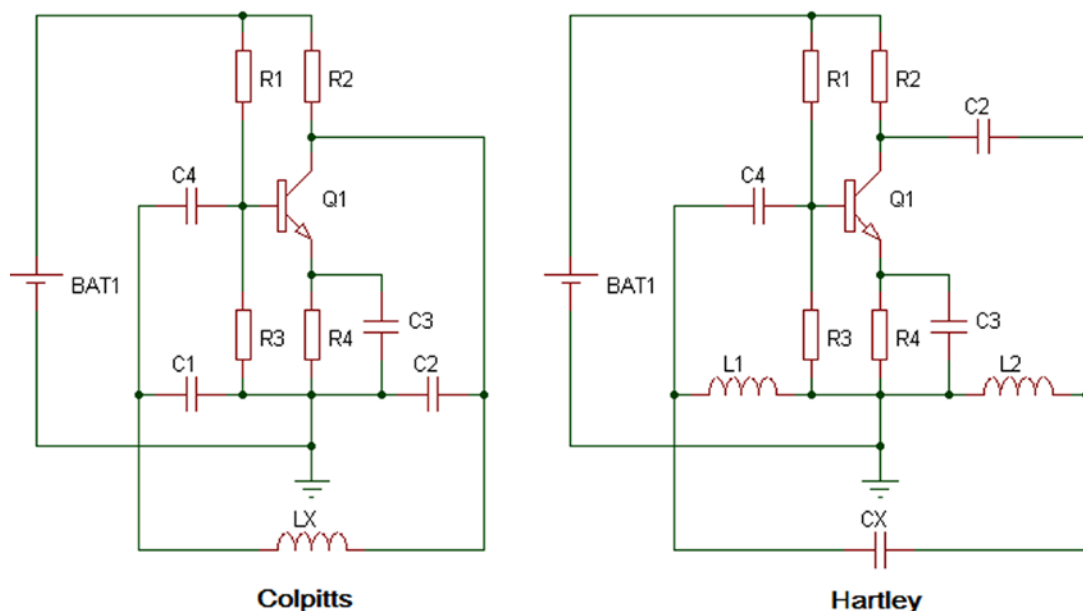
Devido a existência de um perfil indutivo, surgem algumas técnicas possíveis para medição (WHELLER, 1982):

- Aplicá-la a um circuito RC e em função do tempo, estabelecer o valor da indutância, comparando com o catálogo do fabricante para dar a validação;
- Utilizar um ohmímetro, medir a resistência elétrica e associar com um valor de indutância. O problema que surge é identificar a bitola do fio dos enrolamentos, fora o erro maior por conta do processo construtivo desigual entre várias bobinas, o que altera o comprimento total do fio e por tabela o valor da indutância final;
- Aplicá-la a um circuito oscilador e em função da frequência, estabelecer o valor da indutância.

Esta última parece a mais adequada e precisa, utilizando os recursos estudados durante o curso de tecnologia, como o uso do microcontrolador e elementos de eletrônica analógica e digital. O simples uso do multímetro, que trabalha em corrente contínua, não remete a valores confiáveis na medição da indutância, visto não reconhecer as capacitâncias presentes no enrolamento.

O termo oscilador nos remete aos circuitos a transistor Colpitts e Hartley, formas mais simples de se conseguir um sinal variável no tempo. Na figura 21, podemos observar as montagens e estabelecer sua viabilidade para o projeto. O objetivo é medir a figura indutiva da bobina e o oscilador Colpitts é o mais adequado dos dois, por ter a componente L_x isolada. A montagem a transistor oferece problemas conhecidos, como impedâncias de entrada e saída baixas, ou quando desejamos reproduzir em escala, como variação do ganho CC do transistor, sensibilidade a variação de temperatura e tolerância dos capacitores.

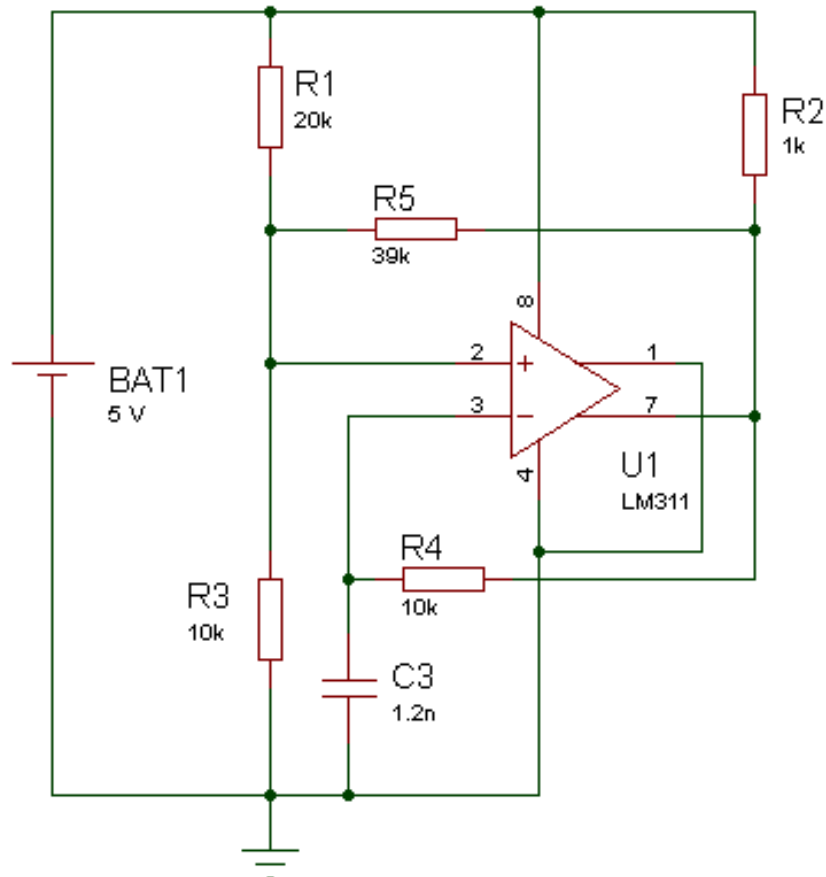
Figura 21 – Osciladores a transistor Colpitts e Hartley



Fonte: HALKIAS, 2000.

Para compensar esses problemas, a primeira solução que aparece são os amplificadores operacionais. Pesquisando no *website* da *National Semiconductor*, reconhecida por oferecer muitos *applications notes* para seus componentes, encontramos o circuito oscilador *free running* no *datasheet* do LM111, página 12, ponto de partida para a leitura do valor de indutância em função da frequência. Com característica de elemento de isolamento entre entrada e saída, é o componente ideal para interfacear a conexão da bobina em teste com o microcontrolador. Vejamos sua concepção na figura 22.

Figura 22 – Oscilador base com amplificador operacional



Fonte: *Datasheet* LM311 ou LM339 da *National Semiconductor*

O circuito oscilador base gera uma onda quadrada na saída em função da instabilidade criada pela realimentação da entrada não inversora. Os resistores R1, R3 e R5 controlam o tempo de histerese e a frequência será dada em função dos valores de C3 e R4, ou seja:

$$f = \frac{1}{2 \cdot 0,694 \cdot R4 \cdot C3} \quad (6)$$

onde:

f = frequência em Hz;

R4 = valor do resistor de realimentação negativa em Ω ;

C3 = valor do capacitor em F.

Observação: R4 e R5 devem ser 10 vezes maiores que R2.

A boa estabilidade dependerá do correto ajuste dos componentes externos ao circuito integrado segundo consta no AN-74 da *National Semiconductor*, acessível em referências.

Circuitos osciladores são aqueles que fornecem uma frequência de saída sem necessariamente haver um sinal de entrada, segundo Halkias (1981). Na figura 21, uma parte do sinal de coletor é direcionada para a base do transistor, esta realimentação é amplificada e mantém um processo de oscilação. A frequência desta oscilação é determinada pela indutância e capacitância paralela. A parte do circuito composto por uma indutância e uma capacitância em paralelo é chamada de circuito tanque LC. A fórmula para cálculo da frequência, para o oscilador Colpitts, é:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_{eq}}} \quad (7)$$

onde:

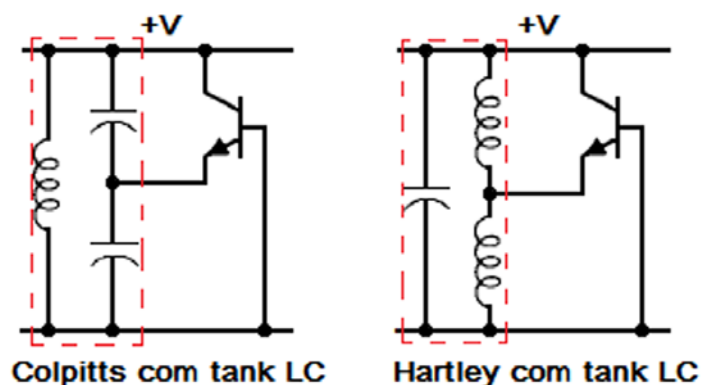
f = frequência em Hz;

L = valor da indutância em H;

Ceq = valor do capacitor em F, resultado do paralelo C1//C2.

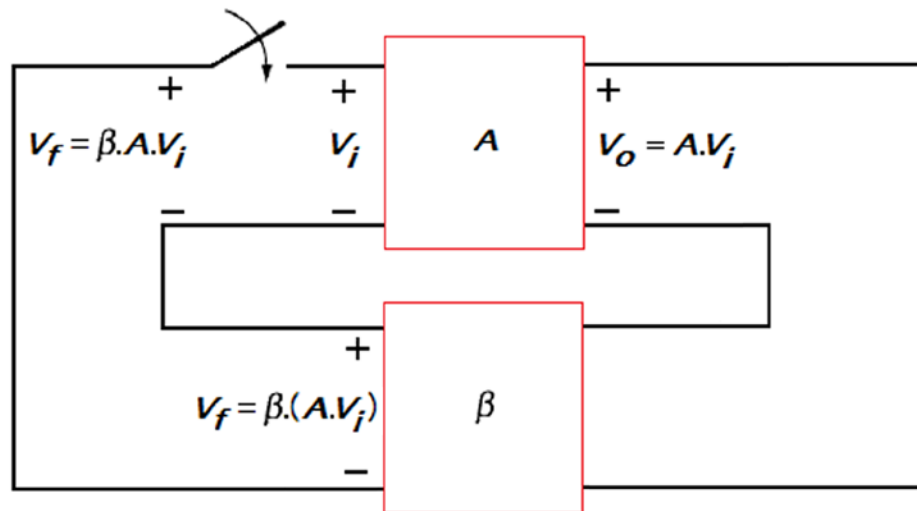
A frequência exata irá variar a partir do valor calculado devido aos efeitos de carga e das indutâncias e capacitâncias parasitas, conforme Halkias (1981). O oscilador Hartley difere do oscilador Colpitts apenas no modo como é a realimentação de sinal para o emissor. No Colpitts, há um divisor de tensão capacitivo no tanque ressonante, figura 23, enquanto no Hartley este divisor é indutivo.

Figura 23 – Circuito ressonante (*tank* LC)



Um circuito com amplificadores operacionais passa a categoria de oscilador quando o ganho da realimentação positiva por malha fechada é maior do que 1 e satisfaça a condição de fase zero segundo Cathey (1994). Para compreender essa condição, na figura 24, quando a chave está aberta, obviamente não ocorre uma oscilação.

Figura 24 – Amplificador e malha de realimentação de corrente em série



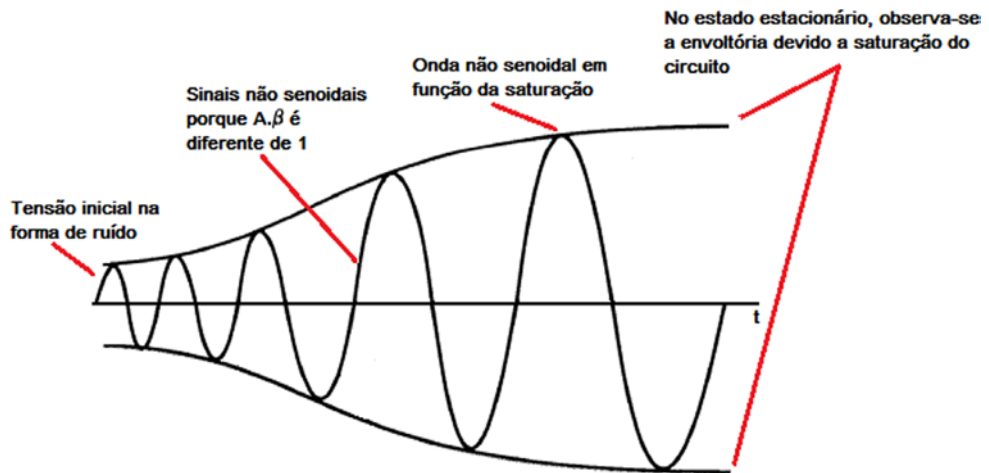
Fonte: BOYLESTAD, 1996.

Fechada a chave, uma tensão V_i é aplicada a entrada do dispositivo amplificador (A), aparecendo do outro lado deste bloco como o produto entre o ganho desta etapa e o valor desta tensão. Este produto, aplicado ao bloco de realimentação (β) resulta em novo produto (ganho de malha), agora entre o valor de saída V_o e o ganho do bloco de realimentação (β), retornando a entrada V_i , acrescido do produto ($A.\beta$).

Quando a chave é fechada, trocamos V_i por V_f e o circuito permanece em operação, para $(A.\beta) = 1$. Estabelecemos assim o critério de Barkhausen para oscilação. Este critério diz que: se partirmos de um ponto qualquer do circuito analisado e percorrermos a malha, teremos um ganho em malha aberta igual a um e uma rotação de fase de 360° . Em termos práticos, o ganho mencionado deverá ser ligeiramente superior a um de modo a permitir o *start-up* inicial.

Por conta da tensão de ruído presente no sistema, observável na figura 25, nem sempre é necessário um sinal de entrada para dar início a oscilação mesmo com $A.\beta$ maior que 1. Observa-se que quanto mais próximo de 1 este produto $A.\beta$, mais o sinal se parecerá com uma senoide conforme Boylestad (1996).

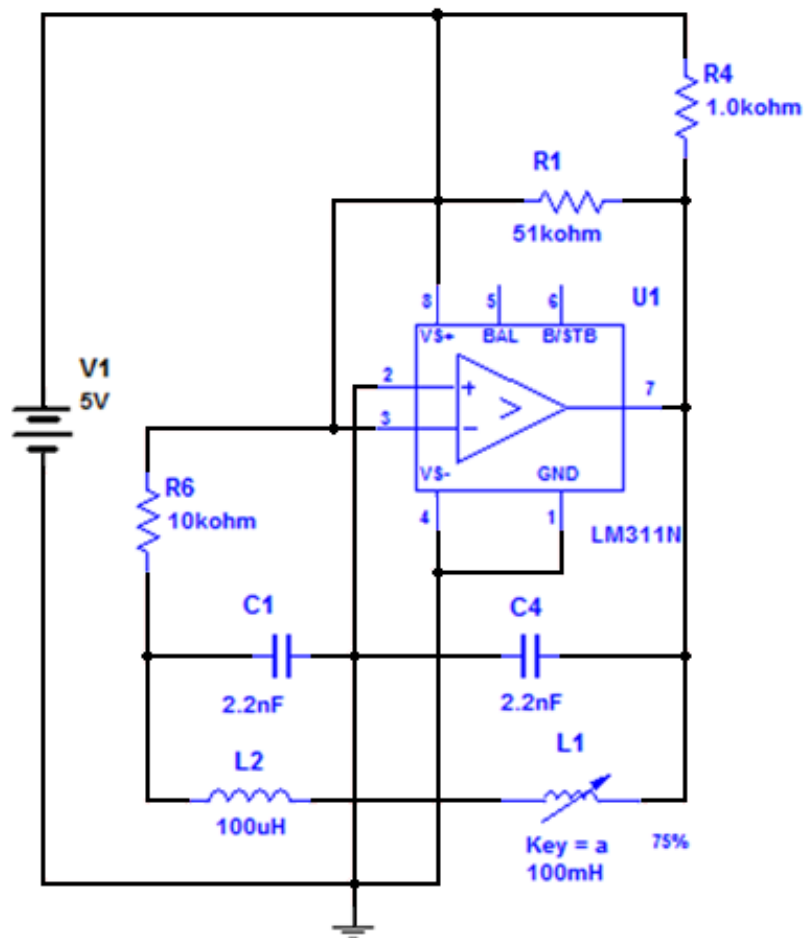
Figura 25 – Processo de oscilação a partir de uma tensão de ruído



Fonte: BOYLESTAD, 1996.

