

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO
ELÉTRICAS**



**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA DIAGNÓSTICO DE
SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

**Antonio Emilio Schreurs
Victor Hugo Saraiva Barreto**

Projeto de Formatura/2008

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO
ELÉTRICAS**



Projeto de Formatura/2008

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA DIAGNÓSTICO DE
SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

ALUNOS: Antonio Emilio Schreurs
Victor Hugo Saraiva Barreto

ORIENTADORES: José Aquiles Baesso Grimoní
Walter Kaiser

COORDENADOR: Dorel Soares Ramos

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Seo Ramos, técnico de manutenção da Prefeitura do Campus da Cidade Universitária da USP, e ao Engenheiro José Gil Oliveira, chefe da Seção Técnica de Fotometria do Instituto de Eletrotécnica da USP, pelos materiais fornecidos para realização dos ensaios.

Agradecemos também aos nossos orientadores, Walter Kaiser e José Aquiles, pelas valiosas instruções ao longo do projeto.

Agradecemos aos colegas de faculdade pelas opiniões, sugestões e incentivo ao longo do desenvolvimento do projeto e também ao longo do curso.

SUMÁRIO

1	SINOPSE	6
2	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	7
2.1	INTRODUÇÃO.....	7
2.2	OBJETIVOS.....	7
2.3	TAXA DE FALHA DE EQUIPAMENTOS DE IP	8
3	CONCEITOS.....	10
3.1	CIRCUITO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	10
3.2	CAPACITOR.....	12
3.3	REATOR.....	12
3.4	IGNITOR.....	13
3.5	TIPOS DE LÂMPADAS.....	15
3.5.1	LÂMPADA DE MERCÚRIO.....	15
3.5.2	LÂMPADA DE SÓDIO.....	16
3.5.3	COMPARAÇÕES.....	18
4	EQUIPAMENTOS SIMILARES	21
4.1	P34 REATEST (PRIMATA).....	21
4.2	ANALISADOR 3 RLI (BEGLI)	22
5	METODOLOGIA	24
6	DESENVOLVIMENTO	26
6.1	TESTE DO REATOR	26
6.2	TESTE DO IGNITOR	28
6.3	TESTE DO CAPACITOR	31
6.4	PLACA DE TESTES	32
7	RESULTADOS OBTIDOS.....	33
8	CONCLUSÕES.....	34
9	REFERÊNCIAS	35

ANEXO A.....	36
ANEXO B.....	41
ANEXO C.....	46
ANEXO D.....	49

1 SINOPSE

Neste relatório apresentaremos nosso projeto de desenvolvimento de um sistema para diagnóstico de sistemas de iluminação pública, elaborado para o projeto de formatura do curso de engenharia de energia e automações elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Para isto iremos apresentar uma introdução com alguns dados sobre o sistema de iluminação pública e as dificuldades existentes na manutenção desta.

Apresentaremos também os diferentes tipos de circuitos e lâmpadas existentes e faremos uma descrição do funcionamento de cada componente do sistema de iluminação pública e como e qual a sua função no circuito de iluminação como um todo.

Em seguida mostraremos equipamentos similares ao que desenvolvemos, destacando suas finalidades e funções. Faremos uma explicação da metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto e o princípio de funcionamento de cada um dos tipos de testes elaborados.

2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

2.1 INTRODUÇÃO

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, atuando como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar, plenamente, do espaço público no período noturno.

Além de estar diretamente ligada à segurança pública no tráfego, a iluminação pública previne a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, facilita a hierarquia viária, orienta percursos e aproveita melhor as áreas de lazer.

A melhoria da qualidade dos sistemas de iluminação pública traduz-se em melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio, e o lazer noturno, ampliando a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica, contribuindo, assim, para o desenvolvimento social e econômico da população.

A iluminação pública no Brasil corresponde a aproximadamente 4,5% da demanda nacional e a 3,4% do consumo total de energia elétrica do país. O equivalente a uma demanda de 2,2 GW e a um consumo de 10,3 bilhões de kWh/ano.

Há aproximadamente 13,0 milhões de pontos de iluminação pública instalados. Segundo o último levantamento cadastral realizado pelo PROCEL/ELETROBRAS junto às distribuidoras de energia elétrica em 2004, 46,21% desses pontos se localizam na Região Sudeste, 21,39% no Nordeste, 19,15% no Sul, 9,40% no Centro-Oeste e 3,85% na Região Norte.

2.2 OBJETIVOS

Durante a manutenção dos equipamentos da rede de iluminação pública, cada um dos componentes principais (reator, ignitor e lâmpada) de uma luminária, é substituído até que o sistema volte a funcionar. Dessa forma, equipamentos em perfeitas condições, são descartados desnecessariamente.

Este projeto visa reduzir os custos de manutenção de redes de iluminação públicas, desenvolvendo e testando um equipamento de diagnóstico de defeitos em componentes de sistemas de iluminação pública, que indicará o componente defeituoso.

2.3 TAXA DE FALHA DE EQUIPAMENTOS DE IP

Dispondo da vida útil de cada equipamento nós podemos calcular a taxa de falha de cada equipamento do sistema de Iluminação Pública através da equação:

$$FA = \frac{FR}{VU} \cdot Q \quad (1)$$

Onde:

- FA = Falha anual;
- FR = Fornecimento anual em horas (= 4.320);
- VU = Vida útil esperada em horas;
- Q = Quantidade instalada, em número de peças;

Tabela 1 – Vida útil de diversos tipos de lâmpadas (dados obtidos da Bandeirante Energia).

Descrição	Vida Útil Estimada (horas)
Lâmpada VSAP 70W	24.800
Lâmpada VSAP 100W	24.800
Lâmpada VSAP 150W	27.200
Lâmpada VSAP 250W	27.200
Lâmpada VSAP 400W	27.200
Lâmpada VSAP 210/215W	19.200
Lâmpada VSAP 350/360W	19.200
Lâmpada VM 125W	19.200
Lâmpada VM 250W	19.200
Lâmpada VM 400W	21.750
Lâmpada Mista 160W	8.500
Lâmpada Mista 250W	8.500
Lâmpada Mista 500W	8.500

Tabela 2 – Vida útil de diversos tipos de reatores (dados obtidos da Bandeirante Energia).

Descrição	Vida Útil Estimada (horas)
Reator VSAP 70W	86.400
Reator VSAP 100W	86.400
Reator VSAP 150W	86.400
Reator VSAP 250W	86.400
Reator VSAP 400W	86.400
Reator VSAP 210/215W	86.400
Reator VSAP 350/360W	86.400
Reator VM 125W	86.400
Reator VM 250W	86.400
Reator VM 400W	86.400

3 CONCEITOS

A seguir será feita uma descrição dos componentes utilizados em um circuito de iluminação pública.

3.1 CIRCUITO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Uma maneira de se classificar as lâmpadas para iluminação é através do seu mecanismo para produção de luz. De acordo com a pressão, as lâmpadas à descarga elétrica podem ser classificadas em: alta pressão e baixa pressão. As lâmpadas à descarga de alta pressão utilizam vapores metálicos a pressões da ordem de 10atm e a radiação emitida pela descarga apresenta uma distribuição espectral, onde se destacam as raias predominantes dos átomos que constituem o vapor metálico.

É através de lâmpadas à descarga de alta pressão que a iluminação pública é realizada. Dentro dessa classe os dois tipos mais importantes para a iluminação pública são: lâmpada a vapor de mercúrio e lâmpada a vapor de sódio. Além das lâmpadas, o circuito básico de iluminação pública é composto por um reator, um capacitor e um ignitor (no caso das lâmpadas de sódio).

O elemento responsável pelo acendimento ou não da lâmpada é o sensor fotoelétrico. Este pode estar acoplado a cada circuito individualmente como também pode estar localizado em determinado ponto do sistema de iluminação de forma a controlar uma cadeia de luminárias, a escolha da localização do sensor depende do órgão responsável pela iluminação pública. Geralmente tal elemento coordenada uma cadeia de luminárias, não fazendo parte do circuito de somente uma luminária, portanto iremos omiti-lo nos circuitos abaixo.

O circuito da lâmpada de vapor de sódio depende do tipo de ignitor (série, paralelo ou série-paralelo), mas tipicamente o circuito utilizado nos sistemas de iluminação pública, é o circuito série-paralelo, devido ao menor custo de fabricação de reatores e ignitores para este tipo de circuito.

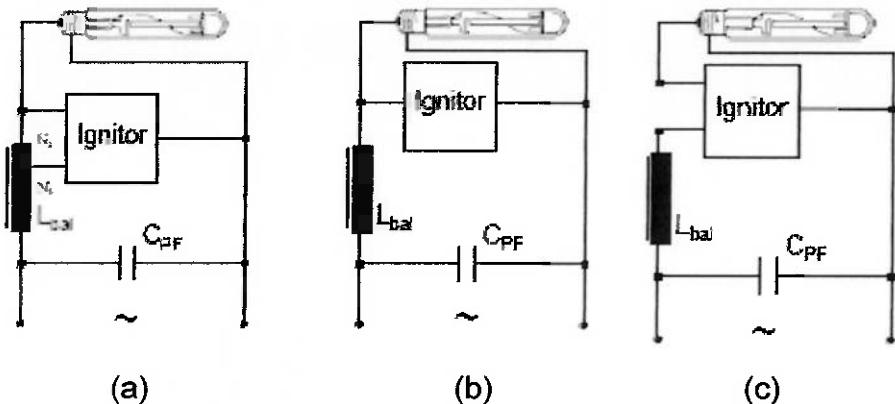


Figura 1 – Circuitos de Iluminação p/ Lâmpada a Vapor de Sódio: (a) série-paralelo; (b) paralelo; (c) série.

Os circuitos de iluminação pública com lâmpadas de vapor de mercúrio são similares aos dos circuitos para as lâmpadas de vapor de sódio, sendo a única diferença a ausência do ignitor, componente desnecessário à operação dessas.

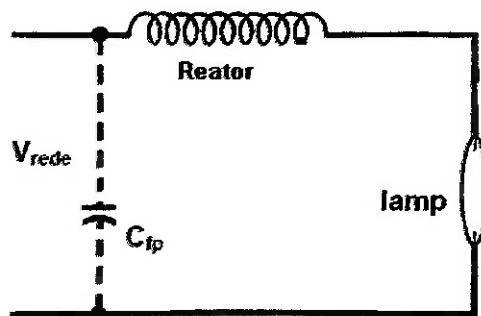


Figura 2 - Circuito típico para lâmpadas de vapor de mercúrio.