Segundo Halkias (1981), uma configuração básica do oscilador Colpitts com amplificador operacional parte do diagrama da figura 26.

Figura 26 – Circuito simulado sem histerese



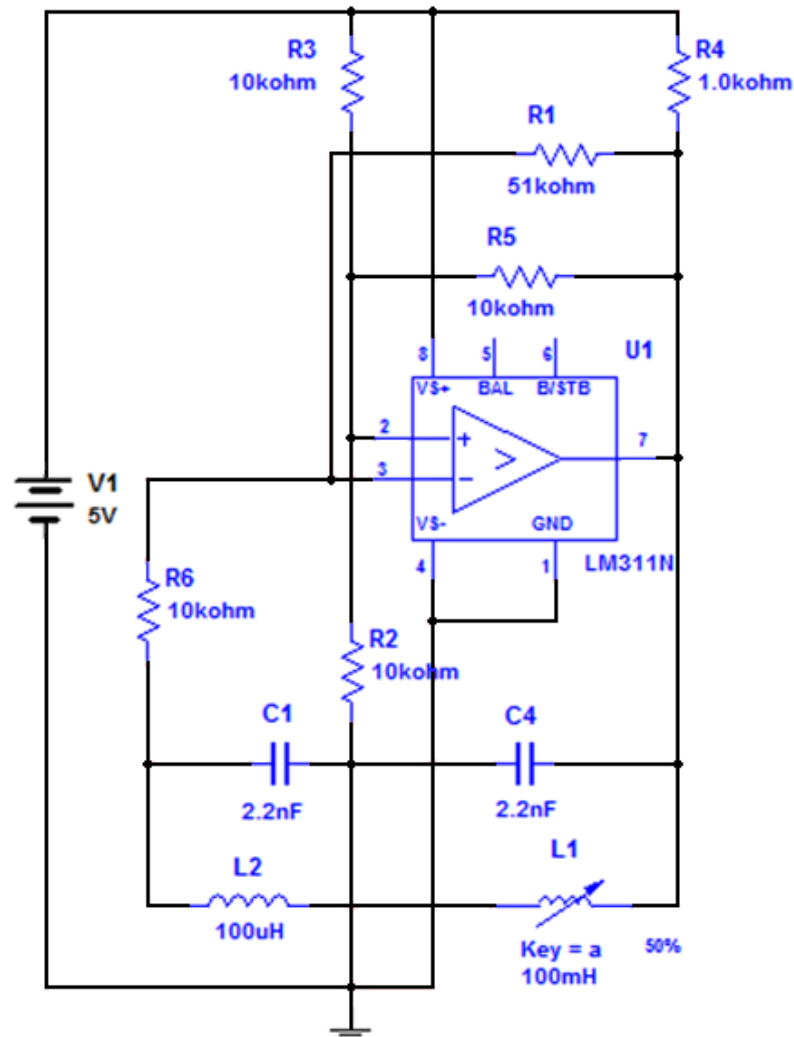
Fonte: HALKIAS, 1981.

Existe uma restrição, segundo Halkias (1981), para que o circuito oscile. O ganho A_v mínimo para iniciar a oscilação deve obedecer a relação da equação 8, onde r_2 será a componente resistiva série do indutor L_2 . Assim teremos:

$$A_v = \frac{C_1}{C_4} + \frac{(C_4 + C_1) \cdot R_o \cdot r_2}{L_2} \quad (8)$$

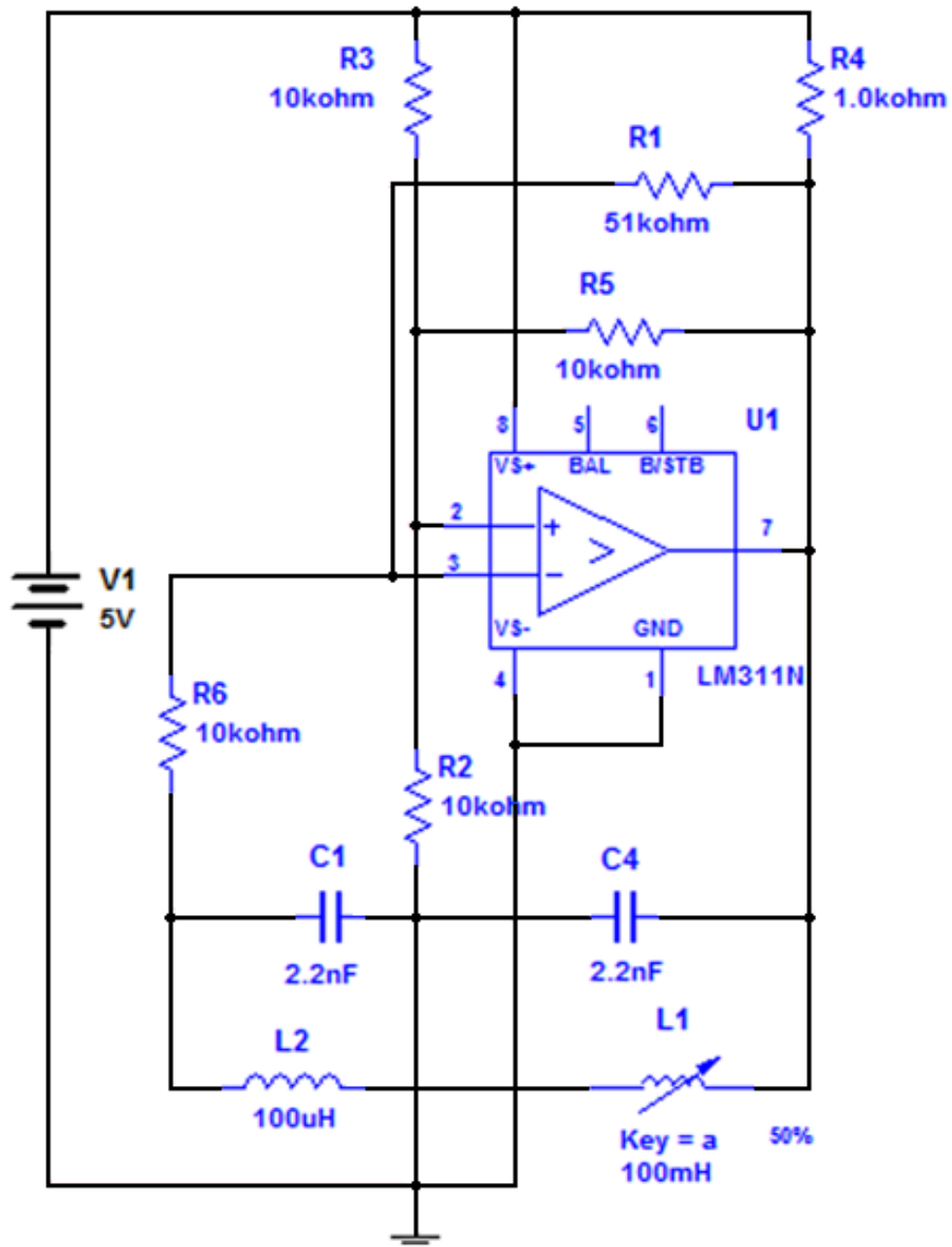
A frequência de oscilação nesta configuração com amplificador operacional é a mesma utilizada para com transistor bipolar, segundo Halkias (1981), e discutida anteriormente. Para garantir a estabilidade no processo, devemos adicionar a rede de resistores (R_2 e R_3) responsáveis pela histerese, a partir da entrada não inversora, respeitando a observação anterior. Desta forma, nosso circuito evolui para o diagrama da figura 27.

Figura 27 – Circuito simulado com histerese



Nossa bobina em teste Lx estará na posição L1 e algumas modificações são necessárias para adequar a resposta desta *interface* com a entrada RA4 do microcontrolador. O novo circuito pode ser visto na figura 28.

Figura 28 – Circuito ajustado

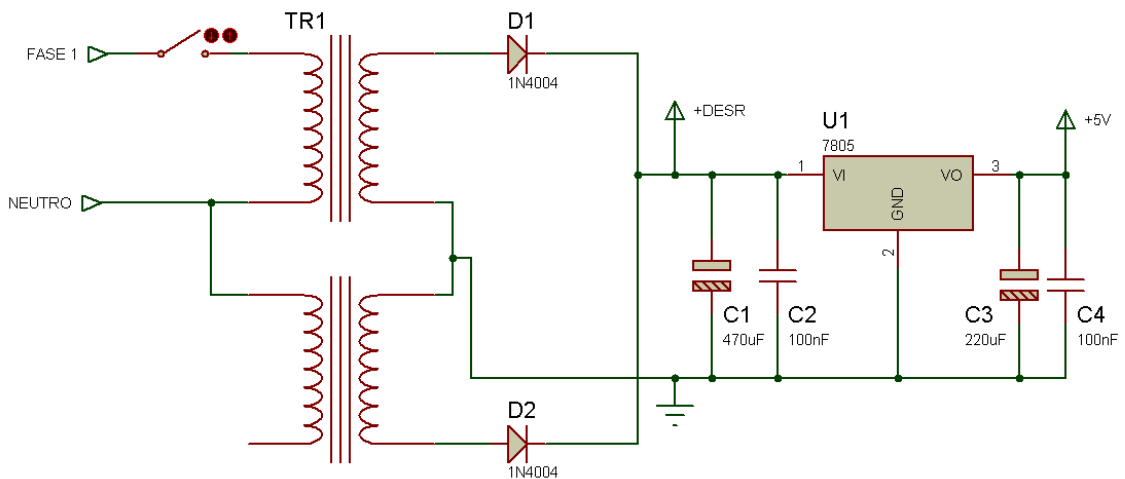


Fonte: HALKIAS, 1981.

4. PROJETO DO DISPOSITIVO

O circuito, da figura 29, representa a fonte de alimentação com entrada AC de 127 ou 220 V (não implantada) e saída fixa 5 V, para alimentação do microcontrolador PIC16F84A.

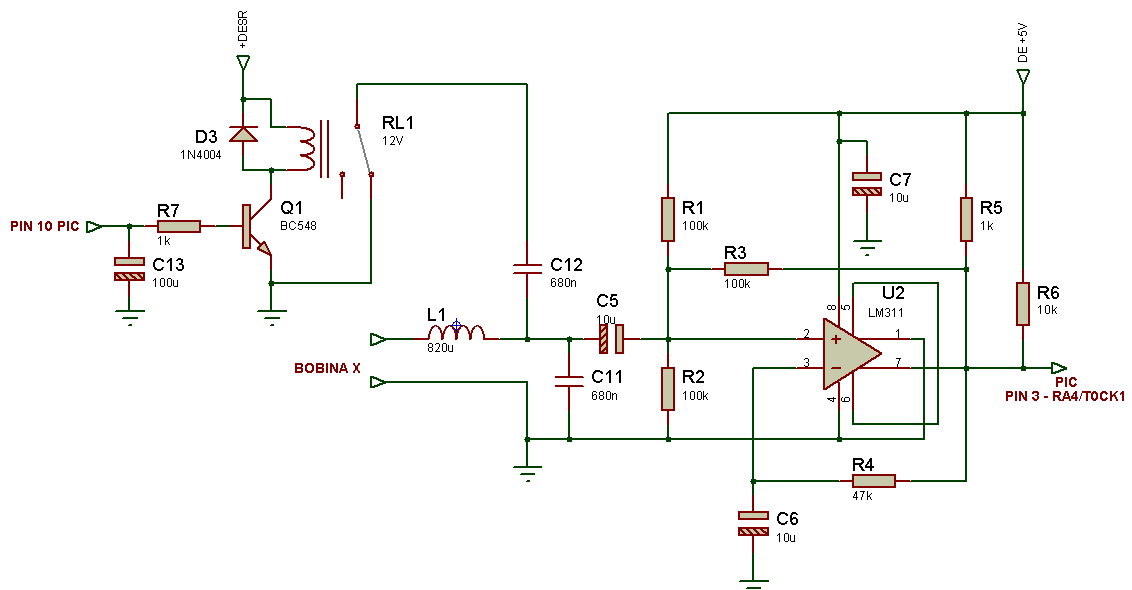
Figura 29 – Fonte de alimentação



Fonte: Autoral, outubro de 2018

O circuito da figura 30 é o oscilador Colpitts, que fará a leitura do estado da bobina e seu tipo, retornando uma frequência que será interpretada pelo *software* do PIC 16F84A. O relé é opcional para valores de bobinas que não atendam a gama de mercado.

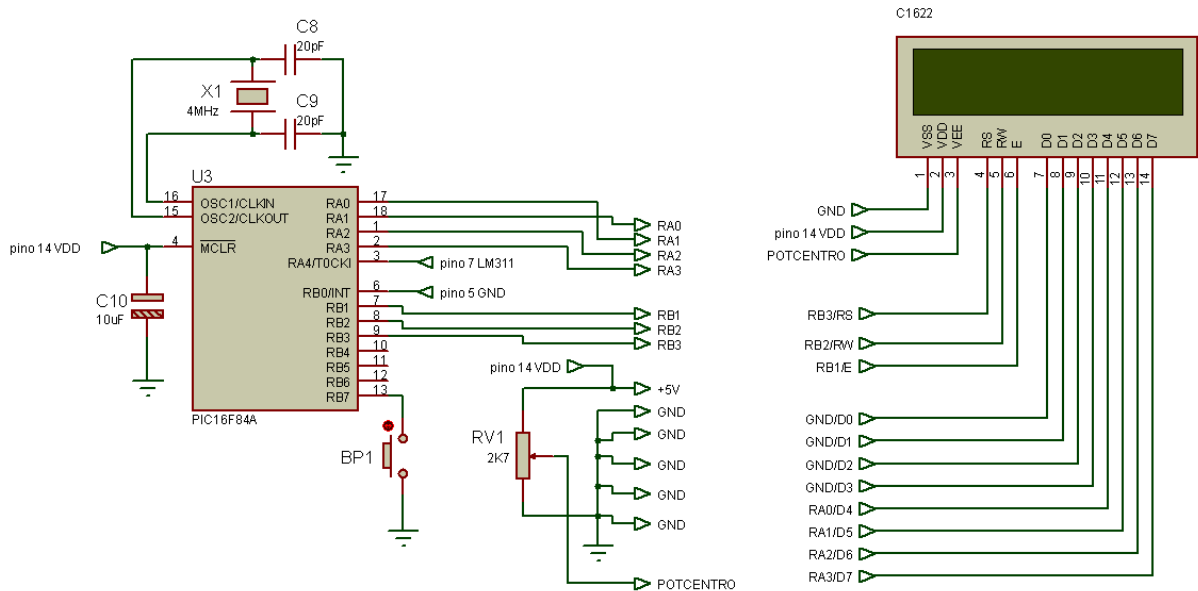
Figura 30 – Interface bobina - microcontrolador



Fonte: Autoral, outubro de 2018

O circuito da figura 31 apresenta o *display* e o microcontrolador PIC 16F84A, sendo este último aquele cujo *software* converterá em mensagem o estado e/ou tipo da bobina.

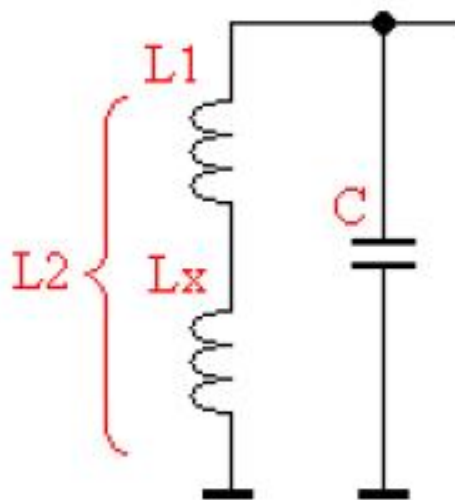
Figura 31 – Microcontrolador e *Display*



Fonte: Autoral, outubro de 2018

O cálculo da bobina L_x de entrada pode ser feito conforme se observa na figura 32. Podemos por meio algébrico, determinar o valor de L_x em função dos componentes de entrada do LM311.