Além dos componentes destacados, como em todo equipamento/circuito elétrico, os sistemas de iluminação também contêm um fusível, geralmente localizado na base do poste para facilidade de manutenção.

As funções dos principais componentes de um circuito de IP serão brevemente explicadas nos próximos itens.

3.2 CAPACITOR

O capacitor, em um circuito de iluminação pública, tem a única função de corrigir o fator de potencia do conjunto reator, lâmpada e ignitor. Aumentando-se o fator de potência para, geralmente, 0,92 consegue-se uma redução significativa da corrente de alimentação.

Tipicamente, uma falha deste componente, acarreta também numa faiha do fusível do poste.



Figura 3 – Capacitores para sistema de iluminação pública

3.3 REATOR

O reator é um equipamento auxiliar, ligado entre a rede de alimentação e a lâmpada, com a finalidade de limitar sua corrente quando se aplica tensão. As características do reator devem ser adequadas aos requisitos da lâmpada.

Em uma descarga de corrente elétrica através de um meio gasoso, como nas lâmpadas à descarga, a corrente causa a diminuição da resistência. Isto porque como mais elétrons e íons fluem através de uma área em particular, eles se chocam com mais átomos que liberam elétrons e criam mais partículas carregadas. Se a corrente de uma lâmpada à descarga não for controlada, ela pode comprometer os vários componentes do circuito de iluminação. O reator funciona para controlar isto. O tipo mais simples de reator, geralmente conhecido como reator magnético, funciona mais ou menos como um indutor.

Aumentando a corrente do circuito, aumenta-se o campo magnético nas bobinas do reator que aplica uma voltagem oposta ao fluxo de corrente do fio. O reator opõe alteração no fluxo da corrente através dele. Os elementos

transformadores de um reator magnético usam este princípio para regular a corrente de uma lâmpada à descarga.

Um reator pode reduzir as mudanças na corrente, mas não pode pará-las. A corrente alternada que fornece energia à lâmpada está constantemente se revertendo, então o reator tem que inibir o aumento da corrente em um sentido em particular por um curto período de tempo.

Nos sistemas de iluminação pública com lâmpadas de descarga, quando ocorre curto-círcuito nos enrolamentos do reator, esse perde a capacidade de limitar a corrente, provocando a queima da lâmpada. Esse fato só pode ser constatado no campo quando se substitui a lâmpada queimada, e se verifica a queima quase imediata da lâmpada nova.

Em alguns reatores, ignitores e capacitores já são acoplados dentro da carcaça dos reatores.

A desvantagem de se usar um reator é o atraso de fase que ele produz, provocando assim um baixo fator de potência. Este fato faz com que seja necessária a introdução de um capacitor, como foi mencionado no item anterior.

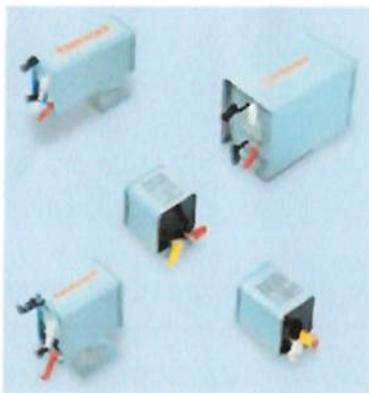


Figura 4 – Diferentes tipos de reatores para sistema de iluminação pública

3.4 IGNITOR

O ignitor é um componente que tem a função de produzir descargas de tensão inicial às lâmpadas de sódio, fornecendo pulsos de alta tensão, normalmente de 0,7 a 4,0 kV sobre os terminais da lâmpada, provocando seu acendimento. Acesa a lâmpada, o ignitor cessa a produção de pulsos automaticamente.

O ignitor pode ser colocado no circuito da lâmpada em série, paralelo ou série-paralelo. No circuito de partida em paralelo um interruptor, que geralmente é parte integrante da lâmpada, abre e fecha rapidamente gerando transitórios de tensão nos eletrodos do tubo de descarga.

Os ignitores em série-paralelo ou em série geralmente utilizam semicondutores como interruptor. O fechamento do interruptor faz com que um capacitor carregado descarregue nos enrolamentos do choke, no caso do série-paralelo, ou no primário do transformador do ignitor, no circuito em série. A vantagem do circuito em série com o transformador de pulsos é que o reator, com característica indutiva, não é submetido às altas tensões transitórias.



Figura 5 – Diferentes tipos de ignitores para sistema de iluminação pública

Na figura seguinte é possível observar os picos de tensão, na ordem de 3kV, gerados pelo ignitor no momento da partida.

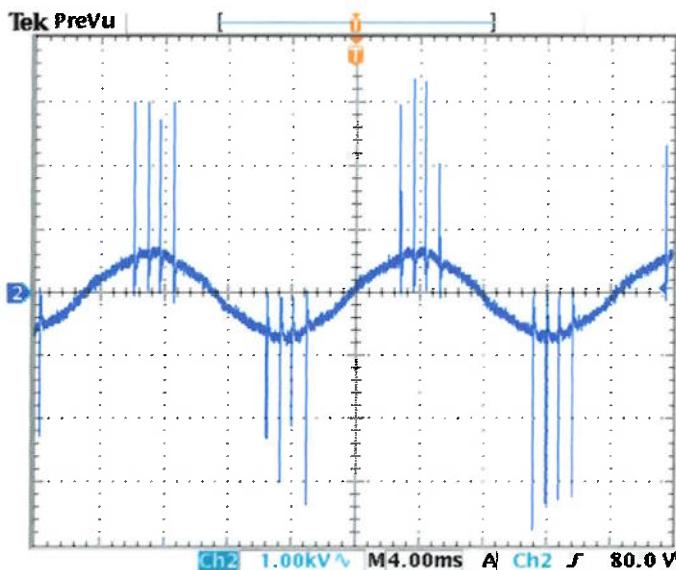


Figura 6 – Forma de onda da tensão do ignitor no momento da partida.

3.5 TIPOS DE LÂMPADAS

3.5.1 LÂMPADA DE MERCÚRIO

A lâmpada a vapor de mercúrio sob alta pressão opera com uma pressão da ordem de 10atm para lâmpadas de potência mais elevadas, ou seja, 250W, 400W, 700W, e 1000W, e pressões da ordem de 1atm para lâmpadas de menor potência, como 50W, 80W, e 125W. Ela não necessita de nenhum pico de ignição para a partida, isto se deve a presença de um eletrodo auxiliar no seu tubo de descarga, que ioniza o gás argônio nas suas vizinhanças, dando início a descarga.

A lâmpada de vapor de mercúrio é constituída de um bulbo protetor contendo gás nitrogênio sob baixa pressão, um tubo de descarga com três eletrodos, sendo dois eletrodos principais, e um auxiliar, também conhecido como eletrodo de partida. Ligado ao eletrodo de partida existe um pequeno resistor, cuja finalidade é limitar a corrente elétrica no eletrodo auxiliar, de maneira que o mesmo só funcione durante a partida da lâmpada.

A maior dificuldade para a construção das primeiras lâmpadas a vapor de mercúrio sob alta pressão foi a confecção do tubo de descarga, mais especificamente, a selagem do mesmo, isto porque, a temperatura do mercúrio sob a forma de plasma de alta pressão, é extremamente elevada, sendo necessária a utilização de quartzo para a produção de seu tubo de descarga, e como o quartzo tem um coeficiente de dilatação térmica muito baixo quando comparado ao coeficiente de dilatação térmica dos metais, os eletrodos de tungstênio encerrados dentro do tubo de descarga, terão uma dilatação maior que a dilatação do quartzo, podendo fazer com que o tubo de descarga rache nos pontos de selagem, ou seja, nas suas extremidades.

A solução desse problema foi obtida com a utilização de finíssimas placas condutoras, que são ligadas aos eletrodos, e aos terminais do tubo de descarga. essas placas, são constituídas de nióbio, e quando o tubo se aquece, as mesmas terão ainda uma dilatação um pouco maior que a do tubo, porém, por serem extremamente delgadas, elas não vão forçar o tubo, eliminando a possibilidade de rachaduras.

Existem lâmpadas a vapor de mercúrio construídas com os mais variados tipos de bulbo, e podem ter bulbos revestidos com camada fosforescente para converter a radiação ultravioleta em luz visível, melhorando o seu espectro, ou

bulbos claros, onde o espectro emitido deve-se apenas a descarga no mercúrio. A lâmpada a vapor de mercúrio possui um espectro um pouco mais rico que o da lâmpada fluorescente. Este tipo de lâmpada era considerado na década de 80, um dos mais importantes em aplicações como a iluminação pública, porém, com o advento da lâmpada a vapor de sódio sob alta pressão, sua utilização vem se tornando cada vez menos comum, dada a sua baixa eficiência energética, eficiência essa de aproximadamente 50 lumens/watt.



Figura 7 – Sistema de IP utilizando lâmpada a vapor de mercúrio

3.5.2 LÂMPADA DE SÓDIO

A lâmpada a vapor de sódio sob alta pressão é uma lâmpada que funciona segundo o mesmo princípio da lâmpada de vapor de mercúrio sob alta pressão, diferindo pelo fato de que a lâmpada de sódio utiliza uma mistura de sódio com mercúrio, além de gases nobres que iniciam a ignição da lâmpada.

O maior obstáculo para a elaboração da lâmpada de sódio, foi a confecção de um tubo de descarga que suportasse a agressividade do sódio sob altas temperaturas e pressões, obstáculo este transposto com o desenvolvimento de um tipo especial de cerâmica translúcida, denominada alumina.

A lâmpada a vapor de sódio sob alta pressão difere da lâmpada a vapor de sódio sob baixa pressão pelo fato de seu espectro ser muito mais rico, sendo até mais rico que o espectro da lâmpada a vapor de mercúrio sob alta pressão. Isto

ocorre devido o fato de que sob altas temperaturas e pressões, as linhas monocromáticas do espectro do sódio começam a se superpor, produzindo através de interferências construtivas e destrutivas outras linhas espectrais, que normalmente seriam imperceptíveis. O rendimento típico de uma lâmpada a vapor de sódio sob alta pressão é um pouco menor que o da lâmpada a vapor de sódio sob baixa pressão, sendo, no entanto o segundo maior rendimento dentre as fontes de luz artificial.

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão tem sua luz produzida através de uma descarga elétrica no vapor de sódio. O campo elétrico existente entre os eletrodos fornece energia aos elétrons que excitam os átomos de sódio os quais emitem predominantemente a luz amarela e algumas outras cores características do sódio.

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão possuem um tubo de descarga interior de óxido de alumínio sintetizado que é resistente ao ataque químico do vapor de sódio em altas temperaturas e tem um alto ponto de fusão. O tubo de descarga é preenchido com uma amalgama de sódio-mercúrio que é parcialmente vaporizado quando a lâmpada atinge a temperatura de operação e com xenônio à baixa pressão que é utilizado como gás de ignição e para limitar a condução do calor do arco de descarga da parede do bulbo.

O invólucro externo de vidro duro (boro-silicato) à vácuo serve para prevenir ataques químicos das partes metálicas do tubo de descarga. Ele também ajuda a manter a temperatura do tubo de descarga isolando o metal dos efeitos da temperatura ambiente. As lâmpadas de vapor de sódio não possuem eletrodo de partida e necessitam de tensões elevadas de até 5kV para partir. Por isso necessitam de um ignitor que gera esses pulsos de alta tensão e alta frequência.

Algumas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão especiais usam uma mistura específica de gás de partida (uma combinação de argônio e neônio que requer uma tensão de partida mais baixa que qualquer gás sozinho) e um auxiliar de partida dentro do bulbo externo. Estas lâmpadas podem partir e operar em muitos reatores para lâmpadas de mercúrio utilizando menos energia e produzindo mais luz.

Também existem lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão com dois tubos de descarga idênticos contidos dentro do tubo externo. Os tubos de descarga são conectados em paralelo dentro da lâmpada, mas só um dos tubos tem partida com o pulso ignitor.

As lâmpadas de vapor de sódio sob alta pressão estão disponíveis, assim como as lâmpadas de vapor de mercúrio numa enorme gama de formatos, indo da forma elipsoidal a forma refletora parabólica, sendo extremamente úteis a diversas aplicações, dentre elas, a iluminação pública.

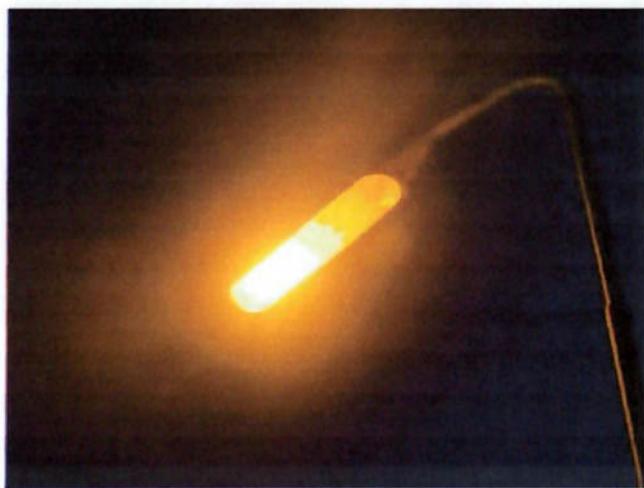


Figura 8 – Sistema de IP utilizando lâmpada a vapor de sódio

3.5.3 COMPARAÇÕES

Após apresentar o circuito típico de um sistema de iluminação pública e os diferentes tipos de lâmpadas, vamos fazer um contraponto entre o uso da lâmpada de sódio com a de vapor de mercúrio. Fabricantes como a PHILIPS e algumas concessionárias onde já se utiliza a lâmpada de sódio manifestam que ambas as lâmpadas possuem a mesma vida média. Outros fabricantes mencionam uma vida útil de 16000 horas para VSO-70 (lâmpada vapor de sódio ovóide de 70 W) e 14000 para VMC-125 (vapor de mercúrio de 125 W).

A depreciação do fluxo luminoso da lâmpada de sódio é menor, tanto que ao final de 14000 horas seu fluxo luminoso é cerca de 60% maior que a lâmpada de mercúrio. Fato consumado é que a eficiência média da lâmpada de sódio é bem maior que a de mercúrio, cerca de 86 lm/W para VSO-70 e 48 lm/W para VMC-125, tendo ambas o mesmo fluxo luminoso nominal de 6000lm. A lâmpada de Sódio 70 W consome menos energia que a lâmpada de Mercúrio 125 W (por ter menor potência), mas o nível de iluminância é igual.

Quanto a desvantagens temos a considerar a cor amarela e espectros luminosos que dificultam a definição de cores. Conseqüentemente pode haver uma impressão inicial negativa por parte da população. Porém essa mesma cor é na qual

o olho humano tem melhor acuidade visual, favorecendo à segurança. Além disso, para instalação externa a dificuldade de identificação de cores não é um problema crítico. Outra desvantagem seria o fato de exigir ignitor para a partida da lâmpada de sódio, pois torna o conjunto mais vulnerável a problemas, pois é um ponto a mais para defeitos. Por outro lado a lâmpada de Sódio emite bem menos radiação ultravioleta que a de mercúrio, com isso tem-se um benefício social à medida que se diminui a atração de insetos.

Apresentaremos a seguir um resumo comparativo entre ambas realizado pela COPEL. Deve-se atentar que o grande dilema realmente recai no fato de que o custo inicial e de manutenção do conjunto sódio (lâmpada + equipamentos auxiliares) é bem maior que o conjunto de mercúrio o que poderia comprometer sua utilização mesmo consumindo menos energia (cerca de 40% a menos).

$$VSO70 \text{ (70 + 14 (perdas no reator))} = 84W$$

$$VMC125 \text{ (125 + 14 (perdas no reator))} = 139W$$

Tabela 3 – Dados comparativos entre as lâmpadas a vapor de sódio e mercúrio.

Quesitos	VSO-70	VMC-125
1 - Custo inicial/substituição	Alto	Baixo
2 - Vida útil média	16000 h	16000 h
3 - Depreciação de fluxo luminoso	Menor	Maior
4 - Fluxo luminoso inicial	6000 lm	6000 lm
5 – Ignitor	Ponto a mais p/ defeito	Não utiliza ignitor
6 - Rádio-interferência	Ignitor causa rádio-interferência	Não utiliza ignitor
7 - Perdas no reator	14 W	14 W
8 - Vida Útil Média do Reator	6,5 anos	8,4 anos

Chegou-se à conclusão que com o atual valor da tarifa de energia elétrica, realmente é indicada a utilização do conjunto de Sódio (70W) apesar do custo mais alto de instalação (materiais) e substituição. O conjunto de Sódio (70W) fica cerca de 9% mais barato que o conjunto de Mercúrio (125W) e o fator mais significativo no custo é o valor de energia elétrica.



Figura 9 – Comparaçao entre o sistema de IP de lâmpada de sódio e de lâmpada de mercúrio

4 EQUIPAMENTOS SIMILARES

4.1 P34 REATEST (PRIMATA)

O P34 REATEST é um equipamento portátil destinado à execução de teste rápido em sistemas de iluminação pública com lâmpadas de vapor de mercúrio de vapor de sódio. Este equipamento agrega a capacidade de testar o funcionamento do reator (boas condições, em curto-círcito ou em aberto), do ignitor (presença dos pulsos de alta-tensão), e identificar a polaridade dos pulsos de alta tensão.

O REATEST possibilita a execução de testes em ambos os tipos de iluminação pública (sódio ou mercúrio), permitindo diagnosticar rapidamente a situação do sistema, evitando possível queima de lâmpada nova, identificando a necessidade ou não de correção de polaridade, ou indicando a necessidade de troca de todo o conjunto.

Entramos em contato com a Primata Eletrônica e obtivemos o preço de uma unidade do REATEST, valor de R\$1138,00 (valor válido para a compra de uma unidade no mês de julho de 2008).



Figura 10 - P34 REATEST da empresa Primata

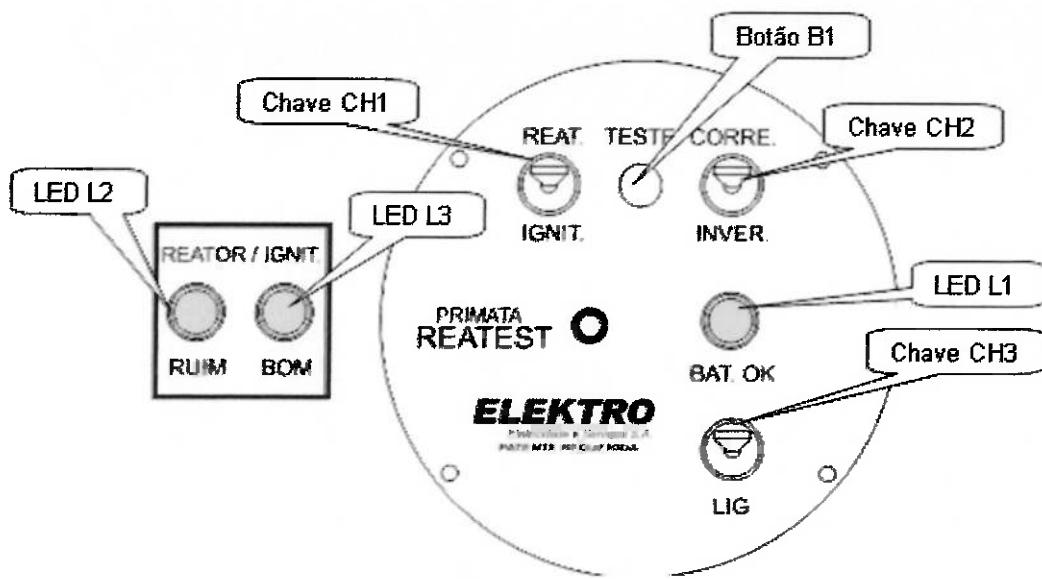


Figura 11 – Ilustração do painel do P34 REATEST

4.2 ANALISADOR 3 RLI (BEGLI)

Assim como o equipamento da Primata, este também permite identificar o problema do sistema de iluminação pública, testando seus componentes.

No entanto, este equipamento possui outras funções adicionais interessantes:

- Indica a existência de tensão de pico do ignitor nas ferragens ou carcaça do reator;
- Indica a existência de tensão da rede nas ferragens ou na carcaça do reator, através de um galvanômetro e/ou por sinal sonoro;
- Indica a existência de tensão na rede, até 250 volts e por sinal sonoro;
- Reatores para lâmpadas a vapor de sódio de 70, 100, 150, 250, 400W e 1000W em 220V e 2000W em 380V;
- Reatores para lâmpadas a vapor de mercúrio de 80, 125, 250 e 400W;
- Ignidores para lâmpadas a vapor de sódio e vapor metálico até 1000W;



Figura 12 - Analisador 3 RLI da empresa Begli.