Figura 32 – Impedância de entrada com a bobina



Fonte: Autoral, setembro de 2018

Sabemos as frequências de ressonância f_1 e f_2 e podemos definir L_1 e L_2 a partir daí, temos:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C}} \text{ e } L_1 = \frac{1}{C(2\pi f_1)^2} \quad (9)$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C}} \text{ e } L_2 = \frac{1}{C(2\pi f_2)^2} \quad (10)$$

Da figura 32, sabemos o valor de L_x , a saber:

$$L_x = L_2 - L_1 \quad (11)$$

E substituindo (9) e (10) em (11) teremos:

$$L_x = \frac{1}{C(2\pi f_2)^2} - \frac{1}{C(2\pi f_1)^2} \quad (12)$$

E melhorando a equação chegamos a:

$$L_x = \frac{1}{C(2\pi)^2} + \left[\frac{1}{(f_2)^2} - \frac{1}{(f_1)^2} \right] \quad (13)$$

L_x poderá assumir os valores de zero no caso de bobina em curto circuito, nesta condição $L_1 = L_2$ e L_x é nulo por (11), para L_x aberto, L_1 é infinito e f_1 tende a zero e f_2 idem, levando a anular as parcelas em (13) e L_x em função do capacitor C será um número extremamente alto, tendendo a infinito. No caso da impedância ser uma junção PN polarizada diretamente ou reversamente, no primeiro caso, há f_1 e f_2 e teremos um valor qualquer de L_x . No segundo caso, teremos o equivalente a um circuito aberto. Isso influenciará na frequência lida pelo *software*.

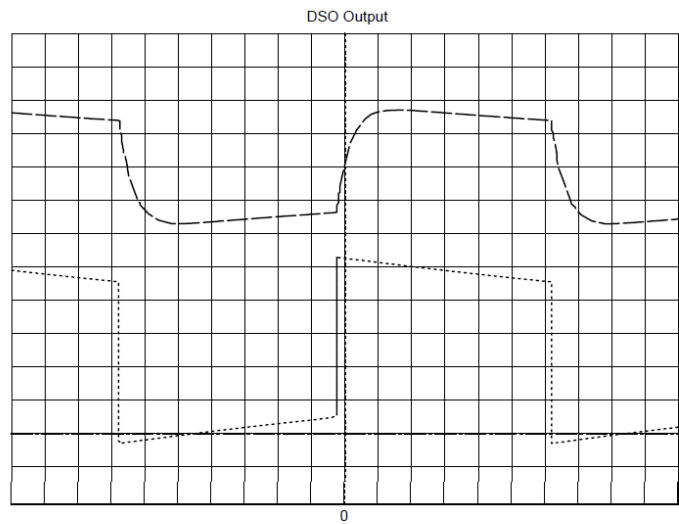
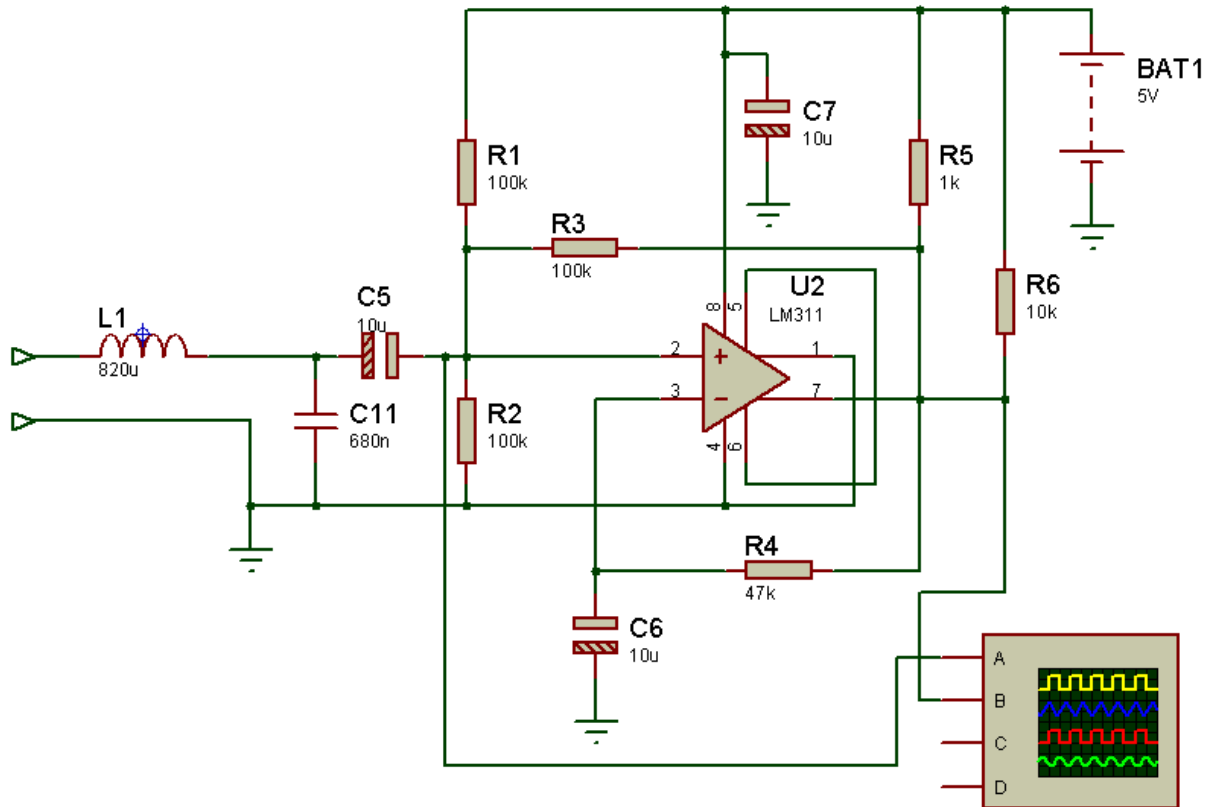
Assim, o comportamento da frequência f_2 para bobina em curto circuito e aberta e monitorada no *software* será:

$$L_x = 0, f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_x+L_1)C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(0+L_1)C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1)C}} = f_1 \quad (14)$$

$$L_x = \infty, f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_x+L_1)C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(\infty+L_1)C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(\infty)C}} \cong 0 \quad (15)$$

Por simulação no ambiente PROTEUS confirmamos os cálculos, como observamos nas figuras 33 e 34. Na figura 33, a frequência é de 1,54 Hz com amplitude de entrada igual a 2 Vpp e de saída igual a 6 Vpp.

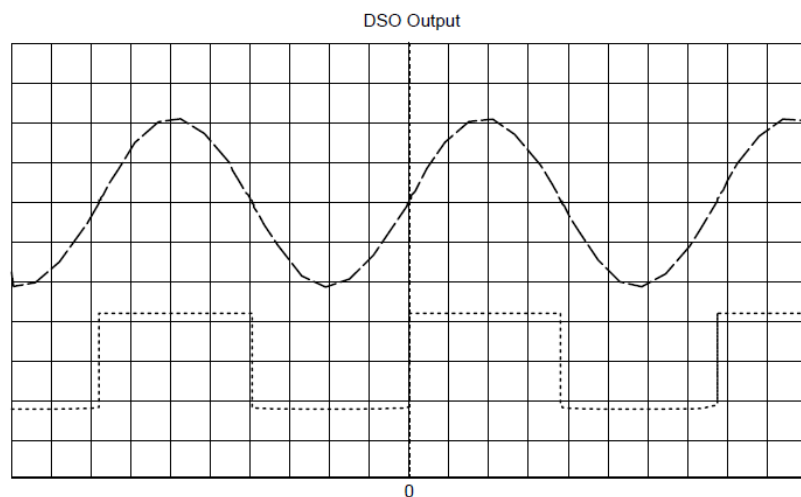
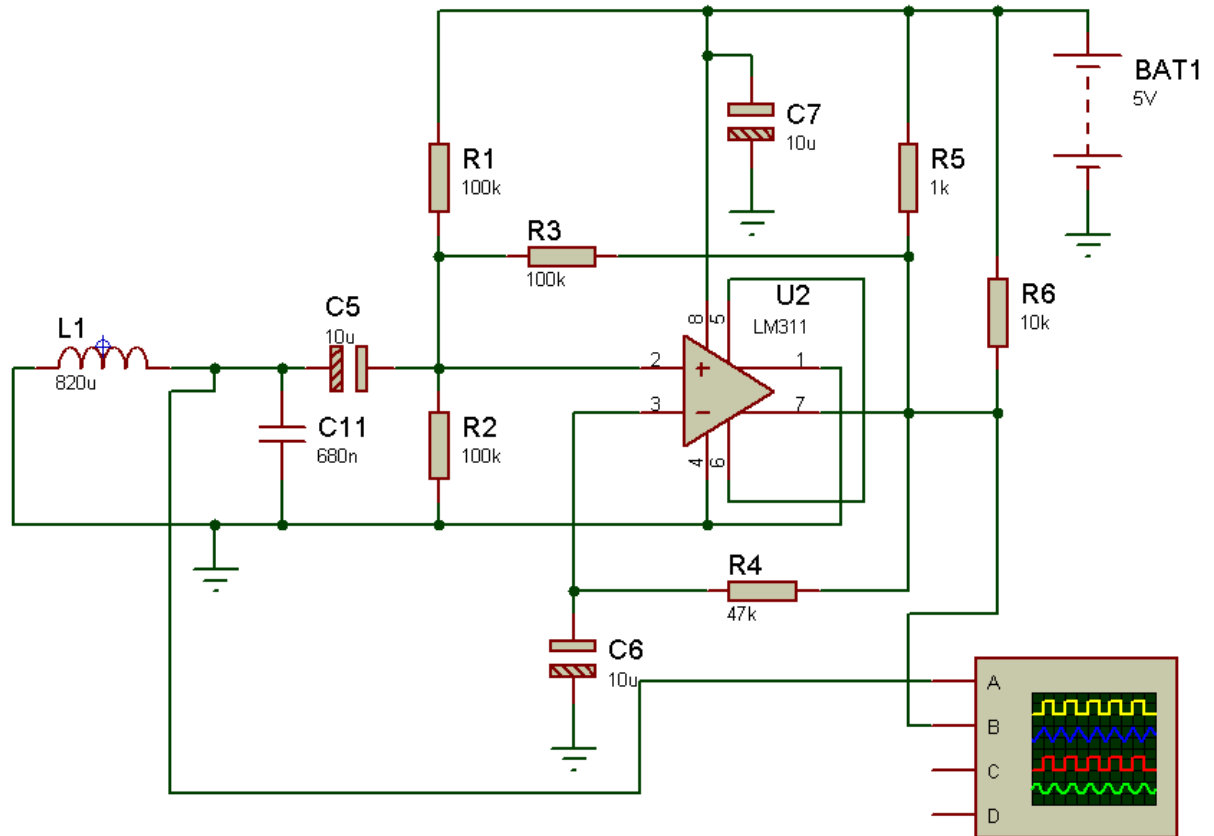
Figura 33 – Simulação bobina aberta



	Channel A	Channel B	Horizontal	Trigger
V/Div	500.00 mV	1.00 V	Source Trace	Source Channel A
Offset	6.00 V	1.00 V	Position 500.00 mS	Level 0.00 V
Invert	Normal	Normal	S/Div 50.00 mS	Coupling DC
Coupling	AC	AC		Edge Rising
				Mode Snapshot

Na figura 34, a frequência é de 6410 Hz com amplitude de entrada igual a 100 mVpp e de saída igual a 5 Vpp.

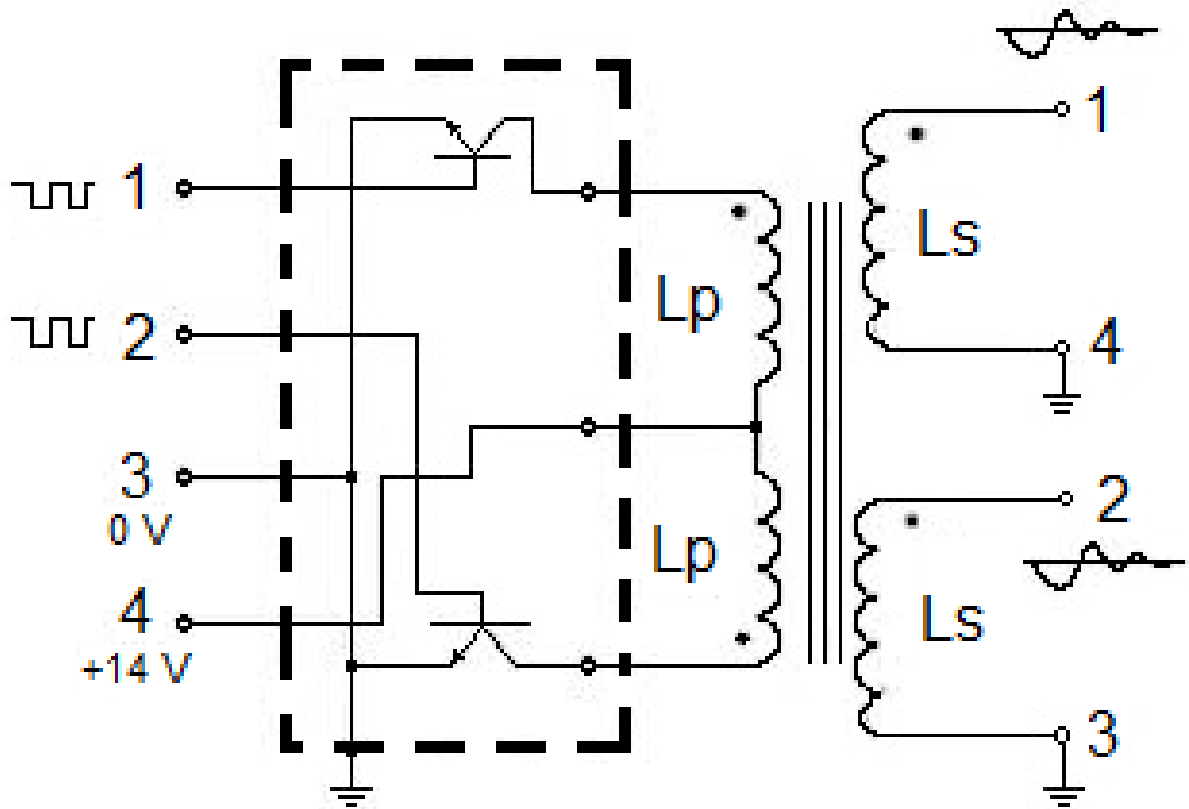
Figura 34 – Simulação bobina em curto



	Channel A	Channel B	Source	Horizontal	Source	Trigger
V/Div	20.00 mV	2.00 V	Trace	Position	Level	Channel A
Offset	240.00 mV	8.00 V	S/Div	200.00 uS	Coupling	DC
Invert	Normal	Normal		20.00 uS	Edge	Rising
Coupling	AC	AC			Mode	Auto

Para uma bobina transistorizada como da MTE-Thomson, modelo Corsa, observamos a configuração interna e o simulador atuará conforme modelagem, resultando nas informações contidas nas figuras 36 e 37, onde testamos o equivalente aos pinos 1-4 e 2-3 em L_s .