Infelizmente, ao entrarmos em contato com a empresa, esta nos respondeu dizendo que este equipamento não se encontra mais na linha de produção da empresa, não sendo possível obter o preço do mesmo. No entanto, será feita uma tentativa de obtenção do equipamento com a empresa, para fins de comparação com o futuro equipamento a ser desenvolvido por este projeto.

5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto, é fundamental o entendimento do funcionamento do sistema de iluminação pública. Para isso, foi feito um estudo dos elementos que compõe o circuito de iluminação pública, através de pesquisas bibliográficas e excursões em campo (visitas à Prefeitura do Campus da Capital do Estado de São Paulo e ao Instituto de Energia e Eletrotécnica – IEE).

Com as visitas foi possível ter um maior contato com os componentes do circuito de iluminação pública (luminárias, postes, lâmpadas, etc...), e obter dados referentes à manutenção da rede de iluminação da Cidade Universitária, junto aos técnicos encarregados da manutenção (falhas típicas, procedimento de trocas de equipamentos, etc...).

Junto ao IEE e a Prefeitura do Campus, foi possível obter equipamentos para a realização de ensaios em bancada, que nos possibilitou a observação das formas de onda típicas de tensão e corrente dos componentes em pleno funcionamento e de componentes defeituoso, nos permitindo assim diagnosticar as diferenças existentes entre essas duas situações.

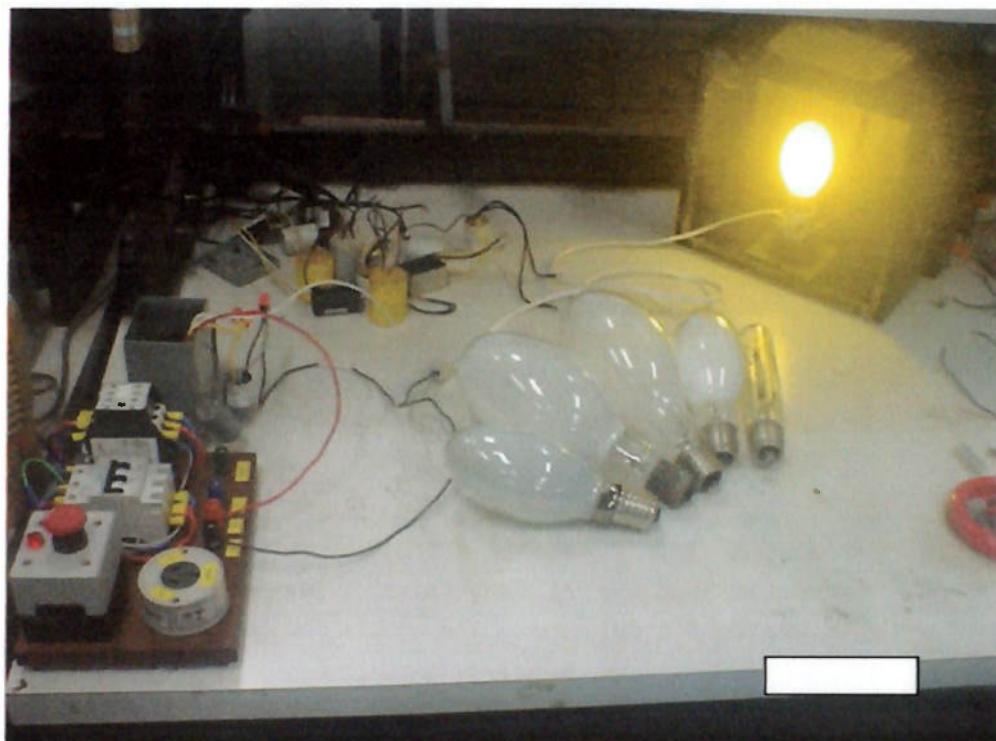


Figura 13 – Bancada de testes/ensaios.

Conhecendo o comportamento dos componentes do circuito de iluminação pública partimos para o desenvolvimento do projeto do equipamento que diagnosticaria a existência ou não de um componente defeituoso no circuito de iluminação pública. De maneira a confirmar cálculos manuais de valores de componentes do equipamento a ser desenvolvido, utilizamos o programa PSIM®. Assim foi possível escolher os parâmetros dos componentes mais facilmente, de acordo com os níveis de tensão e corrente do projeto a ser desenvolvido.

Nosso projeto foi elaborado e testado para a realização de diagnósticos em circuitos a lâmpada de sódio de 70W. No entanto, possíveis alterações no circuito original desenvolvido serão adequadamente sugeridas, para que o circuito de testes possa ser realizado em outros tipos de lâmpadas (outras potências).

De posse dos valores dos componentes do circuito do projeto, implantamos o mesmo em um *protoboard*. No próximo tópico, explicaremos com mais detalhes como foi desenvolvido e o princípio de funcionamento do sistema de diagnóstico desenvolvido.

6 DESENVOLVIMENTO

6.1 TESTE DO REATOR

O defeito típico de um reator de iluminação pública é o curto-círcuito dos seus terminais. Segundo dados obtidos pelo técnicos de manutenção e especialistas da área, o reator “queima” em curto-círcuito pleno, ou seja, não existe situação em que o reator esteja, por exemplo, 50% “queimado” (ou 50% de suas bobinas em curto-círcuito - sua indutância reduzida pela metade). Portanto para a verificação do funcionamento de um reator, basta verificar sua presença ou não no circuito de iluminação.

Em regime, após a lâmpada ter acendido, o ignitor, estando em perfeitas condições, deixa de atuar. Para simularmos esta situação podemos inserir um resistor no lugar da lâmpada no circuito de iluminação, desta maneira não teremos os picos de tensão gerados pelo ignitor sobre o resistor inserido no circuito que fará o papel da lâmpada acesa.

Porém, não é possível inserir somente um resistor para substituir a lâmpada, pois a potência dissipada por este seria muito grande, visto que as potências das lâmpadas de iluminação pública são muito elevadas, o que acarretaria na utilização de resistores de grandes dimensões, não sendo viáveis para um equipamento portátil, que é o intuito deste projeto.

Sendo assim, para reduzirmos a potência dissipada no resistor, reduzimos a corrente total no circuito desenvolvido ao inserir um capacitor em série com o mesmo (R_1 em série com C_1 – vide figura 14). Este capacitor possui, em módulo, uma impedância próxima ao do reator (para lâmpadas de sódio de 70 W o valor do reator é em torno de 400 mH) de modo a termos uma variação de tensão significativa sobre os terminais do resistor R_1 , sendo possível diferenciar a situação em que o reator se encontra, isto é, se está em pleno funcionamento ou apresenta defeito (curto-círcuito). É importante notar que o capacitor C_1 inserido deve suportar tensões da ordem da tensão de rede imposta nos terminais da lâmpada.

A tensão sobre o resistor R_1 é isolada através de um amplificador operacional (utilizamos o circuito integrado LM741 – vide anexo A) na configuração seguidor de tensão. Depois de ser isolada, a tensão é retificada por meio de um retificador monofásico de dois caminhos, composto por uma ponte de diodos, um capacitor C_2 e um resistor R_2 .

A tensão retificada é comparada através de um circuito comparador (utilizamos para isto um circuito integrado do tipo LM339 – comparador, vide anexo B) com os níveis adequados de tensão, de forma a termos na saída do comparador 5 V no caso do perfeito funcionamento do reator e 0 V no caso de falha deste.

Para o nosso circuito desenvolvido, a tensão que temos na entrada do comparador (terminal positivo do amplificador operacional) com o reator em pleno funcionamento é 7,3V, já a tensão de falha deste componente é de 5,3 V. Utilizamos então uma tensão de 5,6V como referência no comparador (terminal negativo do amplificador operacional), garantindo assim uma margem de segurança adequada para a detecção da falha.

A falha ou não do reator é identificada através de um LED vermelho e um LED verde, respectivamente.

No circuito desenvolvido neste projeto os circuitos integrados foram alimentados através de um regulador de tensão (LM7805 – vide anexo C) que por sua vez é alimentado através de uma bateria de 9 V. Foram utilizadas também portas lógicas inversoras (LM7404 – vide anexo D).

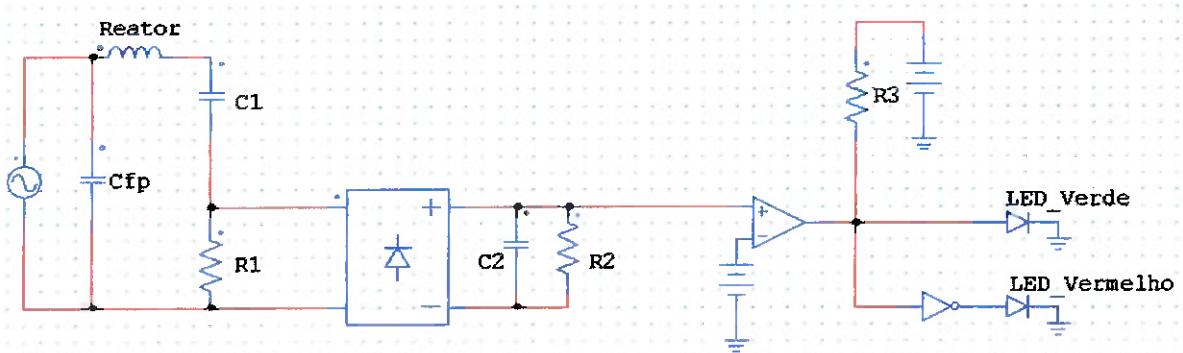


Figura 14 – Circuito de teste do reator.

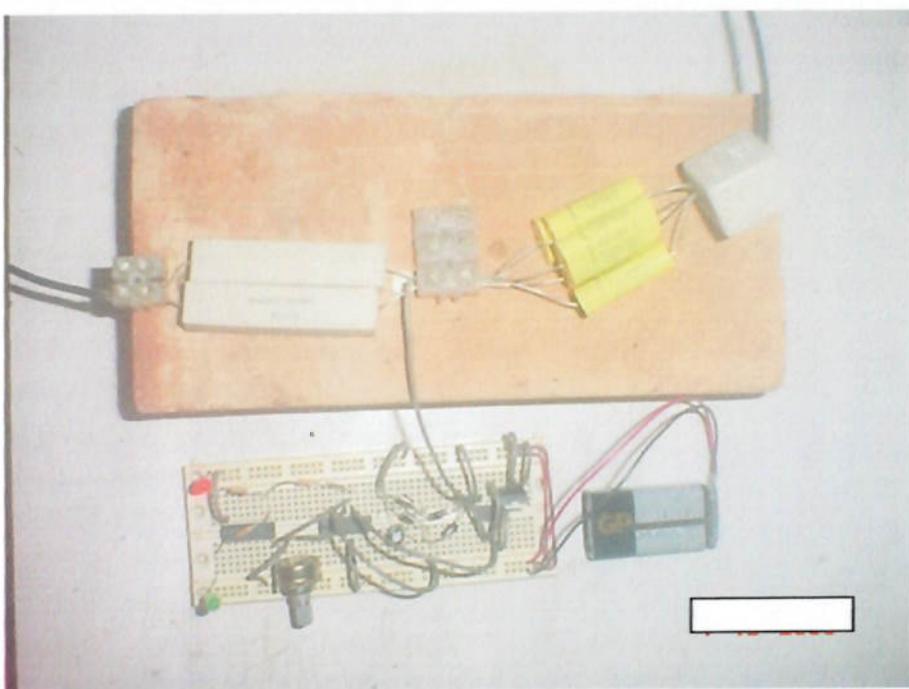


Figura 15 – Circuito montado de teste do reator. Acima à esquerda é possível notar o resistor R1 (cor branca, formato retangular) e o capacitor C1 (arranjo de capacitores em paralelo, em cor amarelo claro). Logo abaixo o circuito montado num *protoboard*, alimentado por uma bateria de 9V.

6.2 TESTE DO IGNITOR

No instante da partida da lâmpada, o ignitor opera emitindo pulsos de tensão da ordem de kV e neste caso o ele “enxerga” uma capacitância da ordem de dezenas de pF (lâmpada não acesa).

Nas especificações dos ignitores utilizados no sistema de iluminação pública são estabelecidos valores máximos de capacitância para os quais o ignitor ainda é capaz de produzir pulsos de tensão. Um valor usual encontrado na maioria dos ignitores é em torno de 200 pF. No desenvolvimento do nosso projeto adotamos um capacitor C1 de 150 pF, sendo portanto, compatível com os valores necessários para o ignitor funcionar corretamente.

A forma de sabermos se o ignitor está em bom funcionamento ou não é descobrindo se ele está emitindo pulsos de tensão nos níveis adequados ou não no instante da partida. Para isto, tratamos o sinal gerado pelo ignitor de maneira adequada utilizando um divisor capacitivo da ordem de 1:100, de modo a termos a tensão sobre o capacitor C2 cem vezes menor que em C1, ou seja, em C2 teremos uma tensão de aproximadamente cem vezes menor do que a que teríamos nos

terminais da lâmpada no instante da partida, estando assim em níveis adequados para serem tratados em circuitos eletrônicos.

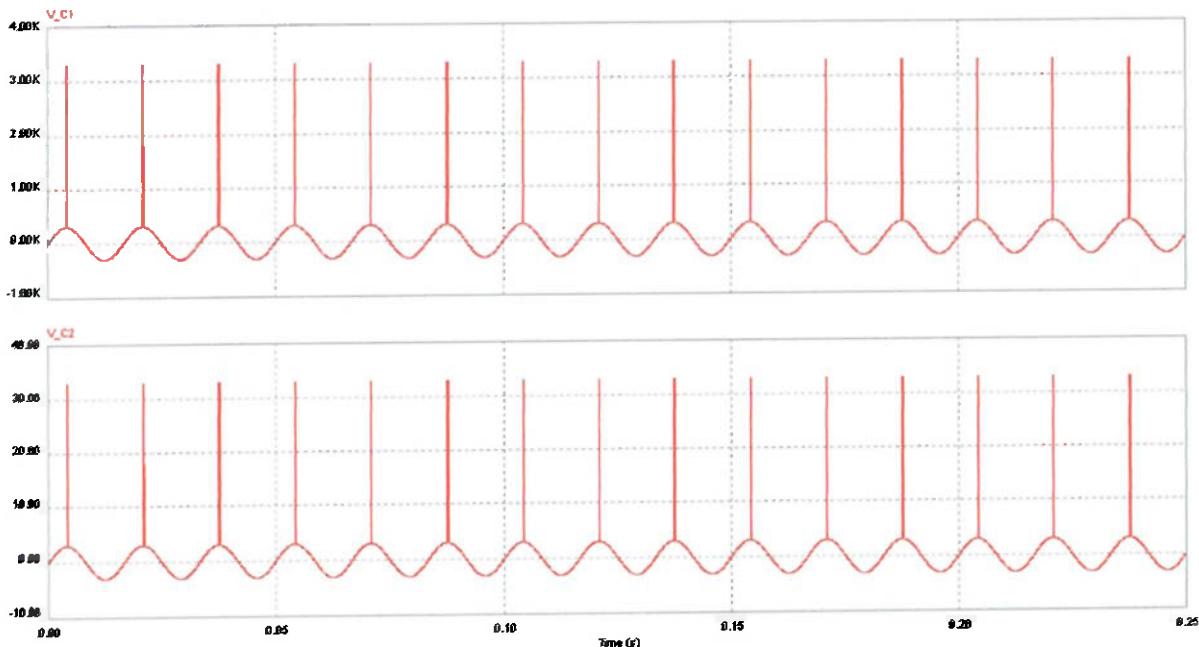


Figura 16 – Tensões sobre o divisor capacitivo composto por C1 e C2.

A tensão sobre C2 é inserida sobre um circuito detector de pico, composto por um resistor R1, um amplificador operacional (LM741), um diodo D1 e um capacitor C3. Este circuito mantém a tensão de pico constante em um valor CC.

A tensão de pico CC é comparada através de um circuito comparador da mesma maneira que o circuito para teste do reator.

No circuito desenvolvido para o teste de um circuito de iluminação pública de uma lâmpada de 70 W, a tensão que temos na entrada do comparador (terminal positivo do amplificador operacional) com o ignitor em pleno funcionamento é 7,6 V, isso equivale a picos de tensão de 1,5kV (acima destes valores o ignitor é considerado em funcionamento) já a tensão de falha deste componente é de 4,8 V. Utilizamos então uma tensão de 5,3 V como referência no comparador (terminal negativo do amplificador operacional), garantindo assim uma margem de segurança adequada para a detecção da falha.

A falha ou não do ignitor é identificada através de um LED vermelho e um LED verde, respectivamente.

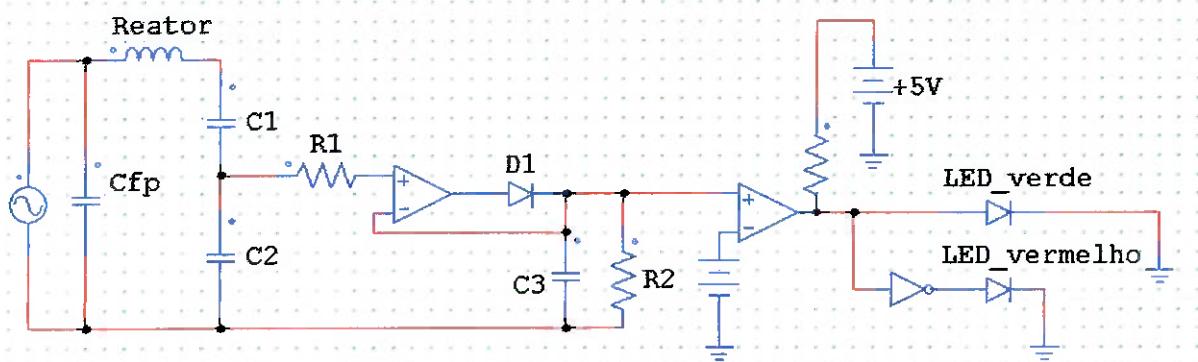


Figura 17 – Circuito de teste do ignitor.

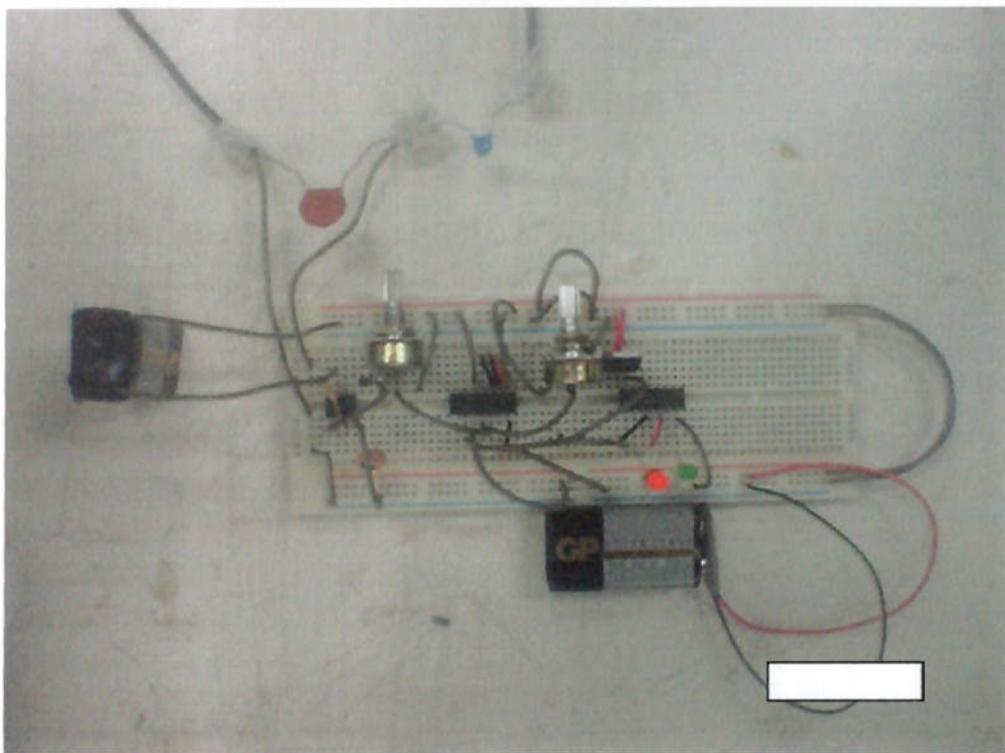


Figura 18 - Circuito montado de teste do ignitor. Acima à esquerda é possível notar o capacitor C2 (cor vermelho escuro, formato circular) e o capacitor C1 (cor azul, formato circular, um pouco menor do que C2). Logo abaixo o circuito montado num *protoboard*, alimentado por baterias de 9V.