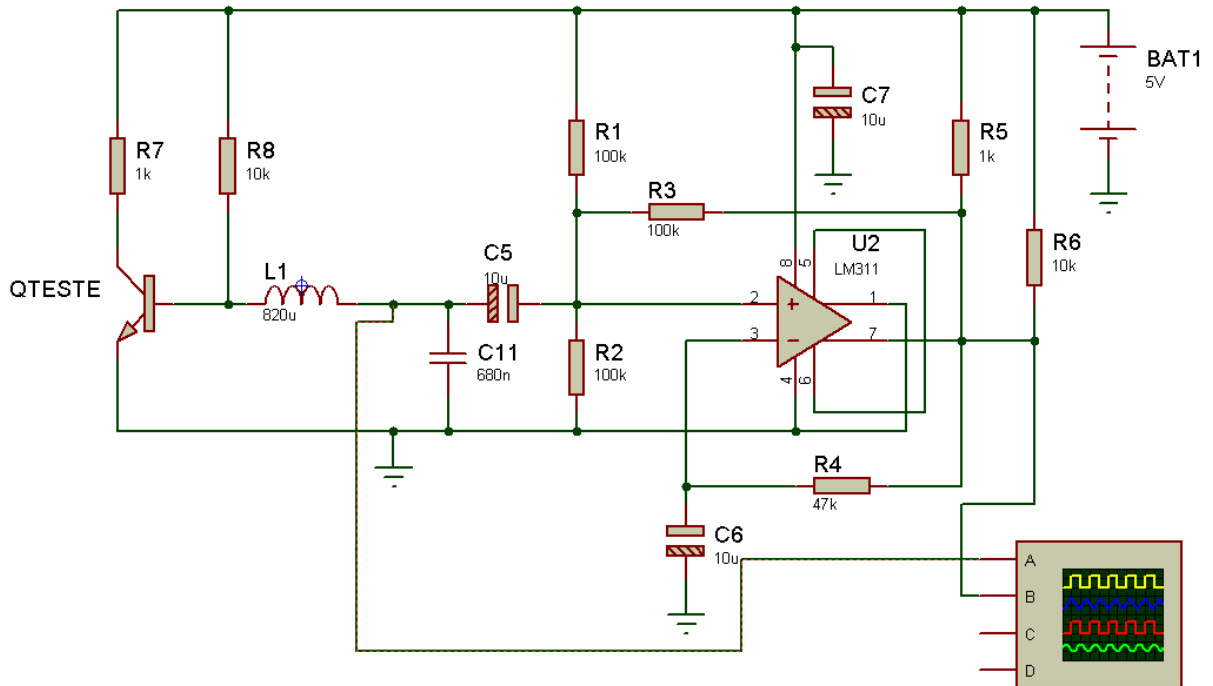
Figura 35 – Esquema interno da bobina transistorizada



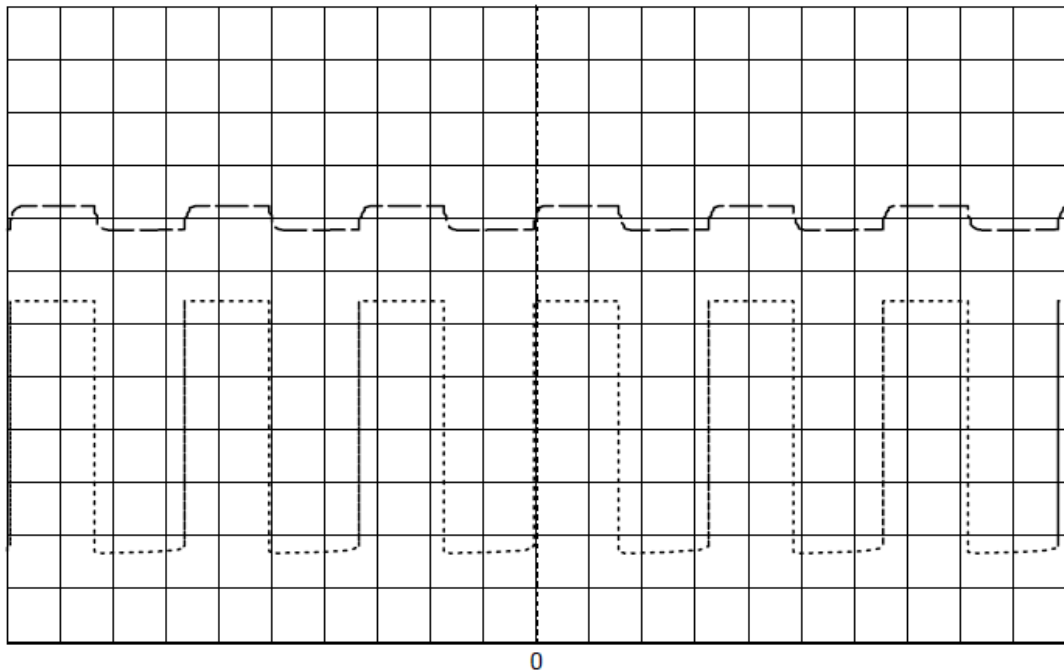
Fonte: Catálogo MTE-Thomson

Continuando para uma bobina transistorizada como da MTE-Thomson, modelo Corsa, observamos a configuração interna e o simulador atua da seguinte forma, registrando as informações nas figuras 36 e 37, onde testamos o equivalente aos pinos 1-3 e 2-3 em L_p . Na figura 36, a frequência é de 312 Hz com amplitude de entrada igual a 8 mVpp e de saída igual a 4,8 Vpp.

Figura 36 – Simulação bobina transistorizada (PN direto)



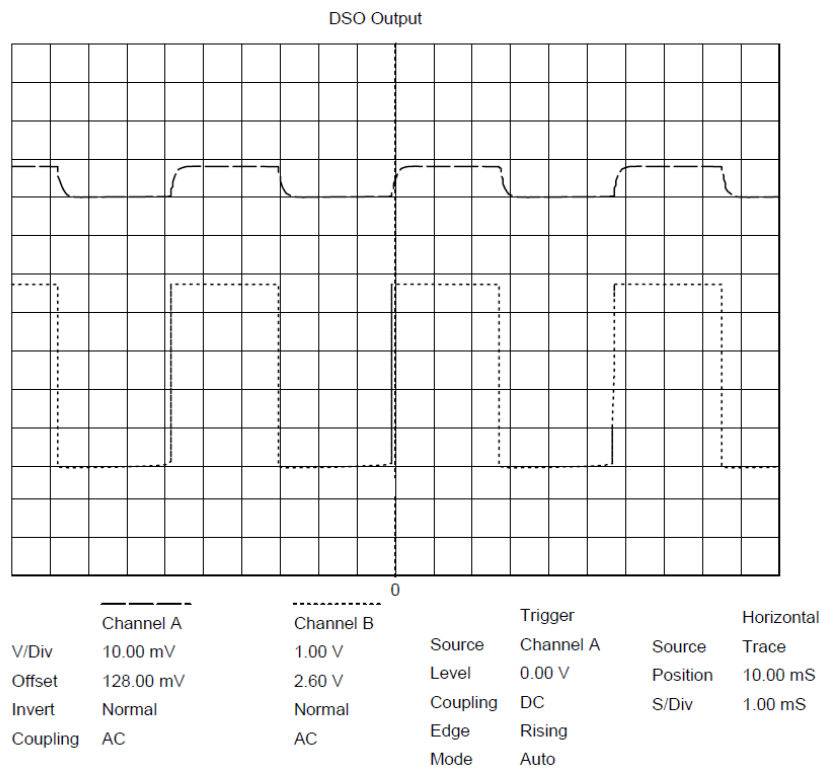
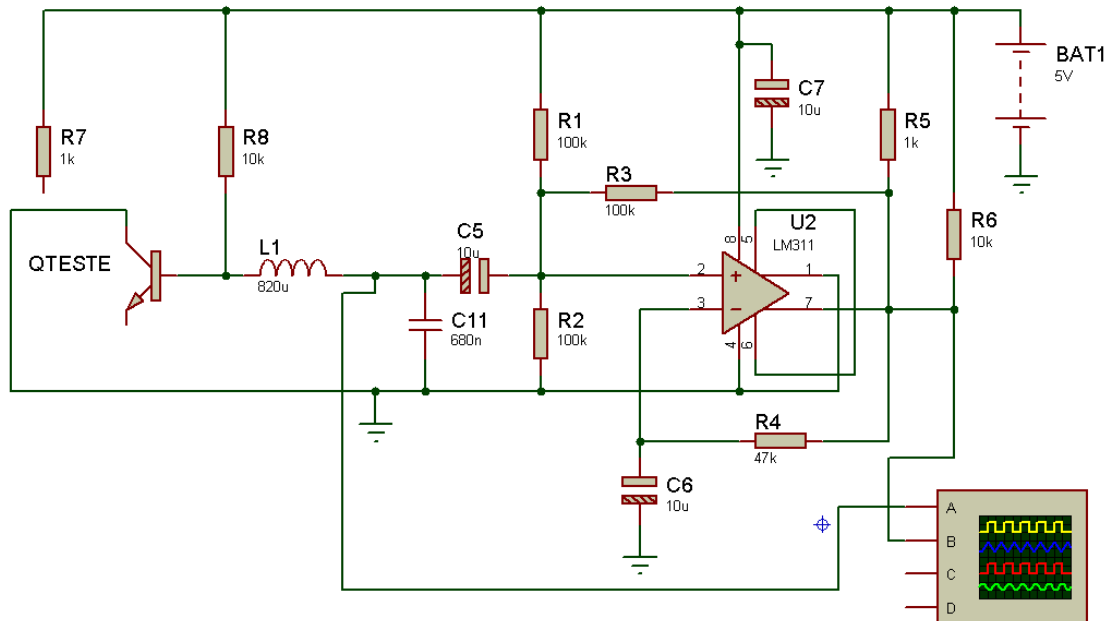
DSO Output



	Channel A	Channel B	Horizontal	Trigger
V/Div	10.00 mV	1.00 V	Trace	Source Channel A
Offset	120.00 mV	4.00 V	Position 10.00 mS	Level 0.00 V
Invert	Normal	Normal	S/Div 1.00 mS	Coupling DC
Coupling	AC	AC		Edge Rising
				Mode Auto

Na figura 37, a frequência é de 172 Hz com amplitude de entrada igual a 8 mVpp e de saída igual a 4,8 Vpp. Na simulação BC ou 1-4 Lp não se avalia o efeito de Lp. R7 está desligado nesta simulação.

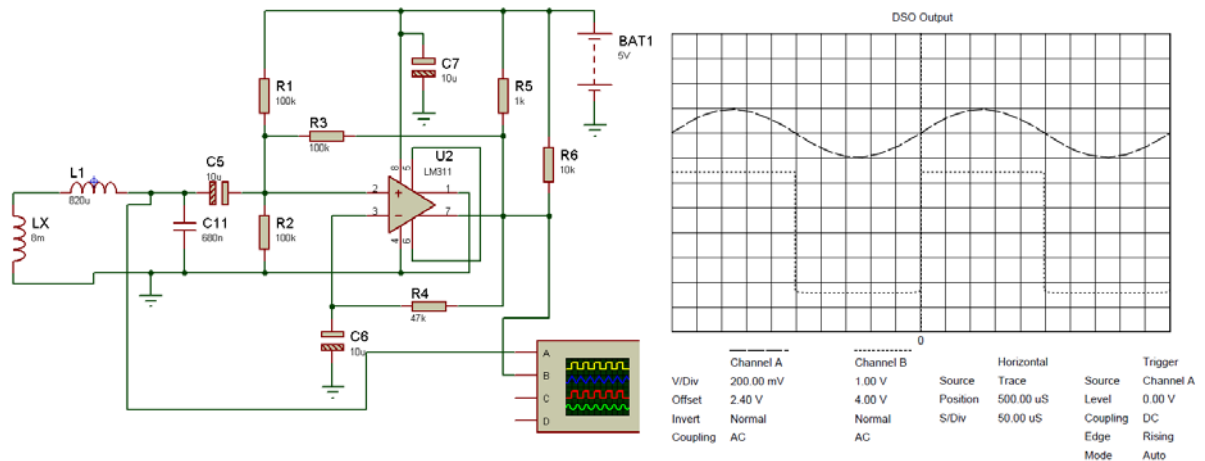
Figura 37 – Simulação bobina transistorizada (PN reverso)



Fonte: Autoral, outubro de 2018

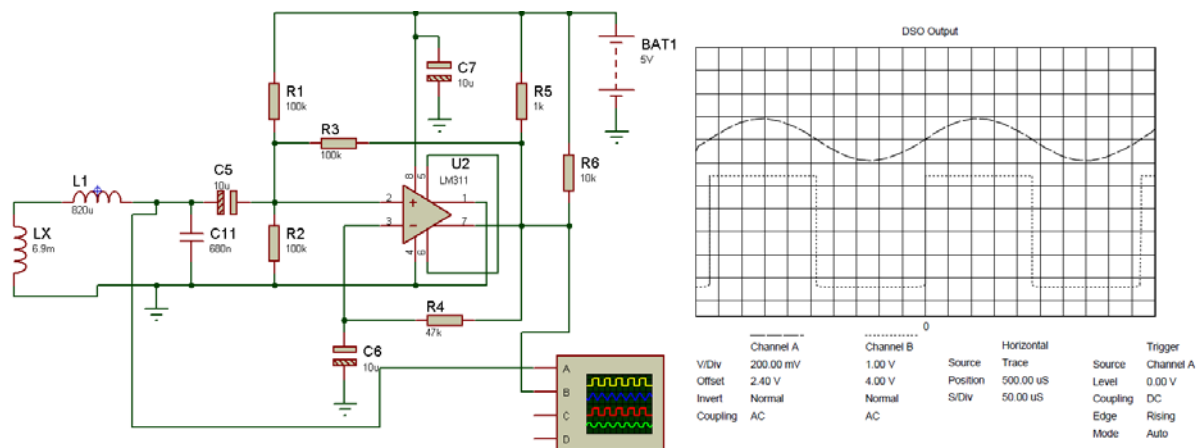
Nas figuras 38 e 39 obtivemos respectivamente os valores de 2000 Hz e 2222 Hz, ambos os sinais com 5 Vpp.

Figura 38 – Simulação bobina MSD 8 mH



Fonte: Autoral, outubro de 2018

Figura 39 – Simulação bobina MSD 6,9 mH



Fonte: Autoral, outubro de 2018

Na bobina FULLTECH, a frequência medida na saída do LM311 foi de 4672, 9 Hz com 5 Vpp. No quadro 4, tabulamos os dados para a programação, obtidos da simulação.

Quadro 4 – Valores em frequência proporcionais ao estado elétrico da bobina

Estado físico e elétrico	Frequência
Aberto ou infinito	Até 10 Hz
Curto circuito	Acima de 6000 Hz
Análise BE	Entre 250 e 350 Hz
Análise BC	Entre 150 e 250 Hz
Normal	Entre 500 e 5000 Hz

Fonte: Autoral, outubro de 2018

No mercado encontramos pequenas diferenças de indutância, como pode ser visto nas bobinas de mercado na figura 40. Com um microcontrolador com mais memória, poder-se-ia tabelar as principais e mostrar o nome no *display*.

Figura 40 – Bobinas de mercado



Fonte: MercadoLivre.com

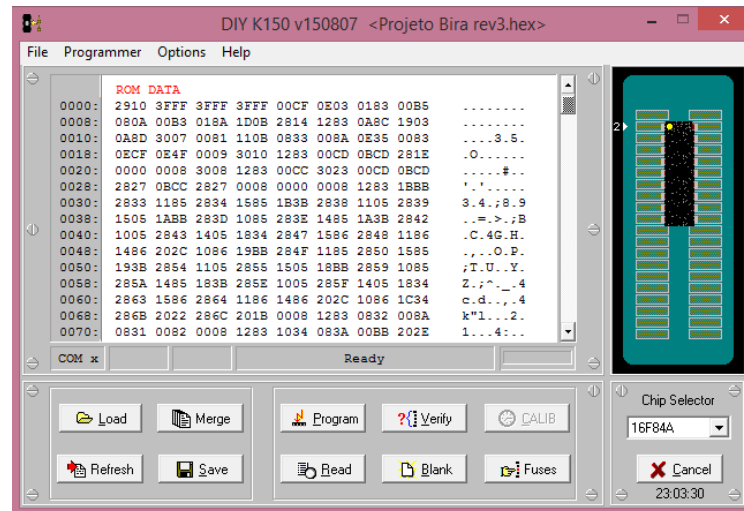
4.1 Programas

Para programar o microcontrolador PIC 16F84A, utilizou-se inicialmente o compilador PCWHD IDE *compiler*, versão 4.104, 2018, disponível na internet em www.ccsinfo.com. O PCWHD é um *software* que converte a linguagem escrita de alto nível em linguagem binária para que o microcontrolador possa entender as linhas de programação e a intenção do programador. Infelizmente, utilizar o espaço de memória RAM para escrita no *display* resultou em uso excessivo deste recurso. Acreditando-se ser o *software* a origem do problema, finalizou-se o trabalho com a *interface* mikroC PRO for PIC na versão 6.4.0 de 2014.

O mikroC PRO for PIC é um compilador C com recursos completos para dispositivos PIC. O ambiente conta com um número cada vez maior de bibliotecas de *hardware* e *software*, IDE intuitivo, *software* Visual TFT integrado, documentação detalhada e uma caixa completa de ferramentas adicionais (MICROGENIUS, 2018).

Para gravar o arquivo compilado, utilizou-se o microburner que acompanha o gravador K150U, cuja tela observa-se na figura 41.

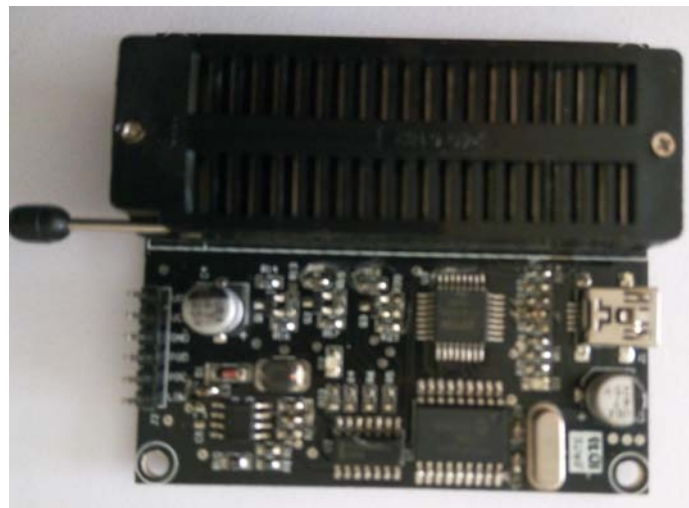
Figura 41 – Tela do microburner



Fonte: Autoral, outubro de 2018

A partir do código binário gerado pelo PCWHD, grava-se o arquivo compilado na memória *flash* do microcontrolador, através de um gravador de PIC com conector ZIF, no caso, o K150U de propriedade do autor, ilustrado na figura 42.