6.3 TESTE DO CAPACITOR

Como mencionado anteriormente, a função do capacitor no sistema é apenas para corrigir o fator de potência, não influenciando no funcionamento da lâmpada, ou seja, independente do seu funcionamento a lâmpada irá operar normalmente.

Apesar de não ser o escopo deste projeto detectar uma falha neste componente, uma simples solução para detectá-la seria através da medição de corrente de entrada do circuito. Com a lâmpada removida e o capacitor em pleno funcionamento temos uma corrente circulando no circuito formado pela V_{rede} e pelo capacitor C_{fp} . Tipicamente, o capacitor queima em aberto, isto é, uma falha deste componente o exclui do sistema, sendo assim não haverá corrente de entrada (com a lâmpada removida).

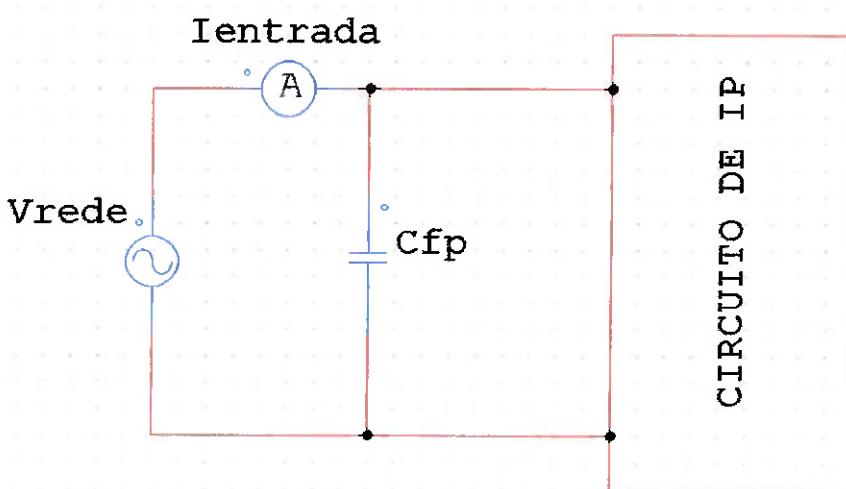


Figura 19 – Circuito de teste do capacitor de correção do fator de potência

Outra possível solução para detectar esta falha consiste em cortar a alimentação da rede que chega a luminária, remover a lâmpada dos seus terminais e em seguida alimentá-la com a tensão da rede.

Caso tenhamos corrente através do reator isto significa que o capacitor ainda funciona, caso contrário, não sendo possível detectar a corrente inserida, significa que o capacitor apresenta uma falha, isto é, está em aberto e portanto não há possibilidade da corrente circular no circuito de iluminação.

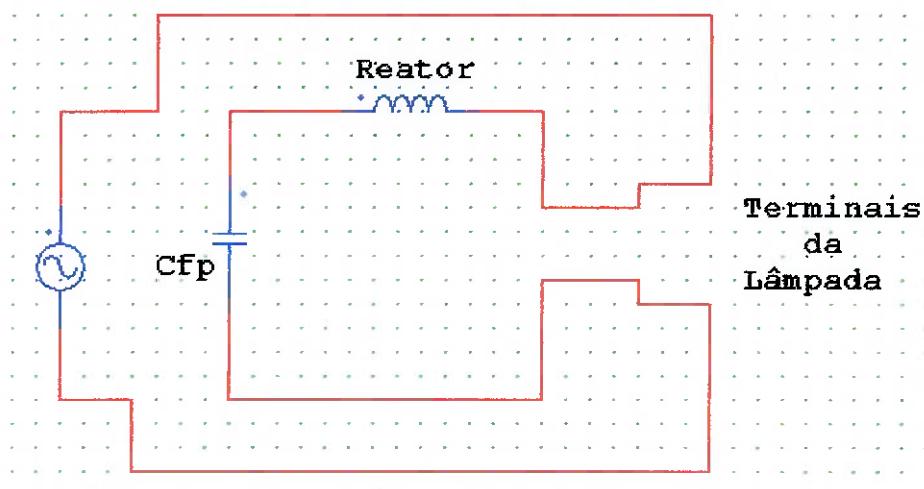


Figura 20 – Circuito de teste do capacitor de correção do fator de potência

6.4 PLACA DE TESTES

Elaborados e montados os circuitos de teste do reator e ignitor (figuras 15 e 18), esses foram acoplados a uma placa que simula o circuito de iluminação pública (figura 21). Esta placa foi construída com o intuito de deixar mais clara e didática a apresentação e o funcionamento do nosso projeto completo, sendo facilmente trocados/removidos componentes do circuito, para que testes sejam realizados com extrema clareza.

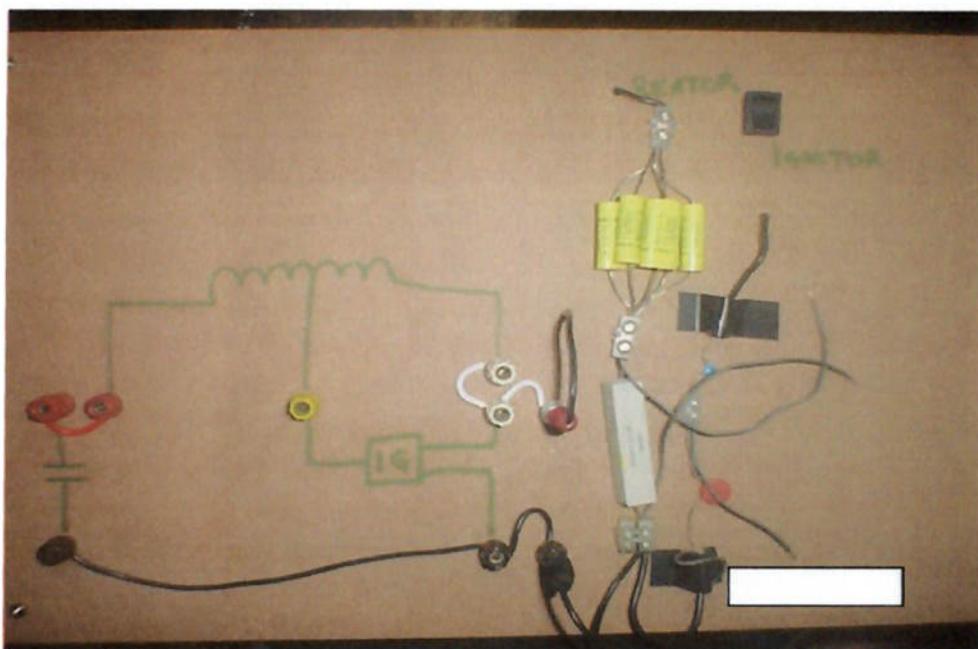


Figura 21 – Placa de testes de circuitos de iluminação pública.

7 RESULTADOS OBTIDOS

Através do projeto desenvolvido tivemos a oportunidade de aplicar os conhecimentos acumulados ao longo da graduação na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e também fazer novas descobertas na área de iluminação pública.

Para começar tivemos que compreender o funcionamento do sistema de iluminação pública, bem como as principais dificuldades na manutenção destes sistemas. Esta foi uma tarefa que exigiu muito estudo e pesquisas exaustivas, uma vez que o assunto referente à sistema de iluminação pública não aparece com grande freqüência na literatura da engenharia elétrica, ou pelo menos, aparece com uma freqüência menor do que a sua importância.

Com a compreensão do sistema em questão tivemos que conduzir o desenvolvimento de um circuito elétrico que realizasse a distinção de falha e pleno funcionamento do circuito de IP, para tanto aplicamos o conhecimento adquirido ao longo dos anos projetando os componentes e os níveis de tensão e corrente que cada um seria submetido.

Após o processo de projeto dos componentes, utilizamos uma ferramenta muita importante no curso, o programa PSIM®. Este simulador nos permitiu confirmar os valores de componentes previamente calculados e os níveis de tensão e corrente desejados nas entradas e saídas de cada componente.

Após o estudo dos sistemas de iluminação pública, do projeto do sistema de diagnóstico e da confirmação de seus valores em um simulador, nos coube por fim implantar e testar o sistema por nós desenvolvido, concluindo assim, com êxito, o projeto.

Podemos afirmar que o projeto de formatura estimulou nossa capacidade em resolver problemas concretos e abriu espaço para uma primeira experiência profissional e especialização no tema escolhido. Destacamos ainda a oportunidade de sairmos de um plano puramente acadêmico para atividades profissionais, ainda que na própria escola.

8 CONCLUSÕES

Com a adoção deste sistema de diagnóstico as empresas responsáveis pela manutenção da rede de iluminação pública terão um processo de manutenção mais prático e eficiente, evitando a troca desnecessária de componentes em perfeito funcionamento.

Pode-se evitar a queima de lâmpadas novas ao inseri-las em um circuito de iluminação que apresente um reator defeituoso e também é possível evitar o descarte do conjunto reator+ignitor+capacitor (que hoje em dia costumam vir integrados em um só equipamento), substituindo apenas o ignitor, no caso deste apresentar uma falha.

Hoje em dia os materiais descartados ficam armazenados em depósitos e oficinas. Além da economia gerada devido à substituição apenas dos componentes defeituosos do sistema, teríamos uma menor geração de resíduos descartados, uma vez que em alguns casos estes componentes acabando sendo jogados no lixo.

Com a redução dos custos de manutenção a população pode se beneficiar com uma redução também nos custos das tarifas da energia elétrica.

Para finalizar este projeto gostaríamos ainda de fazer uma sugestão para futuros projetos que decidam tomar este como base ou que vise o desenvolvimento de um sistema para diagnóstico de sistemas de iluminação pública similar ao desenvolvimento neste projeto. A sugestão consiste na utilização de um micro-controlador (PIC, por exemplo) ao invés da metodologia utilizada neste projeto que foi implantado através de circuitos integrados, desta maneira o sistema para diagnóstico ficaria mais sofisticado e até mesmo mais compacto.