Figura 42 – Gravador K150U



Fonte: Autoral, outubro de 2018

Os circuitos eletrônicos desenvolvidos neste trabalho foram desenvolvidos utilizando-se o *software* Proteus versão 7.7 na versão *portable*. O *software* para a execução do microcontrolador apresenta falhas de memória e costuma fechar as janelas de simulação por exceder os limites mínimos de transiente. Também não se consegue usar o osciloscópio junto com o PIC na mesma simulação.

4.2 Fluxograma da Rotina de Teste

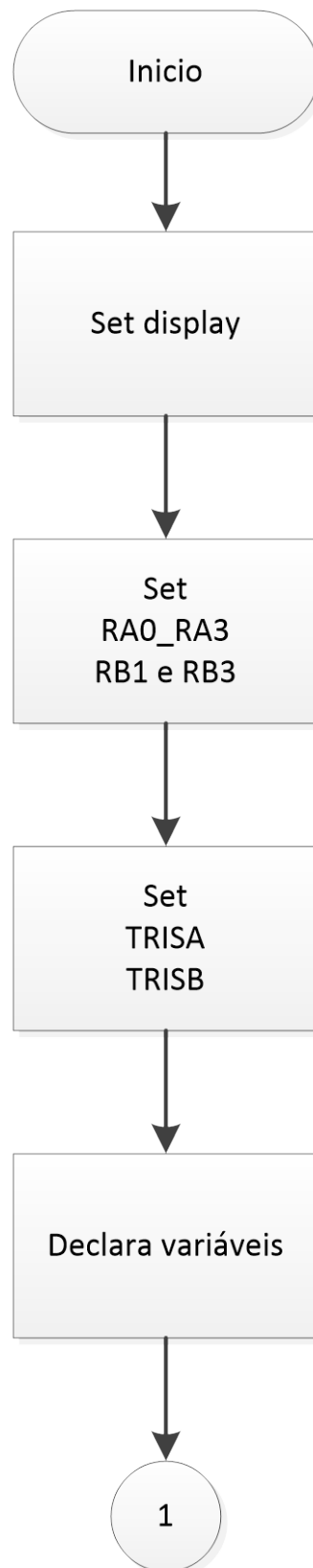
Após escolhermos as bibliotecas e selecionarmos o tipo de PIC, funções ocultas do programa, mas acessíveis por menu na plataforma mikroC, ajustamos o *setup* do *display*, quais ports utilizar, quais pinos e se a comunicação com o LCD será de 8 ou 4 bits (ZANCO, 2010). Disso temos o primeiro fluxograma na figura 43.

Nas figuras 43 e 44, detalhamos as variáveis tipo *int* e *char* que serão usadas na contagem e exibidas no *display*.

Na figura 45, detalhamos a forma como se dá o tratamento da interrupção durante a execução do programa. Essa contagem faz parte da medição da presença do sinal de frequência.

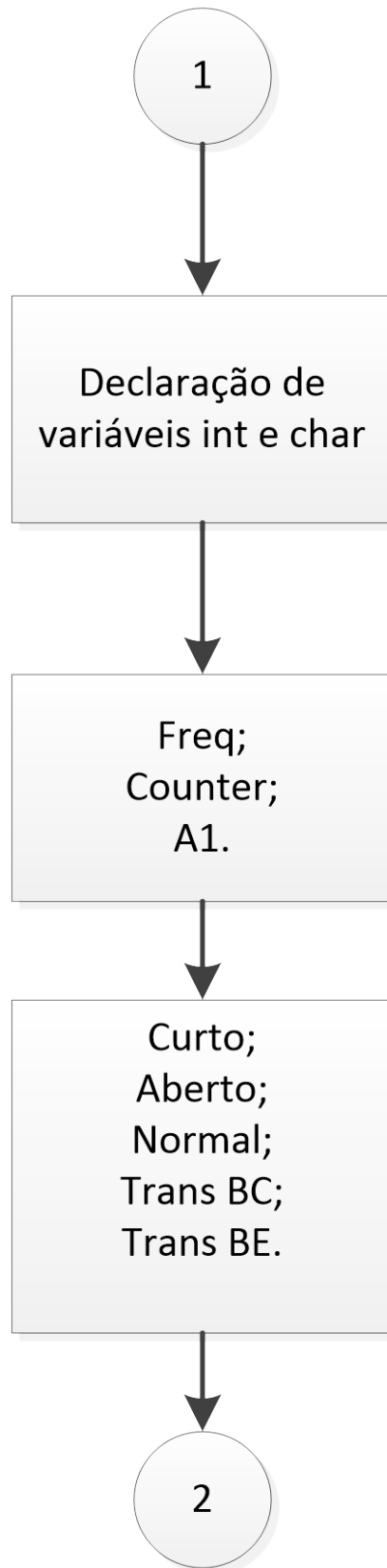
Na figura 46, detalhamos o programa principal, momento que trabalhamos com os registradores na contagem do tempo para cálculo da frequência e vínculo com a condição da bobina.

Na figura 47 estabelecemos a rotina de leitura da frequência em função da alteração binária nos bits dos registradores utilizados (ZANCO, 2010). Feito isso, na figura 48, vinculamos a leitura a uma mensagem no *display*. E a todo o momento, podemos apertar o botão *reset* e limpar todos os registros, como visto na figura 49.

Figura 43 - Fluxograma 1: Rotina inicial de *setup* do LCD.

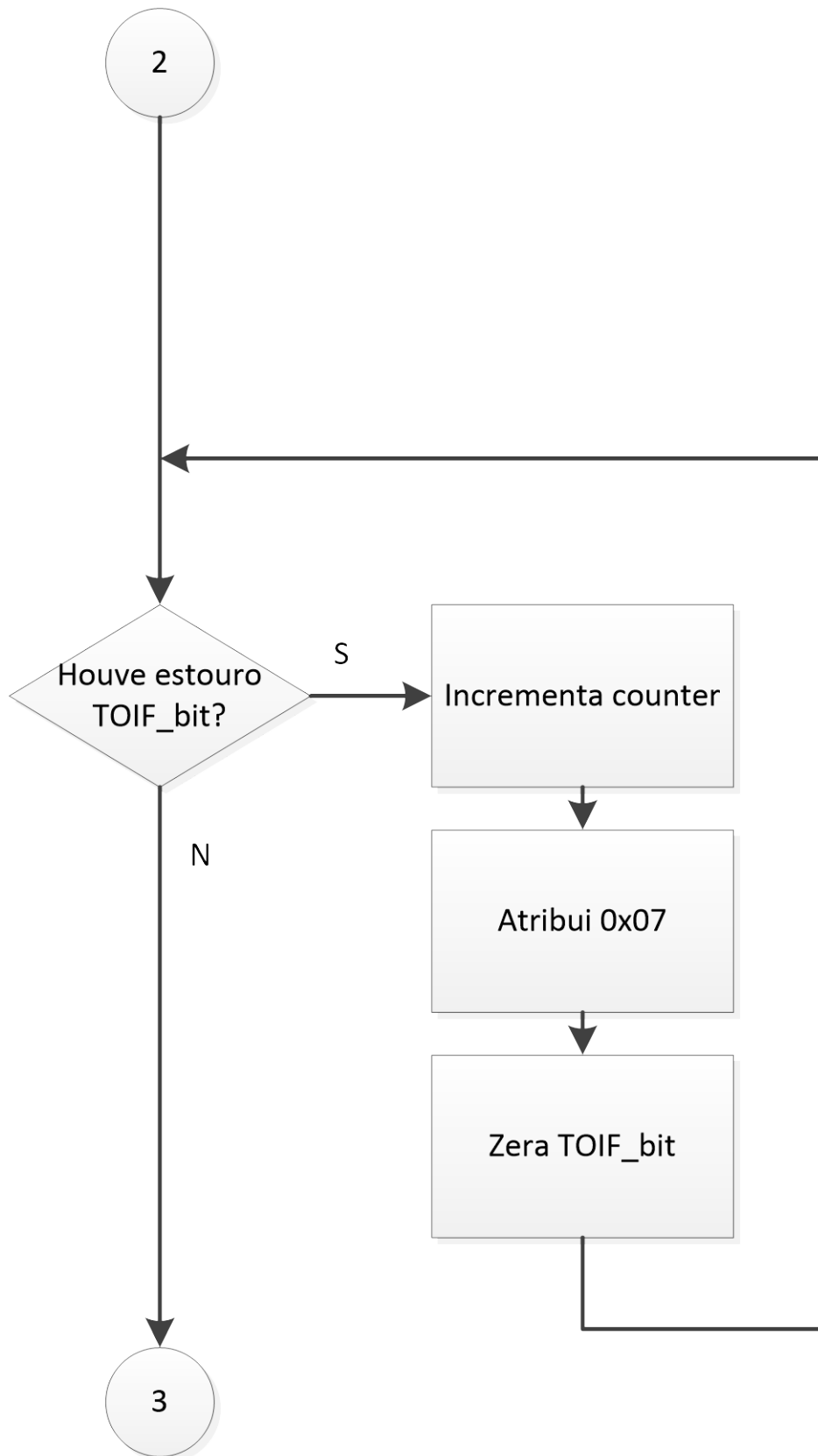
Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 44 - Fluxograma 2: Declaração de variáveis



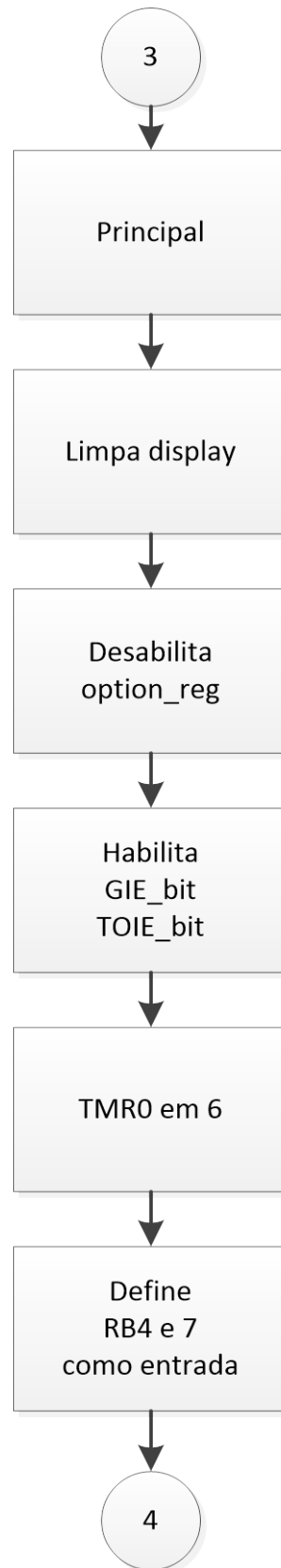
Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 45 - Fluxograma 3: Tratamento da interrupção



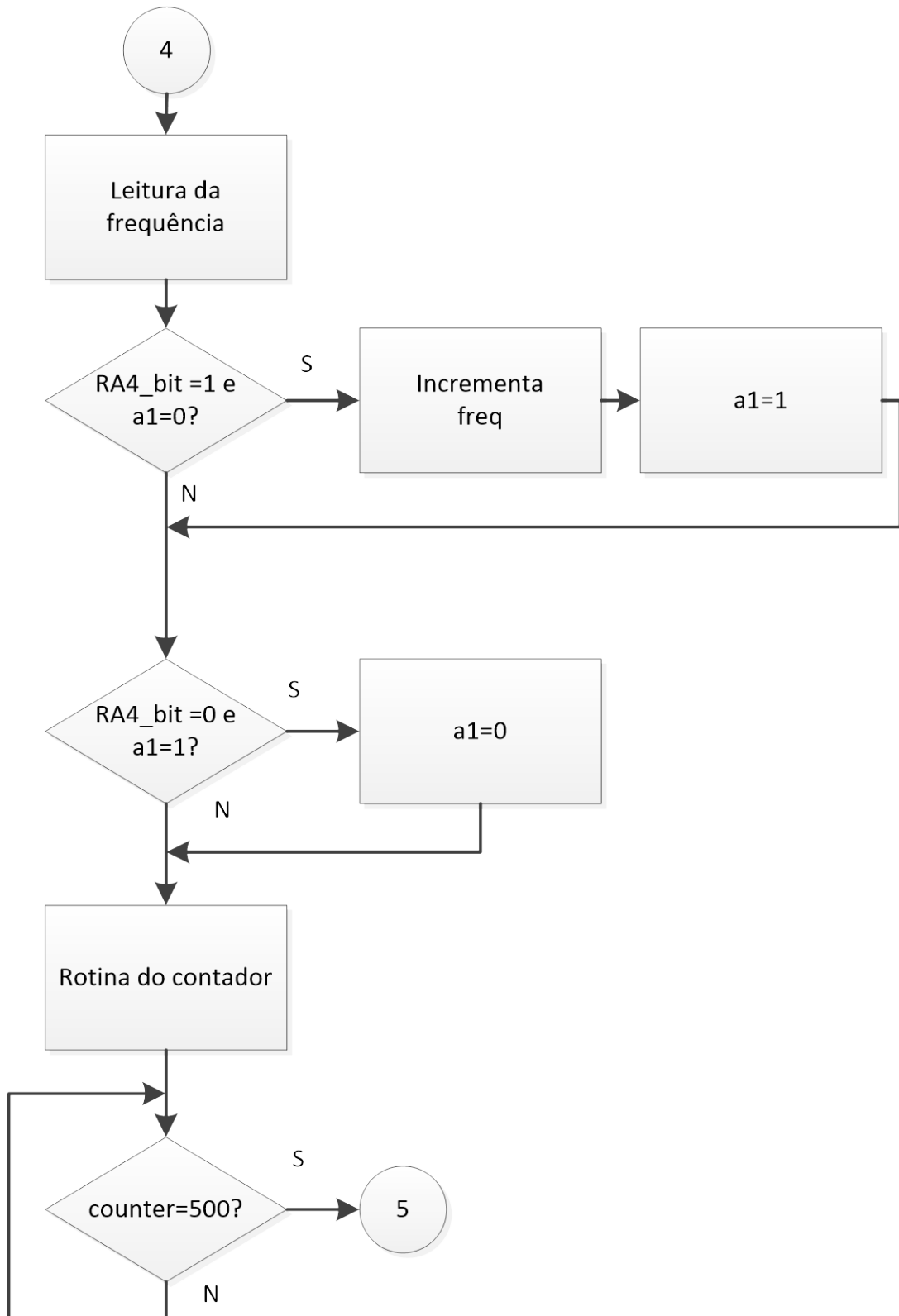
Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 46 - Fluxograma 4: Corpo do programa principal

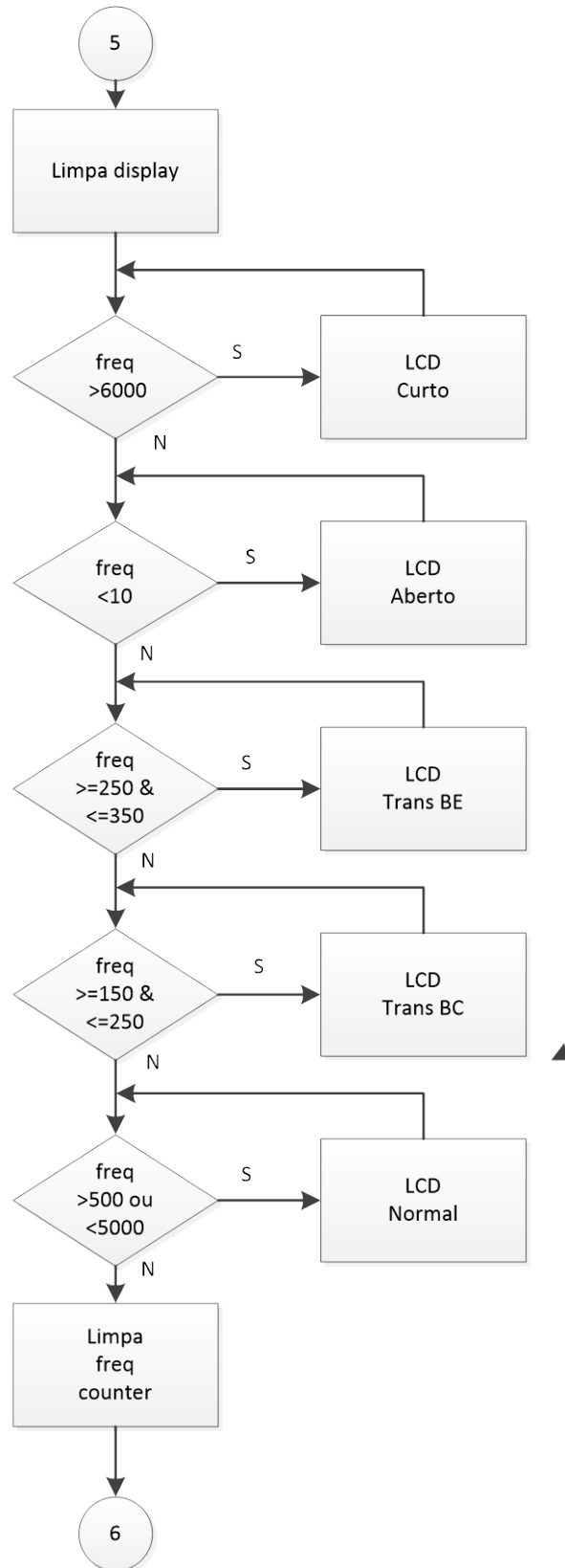


Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 47 - Fluxograma 5: Leitura da frequência

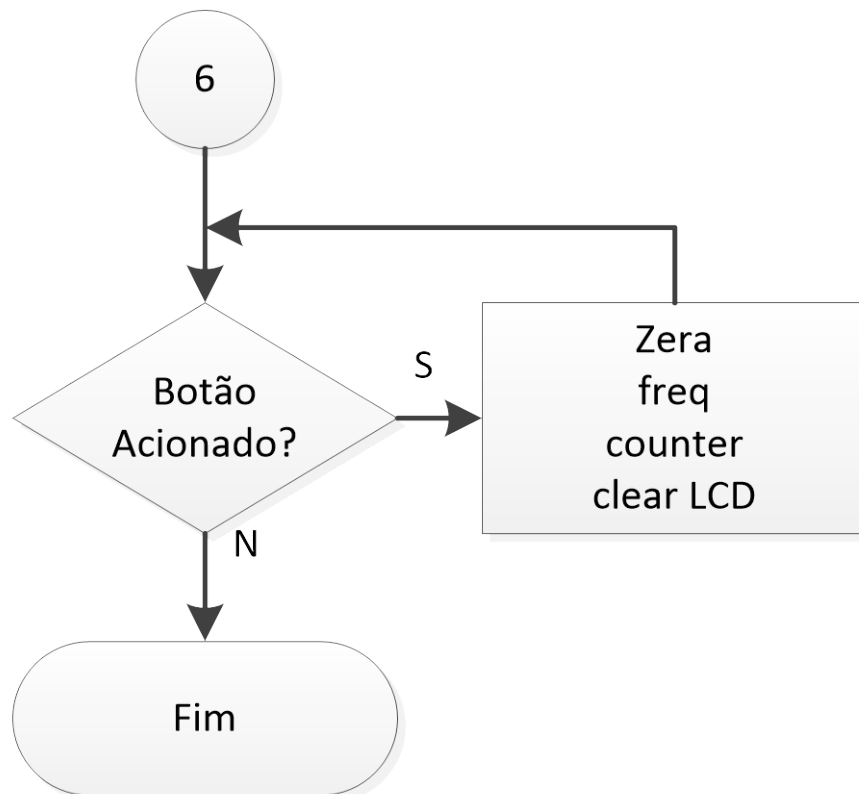


Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 48 - Fluxograma 6: Identifica frequência e aciona *display*

Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 49 - Fluxograma 7: Botão de reset



Fonte: Autoral, novembro de 2018

4.3 Testes do software em ambiente virtual

O primeiro grande teste é vencer a limitação de memória, figura 50, do PIC 16F84A que dificulta o uso de *display* de 2 ou três linhas com frases que ocupam toda uma linha, não necessariamente ao mesmo tempo. Uma opção seria o PIC 16F628, mas o desafio da tarefa é vencer a escassez de recursos e manter o baixo custo da aplicação. O reflexo disso é ao invés da escrita “Bobina em Curto” ficamos apenas com “Curto” e “Bobina Trans BE” ficamos com “Trans BE”, por exemplo.

Figura 50 – Mensagem sobre uso de memória

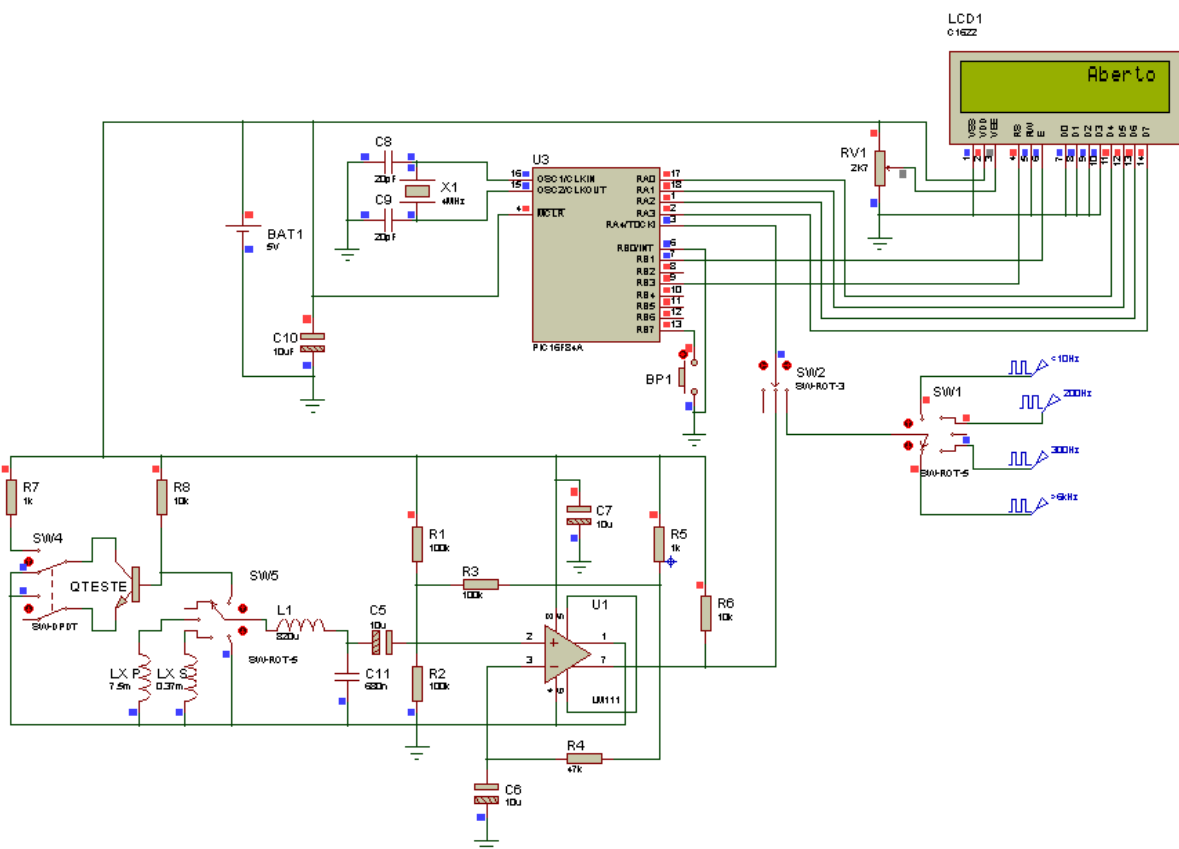
Line	Message No.	Message Text	Unit
0	1144	Used RAM (bytes): 47 (90%) Free RAM (bytes): 5 (10%)	Used RAM (bytes): 47 (90%) Free RAM (by
0	1144	Used ROM (program words): 494 (48%) Free ROM (program words): 530 (52%)	Used ROM (program words): 494 (48%) Fre
0	125	Project Linked Successfully	MyProject.mcppi
0	128	Linked in 47 ms	

Fonte: Autoral, novembro de 2018

Vencida esta etapa, montamos a *interface* do PIC16F84A e do LM311 no ambiente PROTEUS e simulamos as frequências (chave SW1) que correspondem aos valores encontrados na simulação inicial e no quadro 3. Com a chave SW2, o sinal passa a vir do oscilador Colpitts, em função do tipo de situação como bobina em curto, bobina em aberto e na situação normal e para bobinas de mercado com ou sem transistor como visto no exemplo da bobina do Corsa. As simulações podem ser vistas nas figuras que seguem. Para confirmar a validade do teste, basta seguir as chaves SW1, SW2, SW3 e SW4 eletricamente.

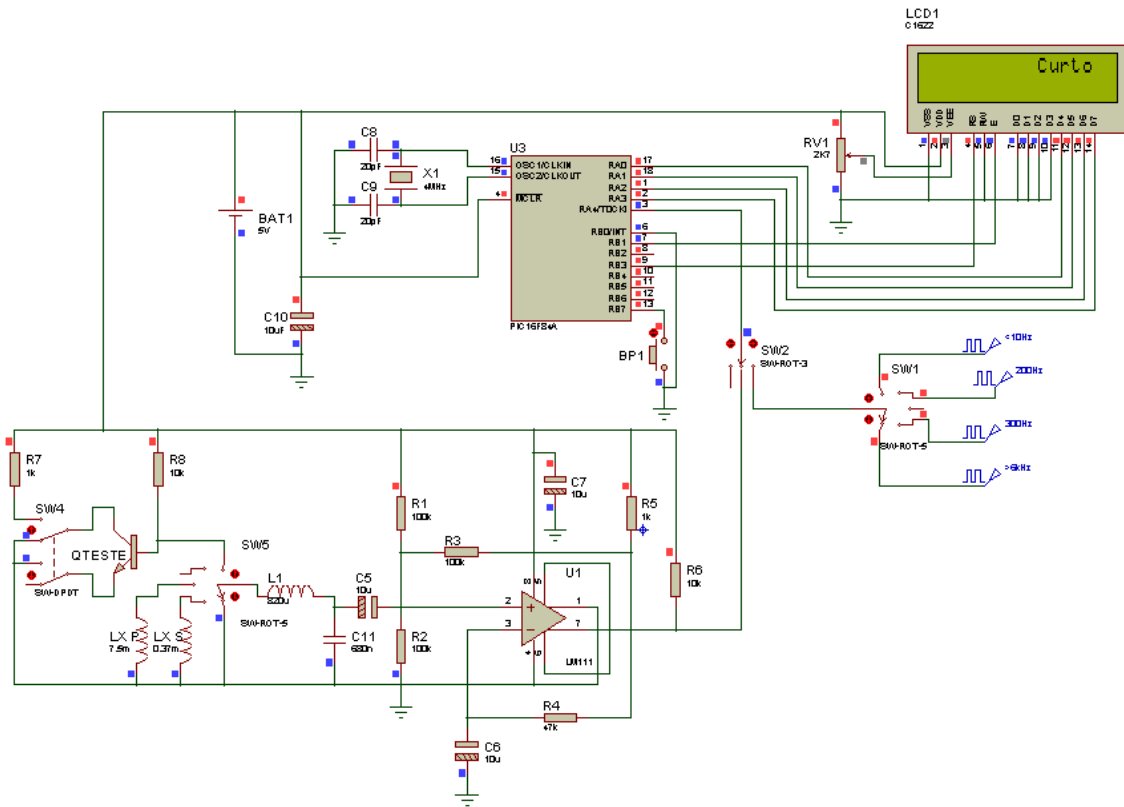
A simulação no PROTEUS é apenas uma linha auxiliar, visto ocorrerem problemas de alocação de memória do computador e problemas por falta de atualização em função da natureza do *software*. A lentidão na atualização da informação no *display* pode não ocorrer na prática. Na sequência, confirmamos os valores das simulações do *software*, como observado nas figuras 51 a 56.

Figura 51 – Simulação Aberto



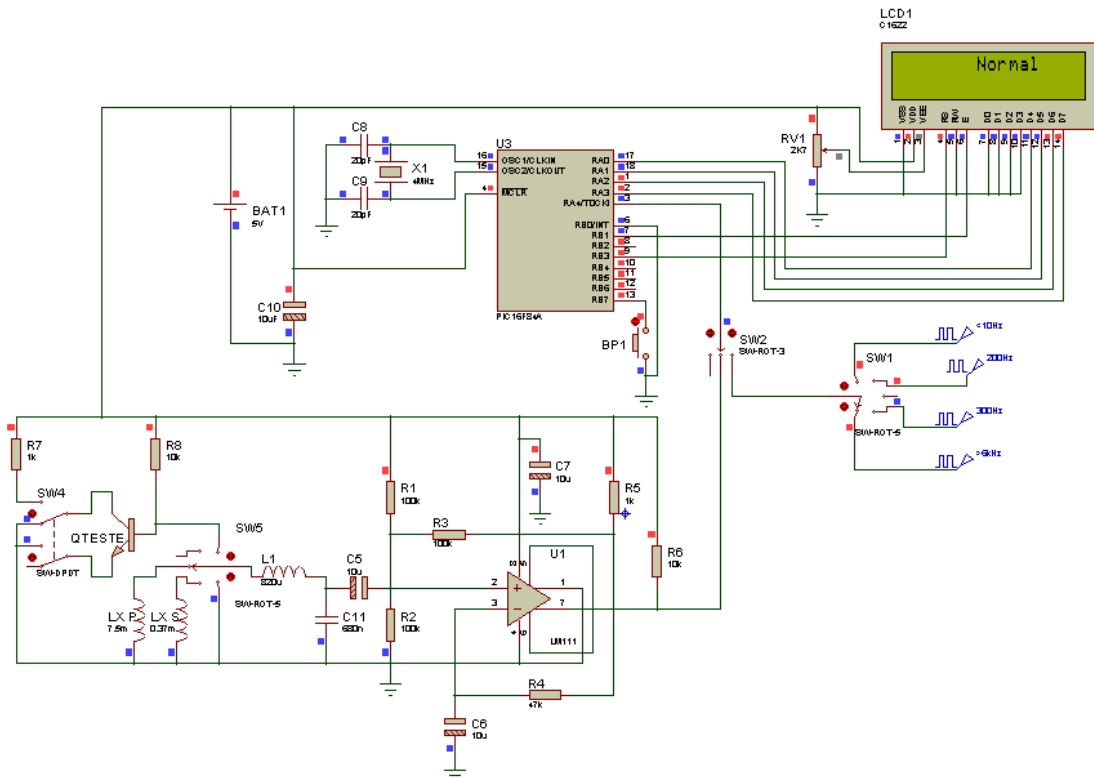
Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 52 – Simulação Curto



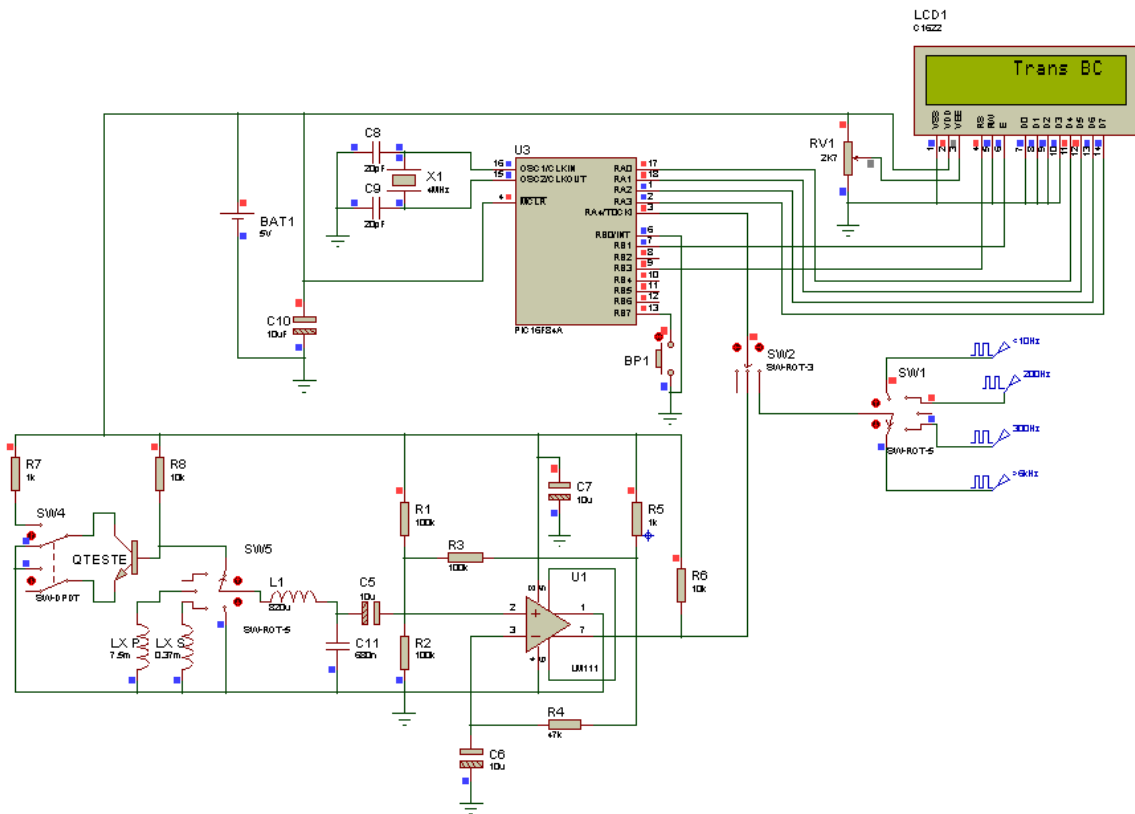
Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 53 – Simulação Primário Normal