9 REFERÊNCIAS

- [1] CAVALCANTE, Fabiana da Silveira, **Reatores Eletrônicos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão de 70W.** 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- [2] TOMM, Fabio Luis, **Projeto de Reatores Eletrônicos para HID baseado no conversor chopper AC.** 2007. 84p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- [3] WALDRAM, J. M., **Street Lightning,** 1952.
- [4] KAISER, Walter, **Notas de aula de pós-graduação sobre lâmpadas à vapor de sódio de alta pressão,** 2006.
- [5] COPEL, <http://www.copel.com.br>, acessado em 02/06/2008
- [6] ELETROBRAS, <http://www.eletrobras.com.br>, acessado em 10/06/2008
- [7] Begli Indústria de Componentes Eletrônicos Ltda., <http://www.begli.com.br>, acessado em 25/05/2008
- [8] Primata Tecnologia Eletrônica Ltda., <http://www.primataeletronica.com.br>, acessado em 25/05/2008
- [9] SEDRA, A.S.; SMITH, K.C., **Microeletrônica,** 4^a Edição, Makron Books
- [10] PSIM© Demo Version 6.0, <http://www.powersimtech.com>
- [11] ORSINI, L. Q.; CONSONNI, D., **Curso de Circuitos Elétricos,** volumes 1 e 2, 2^a edição
- [12] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, <http://www.fairchildsemi.com> acessado em 12/10/2008.

ANEXO A

LM741

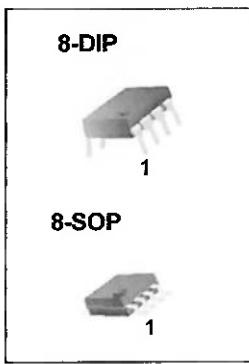
Single Operational Amplifier

Features

- Short Circuit Protection
- Excellent Temperature Stability
- Internal Frequency Compensation
- High Input Voltage Range
- Null of Offset

Description

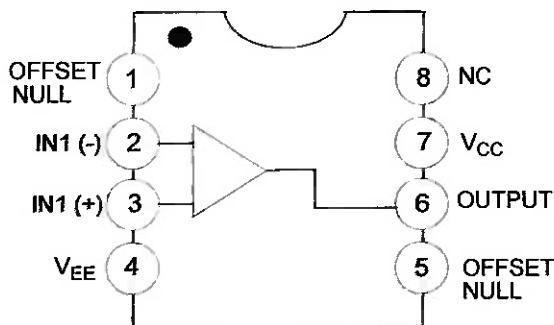
The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications..



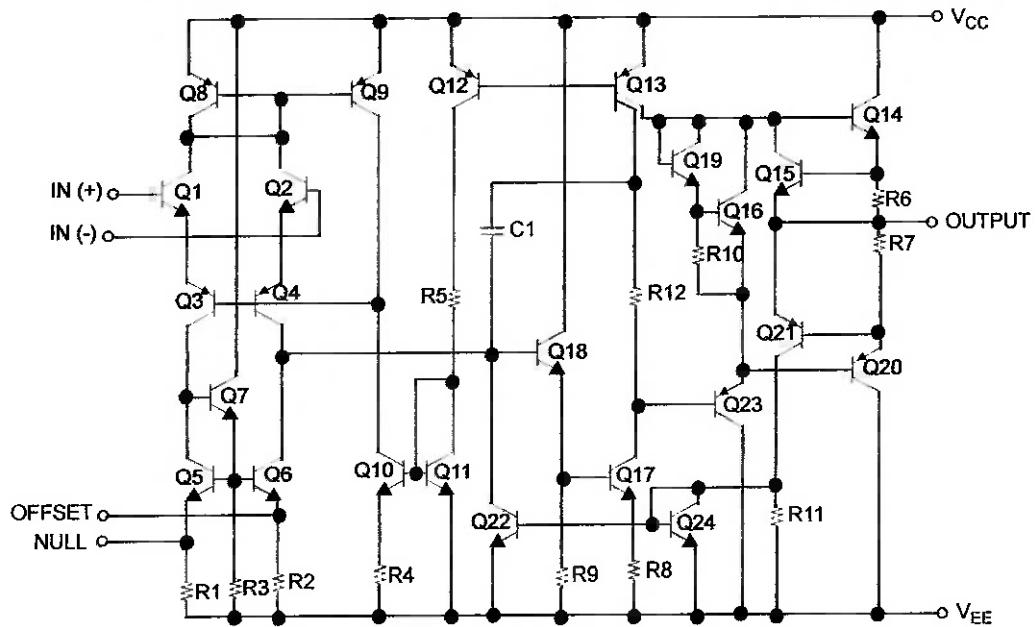
Ordering Information

Part Number	Operating Temp. Range	Pb-Free	Package	Packing Method	Marking Code
LM741CN	0 ~ +70°C	YES	8-DIP	Rail	LM741CN
LM741CM		YES	8-SOP	Rail	LM741CM
LM741CMX		YES	8-SOP	Tape & Reel	LM741CM

Internal Block Diagram



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. $T_A=25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	± 18	V
$V_{I(DIFF)}$	Differential Input Voltage	30	V
V_I	Input Voltage	± 15	V
-	Output Short Circuit Duration	Indefinite	-
P_D	Power Dissipation	500	mW
T_{OPR}	Operating Temperature Range	$0 \sim +70$	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range	$-65 \sim +150$	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 10k\Omega$		-	2.0	6.0	mV	
		$R_S \leq 50\Omega$		-	-	-		
Input Offset Voltage Adjustment Range	$V_{IO(R)}$	$V_{CC} = \pm 20V$		-	± 15	-	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	-		-	20	200	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-		-	80	500	nA	
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20V$		0.3	2.0	-	MΩ	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-		± 12	± 13	-	V	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_L \geq 2k\Omega$	$V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	-	V/mV	
			$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200	-		
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-		-	25	-	mA	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	$R_L \geq 10k\Omega$	-	-	-	V	
			$R_L \geq 2k\Omega$	-	-	-		
		$V_{CC} = \pm 15V$	$R_L \geq 10k\Omega$	± 12	± 14	-		
			$R_L \geq 2k\Omega$	± 10	± 13	-		
Common Mode Rejection Ratio	$CMRR$	$R_S \leq 10k\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$		70	90	-	dB	
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$		-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	$PSRR$	$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$		-	-	-	dB	
		$R_S \leq 50\Omega$		-	-	-		
$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$		$R_S \leq 10k\Omega$		77	96	-		
Transient	Rise Time	T_R	Unity Gain		-	0.3	-	μs
Response	Overshoot	OS			-	10	-	%
Bandwidth	BW	-			-	-	-	MHz
Slew Rate	SR	Unity Gain			-	0.5	-	V/μs
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty\Omega$			-	1.5	2.8	mA
Power Consumption	P_C	$V_{CC} = \pm 20V$			-	-	-	mW
		$V_{CC} = \pm 15V$			-	50	85	

Note:

- Guaranteed by design.

Electrical Characteristics (Continued)

($0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{CC}} = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM741C

Parameter	Symbol	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50\Omega$		-	-	-	mV
		$R_S \leq 10\text{k}\Omega$		-	-	7.5	
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{\text{IO}}/\Delta T$	-		-	-	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Input Offset Current	I_{IO}	-		-	-	300	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{\text{IO}}/\Delta T$	-		-	-	-	$\text{nA}/^{\circ}\text{C}$
Input Bias Current	I_{BIAS}	-		-	-	0.8	μA
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{\text{CC}} = \pm 20\text{V}$		-	-	-	$\text{M}\Omega$
Input Voltage Range	$V_{I(\text{R})}$	-		± 12	± 13	-	V
Output Voltage Swing	$V_{O(\text{P-P})}$	$V_{\text{CC}} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10\text{k}\Omega$	-	-	-	V
		$R_S \geq 2\text{k}\Omega$		-	-	-	
		$V_{\text{CC}} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10\text{k}\Omega$	± 12	± 14	-	
		$R_S \geq 2\text{k}\Omega$		± 10	± 13	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-		10	-	40	mA
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10\text{k}\Omega$, $V_{\text{CM}} = \pm 12\text{V}$		70	90	-	dB
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{\text{CM}} = \pm 12\text{V}$		-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{\text{CC}} = \pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
		$R_S \leq 10\text{k}\Omega$		77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_S \geq 2\text{k}\Omega$	$V_{\text{CC}} = \pm 20\text{V}$, $V_{O(\text{P-P})} = \pm 15\text{V}$		-	-	V/mV
			$V_{\text{CC}} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(\text{P.P})} = \pm 10\text{V}$		15	-	
			$V_{\text{CC}} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(\text{P-P})} = \pm 2\text{V}$		-	-	

Note :

- Guaranteed by design.

ANEXO B

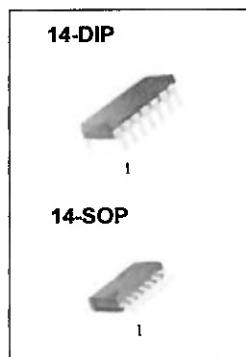
LM2901, LM339/LM339A, LM3302 LM239/LM239A Quad Comparator

Features

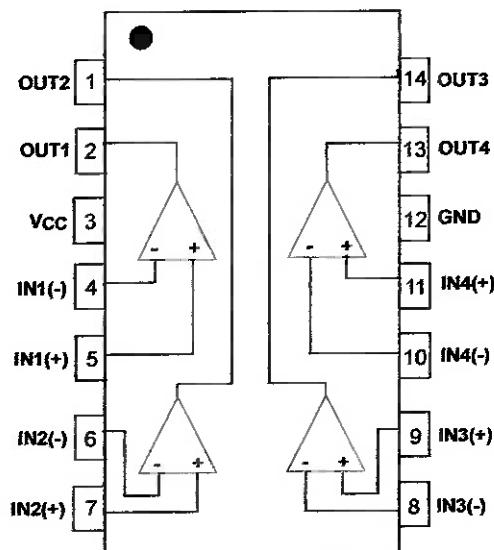
- Single or Dual Supply Operation
- Wide Range of Supply Voltage
LM2901, LM339/LM339A, LM239/LM239A: 2 ~ 36V
(or $\pm 1 \sim \pm 18V$)
LM3302: 2 ~ 28V (or $\pm 1 \sim \pm 14V$)
- Low Supply Current Drain 800 μA Typ.
- Open Collector Outputs for Wired and Connectors
- Low Input Bias Current 25nA Typ.
- Low Input Offset Current $\pm 2.3nA$ Typ.
- Low Input Offset Voltage $\pm 1.4mV$ Typ.
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground.
- Low Output Saturation Voltage
- Output Compatible With TTL, DTL and MOS Logic System