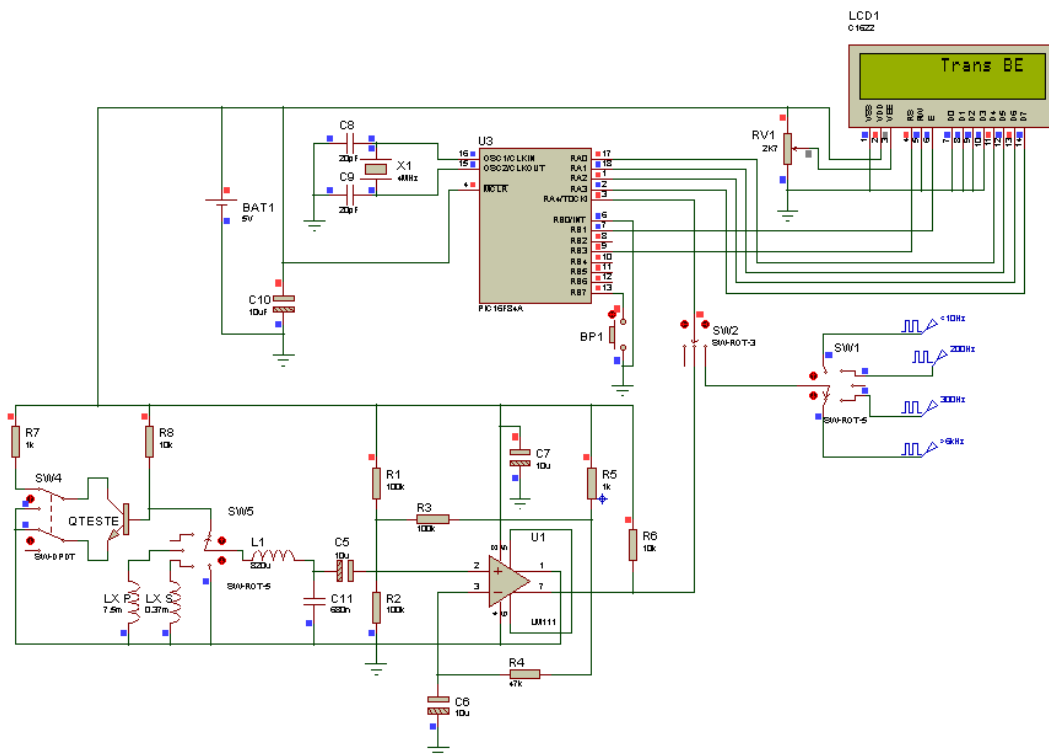
Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 54 – Simulação Trans BC



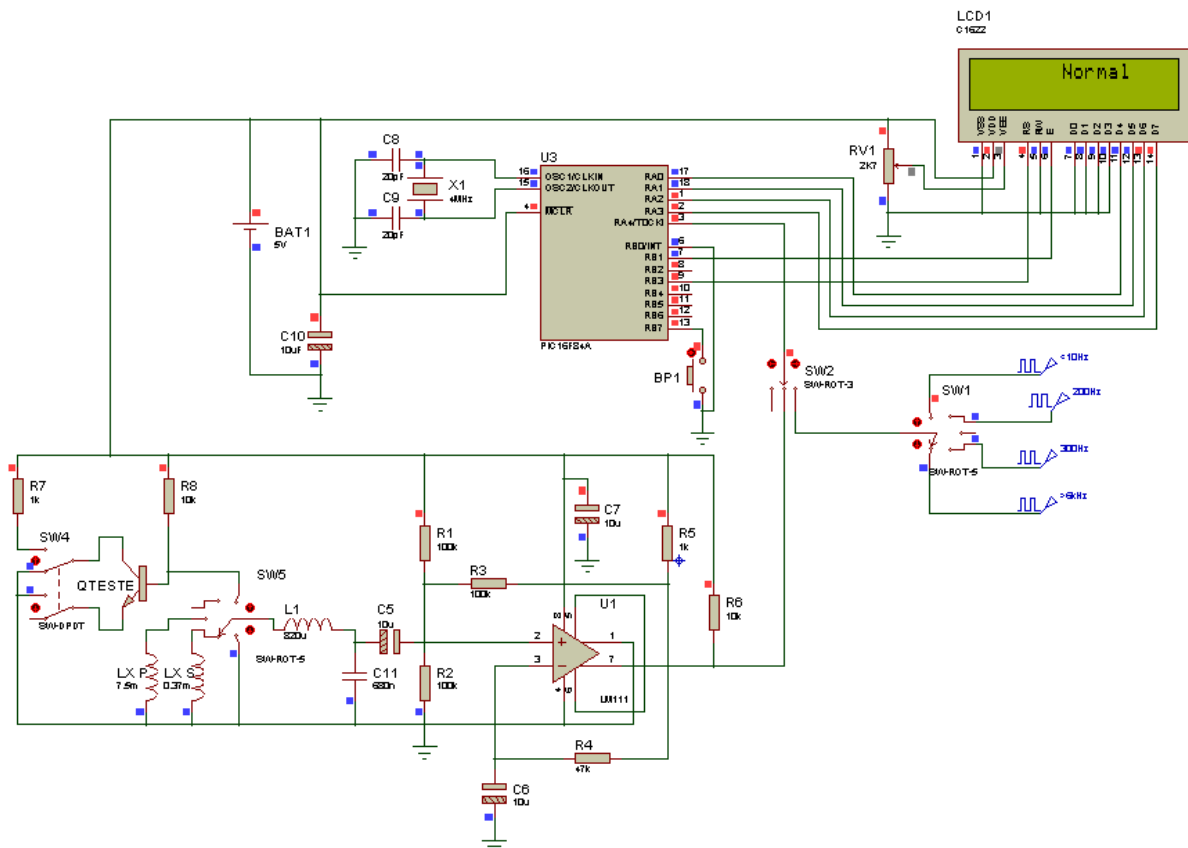
Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 55 – Simulação Trans BE



Fonte: Autoral, novembro de 2018

Figura 56 – Simulação Secundário Normal



Fonte: Autoral, novembro de 2018

Com os resultados satisfatórios, o próximo passo é gravar o microcontrolador e confirmar os resultados da simulação com bobinas de ignição. A bobina do Corsa, da MTE-Thomson, utilizada como referência teórica neste trabalho, permite validar algumas das condições estabelecidas. Outras bobinas serão testadas no decorrer da próxima etapa.

4.4 Resultados obtidos

O projeto foi dimensionado com o PIC 16F84A por estar disponível inicialmente a um preço competitivo na época, 2012. Fonte padrão, *interface* escolhida, microcontrolador, escolhida a caixa, fez-se a placa. A falta de memória, devido ao estilo de programação, no PIC 16F84A é um empecilho muito grande daí a compreensão na escolha do mercado pelo PIC 16F628. Esse problema restringe a apresentação de frases completas no *display* 16x2 podendo optar inclusive por um modelo mais barato, com apenas uma linha, neste projeto. No *software*, anexo B, pode-se observar a supressão de algumas linhas de programação, as quais foram mantidas na forma de comentário.

Recorremos ao laboratório da FATEC Santo André para as medições de ajuste. Na primeira medição do secundário de altíssima indutância, a faixa estabelecida em teoria confundia-se com circuito aberto e foi criada uma faixa exclusiva. Deixamos uma margem para pegar tolerâncias entre projetos de bobinas diferentes. Isso já era esperado e confirmado com a tela em branco como mostrado na figura 57. A falta de informação no *display* nos conduz a rever a faixa de teste e buscar outras bobinas, disponíveis na oficina da FATEC Santo André. No quadro 5, observamos a faixa final de frequências utilizadas no *software*.

Quadro 5 – Tabela final

Estado físico e elétrico	Frequência
Aberto ou infinito	Até 3 Hz
Curto circuito	Acima de 6000 Hz
Análise BE	Entre 250 e 350 Hz
Análise BC	Entre 150 e 240 Hz
Normal PRI	Entre 360 e 5990 Hz
Normal SEC	Entre 5 e 140 Hz

Fonte: Autoral, dezembro de 2018

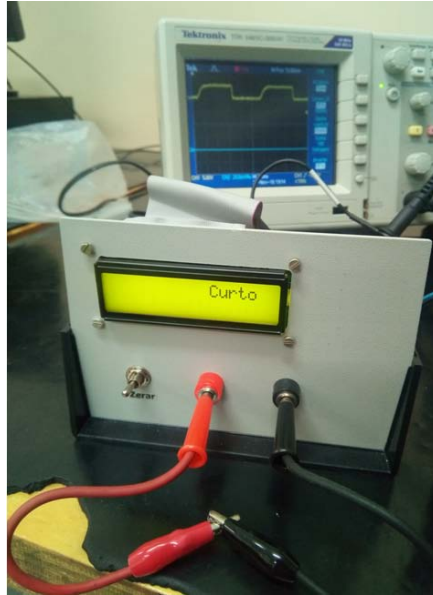
Figura 57 – Análise em funcionamento



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

Feitos os ajustes, seguimos para a confirmação do restante da programação. Primeiro, a validação do curto. As próprias pontas de prova apresentam baixa indutância e servem como referência, confirmado na figura 58.

Figura 58 – Teste curto



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

Na sequência, a validação de circuito aberto, bastando deixar as pontas sem conexão, como verificado na figura 59.

Figura 59 – Teste de circuito aberto



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

Continuamos os testes, validando agora ambos os secundários, por sinal, iguais e cuja medição segue na figura 60.

Figura 60 – Teste do secundário



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

Seguimos então para os enrolamentos primários que, segundo o fabricante, apresentam as conexões como segue na figura 61.

Figura 61 – Conexões do primário

IN IN GND +	Resistência Primário	A - B: 16,400 K Ω
---		A - C: 10,00 K Ω
		A - D: 13,400 K Ω
		B - C: 10,00 K Ω
5,5 K Ω		D - C: 13,00 K Ω
	Resistência Secundário	5,5 K Ω

Esse P3 e P4 são as posições de teste.

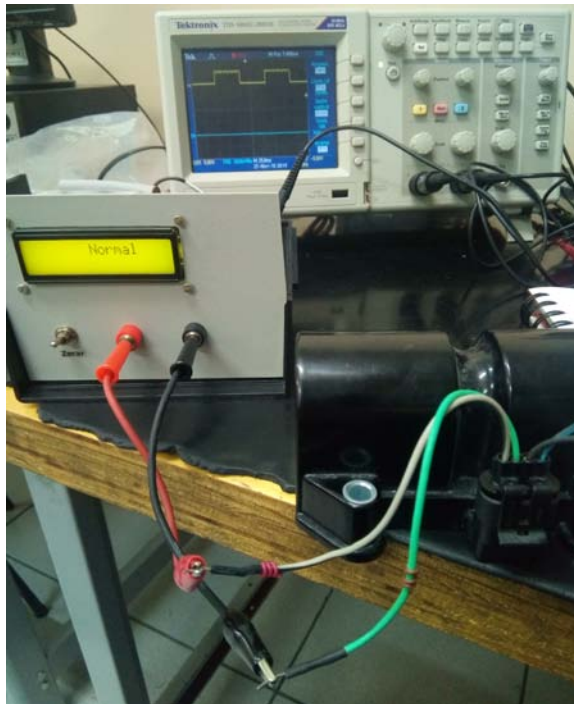


Paulo Mendes Pires
MTE-THOMSON
paulo.pires@mte-thomson.com.br
 Phone: (055 11) 4393-4343

Fonte: MTE-Thomson

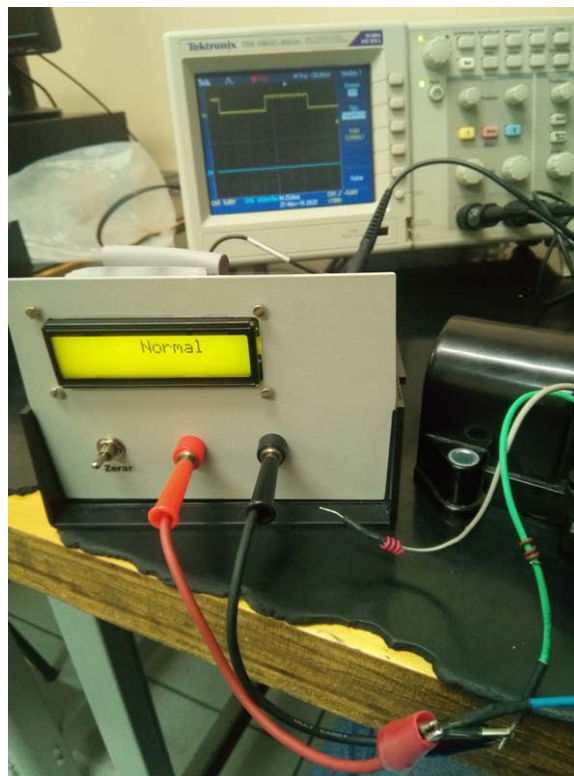
Os testes foram realizados fixando como ponto comum o pino GND (côr verde), similar a figura 35, mas sem os transistores. Dessa forma, as medições devem ser feitas entre os fios verde-cinza, verde-azul e verde-preto do soquete automotivo com cabeaço, utilizado no teste, como demonstrado nas figuras de 62 a 64.

Figura 62 – Teste primário 1



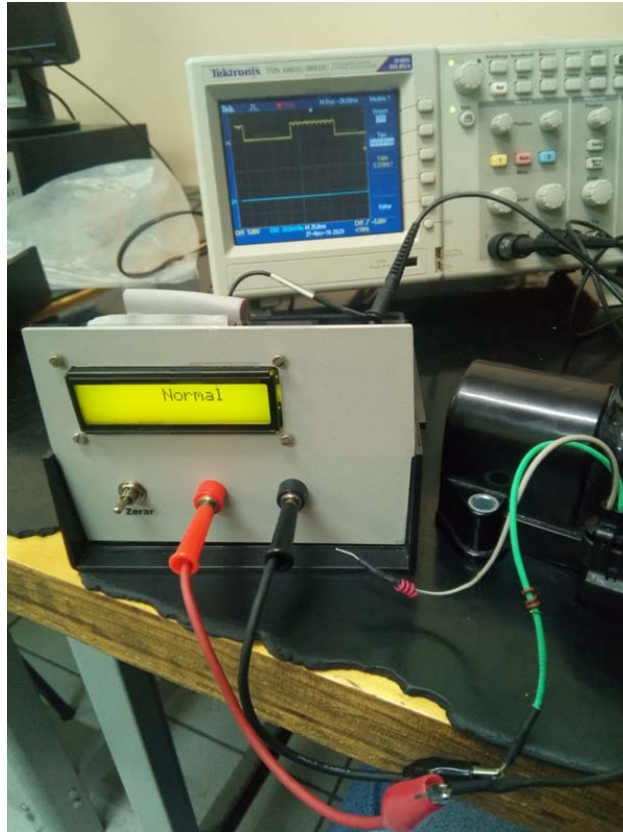
Fonte: Autorial, dezembro de 2018

Figura 63 – Teste primário 2



Fonte: Autorial, dezembro de 2018

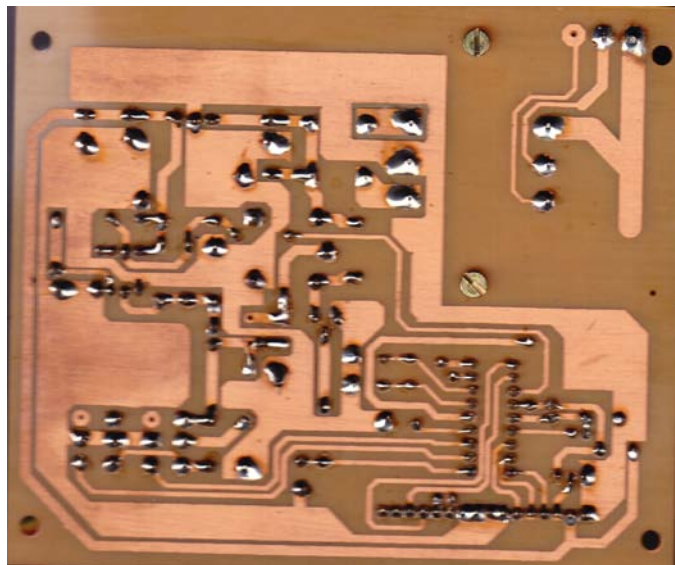
Figura 64 – Teste primário 3



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

Na sequência, podemos observar por imagens a placa lado da solda na figura 65, uma visão interna da placa montada na figura 66 e o produto final na figura 67.

Figura 65 – Placa lado solda



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

Figura 66 – Placa montada



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

O produto final, presente na figura 67, será parte da apresentação deste trabalho na data agendada, perante a banca de professores.

Figura 67 – Produto final



Fonte: Autoral, dezembro de 2018

5. CONCLUSÃO

Discute-se muito sobre processos de reciclagem de produtos que serão jogados sem critério ao meio ambiente. Para diminuir este tipo de agressão e preservar o mundo para as futuras gerações, qualquer ação que venha ao encontro desta proposta de reuso de qualquer tipo de material será sempre bem vinda.

Os resultados obtidos foram positivos e promissores. Foi acertada a escolha de uma metodologia com base em simulações de forma a garantir futuras melhorias nas características do dispositivo, conforme se observa no capítulo quatro.

O dispositivo para teste de bobinas poderá contribuir para o aprendizado dos próximos graduandos e também será de grande utilidade para os docentes que ministrarem aulas direcionadas ao entendimento do funcionamento da bobina de ignição e porque não os bicos injetores ou sensores de relutância, com as devidas adaptações. Poder-se-á adaptar o dispositivo para outros elementos do sistema automotivo que empreguem um indutor. É claro, um *upgrade* do microcontrolador seria bem vindo, como o PIC 18F4550 com *interface* USB para registro das medições em computador externo.

5.1 Propostas futuras

As propostas aqui expostas aparecem no decorrer da maturação do projeto caso não se leve em conta a premissa do custo baixo e deseje-se ampliar as características do dispositivo. Os pontos para reflexão são:

- Para bobinas boas, medir o funcionamento em regime, capacidade de carga, energia da faísca, etc;
- Montar uma mesa para fixação da bobina;
- Comunicação USB para *notebook* ou microcontrolador;
- Comunicação via Labview para controle em tempo real dos parâmetros de leitura principalmente se for utilizado para monitorar o desempenho da bobina.

REFERÊNCIAS

4SHARED. **Figuras**. Disponível em: <hdc441.4shared.com>. Acesso em: 12 mar. 2012. il.

ALIBABA. **Automobile Electrical Test Equipment for 12V 24V alternator starter**. Disponível em: <haolida.en.alibaba.com>. Acesso em: 03 mar. 2012. il.

AWD. **Auto-Wiring-Diagram**. Disponível em: <<http://www.auto-wiring-diagram.com/>>. Acesso em: 12 mar. 2012. il.

BESTBOOK. **Books in pdf**. Disponível em: <<http://bestbooks.com>>. Acesso em: 12 mar. 2012. il.

BOSCH, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25 edição. Editora Edgar Blucher, 2004. p. 623 - 627.

BOSCH. **Bosch History Blog**. Disponível em: <<https://blog.bosch.com/history/en/2017/10/17/120-years-ago-robert-bosch-delivers-the-first-magneto-ignition-device>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 10 edição. Editora Prentice Hall. cap. 12. 1996. 48 p.

BOYLESTAD, Robert L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos**. 6 edição. Editora Prentice Hall. cap.18. 1996. 21 p.

BRASILESCOLA. **Física**. Disponível em: <BrasilEscola.com/fisica>. Acesso em: 12 mar. 2012. il.

CATHEY, J. J. **Dispositivos e Circuitos Eletrônicos**. Makron Books, 1994. 499 p.

CNAM. **Conservatório de Artes e Ofícios de Paris**. Musée des arts et métiers. Disponível em: <<https://artsandculture.google.com/asset/petrol-engine/XQHExFM5Vw1icw>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

DEEC- . **Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação**. Disponível em: <<http://sistemas.sel.eesc.usp.br/disciplinas>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

DELCO. **MyHistory**. Disponível em:
<<http://www.ohiohistorycentral.org/entry.php?rec=2966>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

DENTON, Tom. **Automobile Electrical and Electronic Systems**. 3 edição. Editora BH Elsevier, 2004.

FARADAY. **Biographie**. Disponível em:
<<http://corrosiondoctors.org/Biographies/FaradayBio.htm>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

FITZGERALD, A. E. et al. **Máquinas Elétricas**. Editora Bookman.

FPO. **Free Patents Online**. Disponível em: <<http://www.freepatentsonline.com>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

FPO. **Free Patents Online**. Disponível em: <<http://www.freepatentsonline.com>>. Acesso em: 13 mar. 2012. il.

GREGORY, F. **Oersted**. Disponível em:
<<http://www.clas.ufl.edu/users/fgregory/oersted.htm>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

HALKIAS, C. C.; MILMANN, J. Eletrônica: **Dispositivos e Circuitos**. 2 ed. vol 2. ed. McGraw-Hill, 1981. p. 544 - 573.

HYPERPHYSICS. **Georgia State University**. 2016. Disponível em:
<<http://hyperphysics.gsu.edu/hbase/index.html>> Acesso em: 13 mar. 2012. il.

INMETRO. **Qualidade do Ar em Estabelecimentos de Uso Público e Coletivo**. Disponível em:
<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/qualidadedoAr.asp>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

INVENTORS ABOUT. **The History of the Automobile**. Disponível em:
<theinventors.org/library/inventors/blcar.htm>. Acesso em: 29 mar. 2018.

INVENTORS ABOUT. **The History of the Automobile**. Disponível em:
<theinventors.org/library/inventors>. Acesso em: 13 mar. 2012. il.

LUNDIN, R. **A Handbook Formula for the Inductance of a Single-Layer Circular Coil**, Proc. IEEE, vol. 73, n. 9, p. 1428 - 1429, sep. 1985.

MICROCHIP. **Compiladores**. Disponível em:
<<https://www.microchip.com/mplab/compilers>>. Acesso em: 17 out. 2018.

MERCADO LIVRE. **Bobinas de ignição**. Disponível em: <<http://mercadolivre.com>>
Acesso em: 24 dez. 2018. il.

MERCADO LIVRE. **Ponte LCR**. Disponível em: <<http://mercadolivre.com>> Acesso
em: 24 dez. 2018.

MICROCHIP. **Datasheet PIC 16F84A**. 90 f. 2013.

MICROGENIUS. **Loja virtual**. Disponível em:
<<https://loja.microgenios.com.br/produto/mikroc-pro-for-pic-compilador-c-p-microcontrolador-pic-distribuidor-oficial-no-brasil/23164>>. Acesso em: 25 dez. 2018.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **Application Note AN-74**. jan. 1973. Disponível em
<<http://www.national.com/ds/AN/AN-74.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

NHMFL. **National High Magnetic Field Laboratory**. Florida State University.
Disponível em: <<https://nationalmaglab.org/>> Acesso em: 24 dez. 2018. il.

OLD ENGINE. **Harry's Old Engine Home Page**. Disponível em: <<https://www.old-engine.com>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

OLD ENGINE. **Harry's Old Engine Home Page**. Disponível em: <<https://www.old-engine.com>>. Acesso em: 13 mar. 2012. il.

PUJATTI, F. J. P. **Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento Eletrônico para Motores a Centelha**. 2007. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. Disponível em:
<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/SBPS-7B6KA6/tese_doutorado_fabricio_jos_pacheco_pujatti.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 ago. 2018.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. S. **FISICA 3 – Eletromagnetismo** – 4 edição - 1996 – Editora LTC.

RIBBENS, W. B. **Understanding Automotive Electronics**. 5ª ed. Editora Newnes. 1998.

SPARKMUSEUM. **Vintage Radio and Scientific Apparatus**. Disponível em: <<http://www.sparkmuseum.com>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

SPARKMUSEUM. **Vintage Radio and Scientific Apparatus**. Disponível em: <<http://www.sparkmuseum.com>>. Acesso em: 13 mar. 2012. il.

SOLDAFRIA. **Multímetro e componentes**. Disponível em: <<http://soldafria.com.br>> Acesso em: 24 dez. 2018.

TESLA SOCIETY. **Artigo**. Disponível em: <<http://www.teslasociety.com/biography.htm>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

WHELLER, H. A. **Inductance Formulas for Circular and Square Coils**, Proc. IEEE, vol. 70, no. 12, p. 1449 - 1450, dec. 1982.

ZANCO, W. S. **Microcontroladores PIC 18 com linguagem C**. Editora Érica, 2010.

WIKIVISUALLY. **Bobina de Ruhmkorff**. Disponível em: <https://wikivisually.com/lang-es/wiki/Bobina_de_Ruhmkorff>. Acesso em: 12 mar. 2012. il.

WILLYS. **Clube Willys-Overland do Brasil**. Disponível em: <<https://www.willysoverland.com.br/lgnicao.php>>. Acesso em: 24 dez. 2018. il.

ANEXOS

ANEXO A – Lista de materiais do dispositivo

Qtd	Componente	Especificação	Custo
1	PIC 16F84A	Microcontrolador	12,01
1	Soquete 18 pinos	Soquete	0,36
1	LM311	Comparador de tensão	1,59
1	Soquete 8 pinos	Soquete	1,69
1	7805	Regulador de tensão 5 V	0,86
1	Transformador 110/220 V – 9+9 V	Transformador de tensão	15,00
2	Chave Liga-desliga	Chave mecânica	8,50
1	Cabo de força com plugue	Cabo 2 vias 0,75 mm ²	2,64
2	Diodos	Diodo 1N 4004	0,20
1	Capacitor Eletrolítico	470 uF/35 V	0,54
1	Capacitor Eletrolítico	220 uF/35 V	0,27
1	Capacitor cerâmico	100 nF/50 V	0,04
4	Capacitor tântalo	10 uF/25 V	2,88
1	Indutor 820 nF	Toroidal fio 18 AWG	0,29
2	Capacitor cerâmico	20 pF/50 V - NPO	0,32
1	Cristal	4 MHz	0,50
1	Display Cristal Liquido	16x2 – C1622 DTC	5,28
1	Capacitor Stiroflex	680 nF/50 V	0,32
1	Trimpot aberto	10k ohm	1,15
1	Resistor filme metálico	47k/1%	0,15
3	Resistor filme metálico	100k/1%	0,45
2	Resistor filme metálico	10k/1%	0,30
2	Cabo 6 vias color	2 x 8 cm	2,50/m
1	Flat cable	20 vias	2,85/m
2	Soquete flat cable	20 vias	0,36
3	Cabo color	8 cm – 0,5 mm ²	2,50/m
2	Cabo banana-garra não indutivo	1 x VM e 1 x PT	3,34
2	Bornes	1 x VM e 1 x PT	2,00
1	Caixa	Patola 15x13x8 cm	48,00
4	Parafuso atarrachante	Cabeça panela 3x8 mm	0,20
4	Parafuso milimétrico	Cabeça panela 3x12 mm	0,20
4	Porca	M3	0,20
4	Parafuso milimétrico	Cabeça panela 2,5x12 mm	0,20
4	Porca	M2,5	0,20
2	Parafuso milimétrico	Cabeça panela 4x15 mm	0,10
2	Porca	M4	0,10
2	Barra de terminais 180°	Minimodul fêmea – 16 vias	0,94
		Total	119,03

OBS: Custo base dezembro de 2018.

ANEXO B – Listagem do Software

```

// CONEXÃO DO LCD
sbit LCD_RS at RB3_bit;
sbit LCD_EN at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RA0_bit;
sbit LCD_D5 at RA1_bit;
sbit LCD_D6 at RA2_bit;
sbit LCD_D7 at RA3_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISB3_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISA0_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISA1_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISA2_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISA3_bit;

// -----DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS -----

unsigned int freq;           // Variável para leitura de frequência
int counter = 0x00;         // Variável para contagem
short a1 = 0x00;           // Flag para leitura de contagem
//char Bobina[] = "Bobina";
//char em[] = "em";
char Curto[] = "Curto";
char Aberto[] = "Aberto";
char Trans[] = "Trans";
char BE[] = "BE";
char BC[] = "BC";
char Normal[] = "Normal"; //inserir1
//char SECNormal [] = "SEC Normal"; //insere2
char esp[] = " ";
//-----INTERRUPÇÃO -----

void interrupt(){           // Rotina de interrupção
    if(T0IF_bit)           // Verificar se houve estouro do Timer0
    {
        counter++;        // Incremente a variável counter
        TMR0 = 0x07;      // Atribui valor inicial ao TMR0
        T0IF_bit = 0x00;  // Zera a flag T0IF
    }
}

// ----- PRINCIPAL -----
void main() {

    Lcd_Init();             // Inicializa LCD
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);   // Limpa display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off

// ----- DECLARAÇÕES GLOBAIS / CONFIGURAÇÕES DE REGISTRADORES ---
//-----
    OPTION_REG = 0x02;     // Resistores de Pull-up desabilitados e
                           // Configuração do Prescaler 1:8
    GIE_bit = 0x01;        // Habilitar a interrupção global
    T0IE_bit = 0x01;       // Habilitar a interrupção estouro TMR0
    TMR0 = 0x06;           // Inicialização da contagem em 6
    TRISB.RB7 = 0x01;      // Define RB7 como Entrada
    TRISA.RA4 = 0x01;      // Define RA4 como Entrada

//-----LOOP INFINITO -----

```

```

while(1){

// ----- ROTINA DE LEITURA DE FREQUENCIA -----
-----
if(RA4_bit == 1 && a1 == 0)
{
freq++;
a1 = 1; //flag para nivel alto
}
if(RA4_bit == 0 && a1 == 1)
{
a1 = 0; //flag para nivel baixo
}

//----- ROTINA AUXILIAR DO CONTADOR -----
-----
if(counter == 500) { // Calculo = (256 - 6)*8*0,000001*500 = 1
seg.
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Limpa display

if(freq <= 3) // Condição para "Bobina em Aberto"
{
//Lcd_Out(1,1, Bobina); estouro memoria
//Lcd_Out(1,8, em); estouro memoria
Lcd_Out(1,11, Aberto);
}

if(freq >= 5 && freq <= 140) // Condição para "Bobina Normal
SEC"
{
//Lcd_Out(1,1, Bobina); estouro memoria
//Lcd_Out(1,5, SECNormal); estouro memoria
Lcd_Out(1,8, Normal);
}

if(freq >= 150 && freq <= 240) // Condição para "Bobina Trans
BC"
{
//Lcd_Out(1,1, Bobina); estouro memoria
Lcd_Out(1,8, Trans);
Lcd_Out(1,14, BC);
}

if(freq >= 250 && freq <= 350) // Condição para "Bobina Trans
BE"
{
//Lcd_Out(1,1, Bobina); estouro memoria
Lcd_Out(1,8, Trans);
Lcd_Out(1,14, BE);
}

if(freq >= 360 && freq <= 5990) // Condição para "Bobina Nor-
mal"
{
//Lcd_Out(1,1, Bobina); estouro memoria
Lcd_Out(1,8, Normal);
}

if(freq >= 6000) // Condição para "Bobina em Curto"
{
//Lcd_Out(1,1, Bobina); estouro memoria
//Lcd_Out(1,8, em); estouro memoria
Lcd_Out(1,11, Curto);
}

freq = 0x00; // Limpa variável de leitura

```

```
        counter = 0x00;                // Limpa variável de contagem
    }
// -----Botão de reset-----
if(RB7_bit == 0)
{
    freq = 0x00;                        // Limpa variável de leitura
    counter = 0x00;                    // Limpa variável de contagem
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);              // Limpa display
}
}
```

ANEXO C - Pinagem do *Flat cable*

	FLAT PCI	PIC 16F84A	<i>Datasheet Display</i>
1	GND		0 V
2	VCC		5 V
3	POT CENT		VARIABLE
4	Pino 9	RB3	RS
5	Pino 8 - GND	RB2 - nc	R/W
6	Pino 7	RB1	E
7	GND		BIT 0
8	GND		BIT 1
9	GND		BIT 2
10	GND		BIT 3
11	Pino 17	RA0	BIT 4
12	Pino 18	RA1	BIT 5
13	Pino 1	RA2	BIT 6
14	Pino 2	RA3	BIT 7
15	VCC	nc	LED+
16	GND	nc	LED-

Fonte: Autoral, novembro de 2018