Description

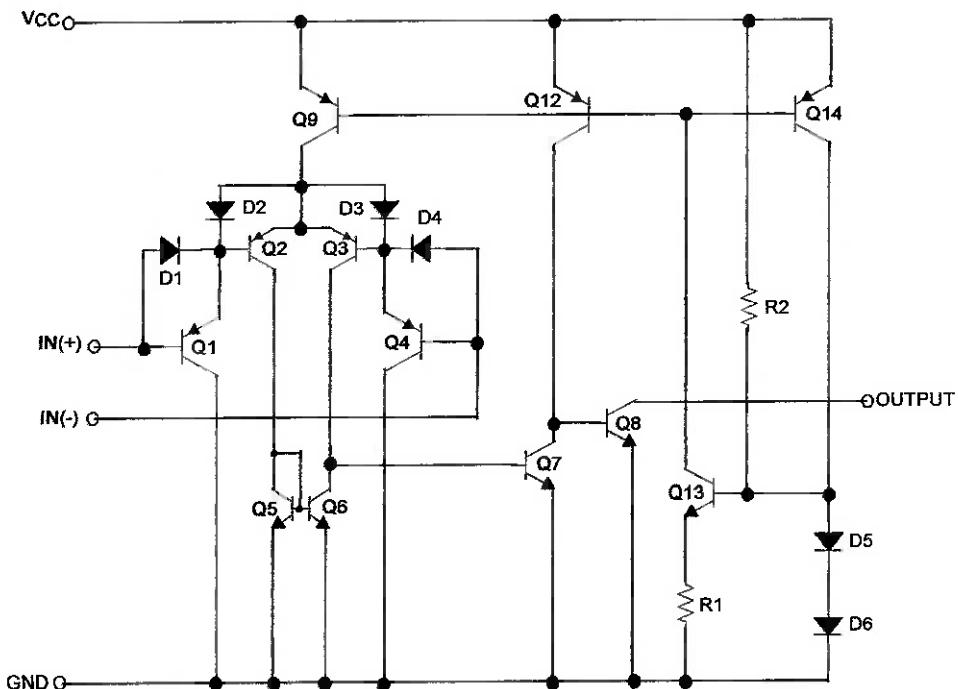
The LM2901, LM339/LM339A, LM239/LM239A, LM3302 consist of four independent voltage comparators designed to operate from single power supply over a wide voltage range.



Internal Block Diagram



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	±18 or 36	V
Supply Voltage only LM3302	V _{CC}	±14 or 28	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	36	V
Differential Input Voltage Only LM3302	V _{I(DIFF)}	28	V
Input Voltage	V _I	-0.3 to +36	V
Input Voltage Only LM3302	V _I	-0.3 to +28	V
Output Short Circuit to GND	-	Continuous	-
Power Dissipation	P _D	570	mW
Operating Temperature LM339/LM339A LM2901/LM3302 LM239/LM239A	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85 -25 ~ +85	°C
Storage Temperature	T _{STG}	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 5V, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM239A/LM339A			LM239/LM339			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	1	2	-	1.4	5	mV	
		Note1	-	-	4.0	-	-	9.0		
Input Offset Current	I _{IO}	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V	-	2.3	50	-	2.3	50	nA	
		Note1	-	-	150	-	-	150		
Input Bias Current	I _{BIAS}	V _{CM} = 0V	-	57	250	-	57	250	nA	
		Note1	-	-	400	-	-	400		
Input Common Mode Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} -1.5	0	-	V _{CC} -1.5	V	
		Note1	0	-	V _{CC} -2	0	-	V _{CC} -2		
Supply Current	I _{CC}	V _{CC} = 5V, R _L = ∞	-	1.1	2.0	-	1.1	2.0	mA	
Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L ≥ 15kΩ (for large swing)	50	200	-	50	200	-	V/mV	
Large Signal Response Time	T _{LRES}	V _I = TTL Logic Swing V _{REF} = 1.4V, V _R = 5V, R _L = 5.1kΩ (Note2)	-	300	-	-	300	-	ns	
Response Time	T _{RES}	V _R = 5V, R _L = 5.1kΩ (Note2)	-	1.3	-	-	1.3	-	μs	
Output Sink Current	I _{SINK}	V _{I(-)} ≥ 1V, V _{I(+)} = 0V, V _{O(P)} ≤ 1.5V	6	18	-	6	18	-	mA	
Output Saturation Voltage	V _{SAT}	V _{I(-)} ≥ 1V, V _{I(+)} = 0V	-	140	400	-	140	400	mV	
		I _{SINK} = 4mA	Note1	-	700	-	-	700		
Output Leakage Current	I _{O(LKG)}	V _{I(-)} = 0V	-	0.1	-	-	0.1	-	nA	
		V _{I(+)} = 1V	V _{O(P)} = 5V	-	-	1.0	-	-	1.0	μA
Differential Voltage	V _{I(DIFF)}		Note1	-	-	36	-	-	36	V

Note:

1. LM339/LM339A : 0 ≤ T_A ≤ +70°C
LM2901/LM3302 : -40 ≤ T_A ≤ +85°C
LM239/LM239A : -25 ≤ T_A ≤ +85°C
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5V, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM2901			LM3302			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	2	7	-	2	20	mV
		Note1	-	9	15	-	-	40	
Input Offset Current	I _{IO}		-	2.3	50	-	3	100	nA
		Note1	-	50	200	-	-	300	
Input Bias Current	I _{BIAS}		-	57	250	-	57	250	nA
		Note1	-	200	500	-	-	1000	
Input Common Mode Voltage Range	V _{I(R)}	LM2901, V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} - 1.5	0	-	V _{CC} - 1.5	V
		LM3302, V _{CC} = 28V	0	-	V _{CC} - 2	0	-	V _{CC} - 2	
Supply Current	I _{CC}	R _L = ∞, V _{CC} = 5V	-	1.1	2.0	-	1.1	2.0	mA
		R _L = ∞, V _{CC} = 30V (LM3302, V _{CC} = 28V)	-	1.6	2.5	-	1.6	2.5	
Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L ≥ 15kΩ (for large swing)	25	100	-	2	30	-	V/ mV
Large Signal Response Time	T _{LRES}	V _I = TTL Logic Swing V _{REF} = 1.4V, V _{RL} = 5V, R _L = 5.1kΩ (Note2)	-	300	-	-	300	-	ns
Response Time	T _{RES}	V _{RL} = 5V, R _L = 5.1kΩ (Note2)	-	1.3	-	-	1.3	-	μs
Output Sink Current	I _{SINK}	V _{I(-)} ≥ 1V, V _{I(+)} = 0V, V _{O(P)} ≤ 1.5V	6	18	-	6	18	-	mA
Output Saturation Voltage	V _{SAT}	V _{I(-)} ≥ 1V, V _{I(+)} = 0V	-	140	400	-	140	400	mV
		I _{SINK} = 4mA	Note1	-	700	-	-	700	
Output Leakage Current	I _{O(LKG)}	V _{I(-)} = 0V	V _{O(P)} = 5V	-	0.1	-	-	0.1	nA
		V _{I(+)} = 1V	V _{O(P)} = 30V	-	-	1.0	-	-	1.0 μA
Differential Voltage	V _{I(DIFF)}		Note1	-	-	36	-	-	28 V

Note:

1. LM339/LM339A : 0 ≤ T_A ≤ +70°C
LM2901/LM3302 : -40 ≤ T_A ≤ +85°C
LM239/LM239A : -25 ≤ T_A ≤ +85°C
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

ANEXO C

LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

General Description

The LM78XX series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
LM7805CT	±4%	TO-220	-40°C to +125°C
LM7806CT			
LM7808CT			
LM7809CT			
LM7810CT			
LM7812CT			
LM7815CT			
LM7818CT			
LM7824CT			
LM7805ACT	±2%		0°C to +125°C
LM7806ACT			
LM7808ACT			
LM7809ACT			
LM7810ACT			
LM7812ACT			
LM7815ACT			
LM7818ACT			
LM7824ACT			

Block Diagram

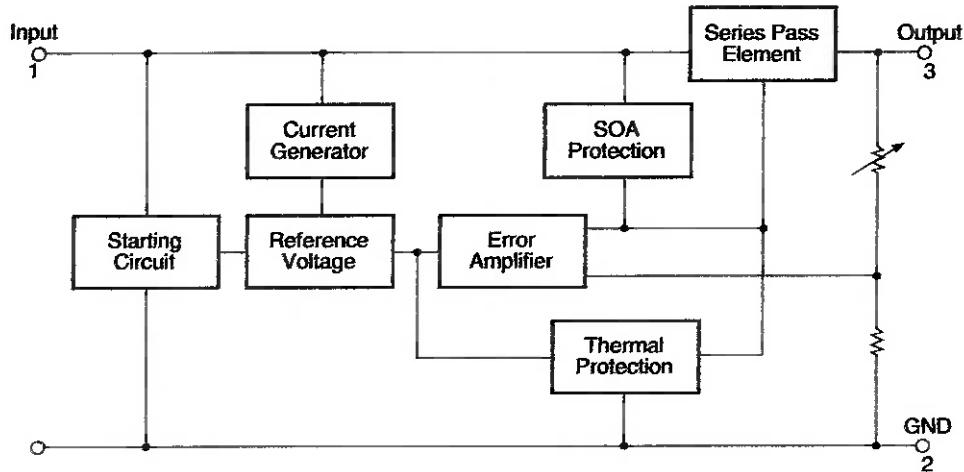


Figure 1.

Pin Assignment

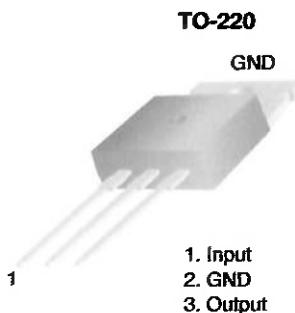


Figure 2.

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	Input Voltage		$V_O = 5V \text{ to } 18V$	35
			$V_O = 24V$	40
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)		5	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)		65	$^{\circ}\text{C/W}$
T_{OPR}	Operating Temperature Range		LM78xx	-40 to +125
			LM78xxA	0 to +125
T_{STG}	Storage Temperature Range		-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$

Electrical Characteristics (LM7805)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_L = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		4.8	5.0	5.2	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7\text{V}$ to 20V		4.75	5.0	5.25	
Regline	Line Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_O = 7\text{V}$ to 25V	—	4.0	100	mV
		$V_I = 8\text{V}$ to 12V		—	1.6	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA}$ to 1.5A	—	9.0	100	mV
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA		—	4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		—	5.0	8.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A		—	0.03	0.5	mA
		$V_I = 7\text{V}$ to 25V		—	0.3	1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁾	$I_O = 5\text{mA}$		—	-0.8	—	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		—	42.0	—	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V}$ to 18V		62.0	73.0	—	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		—	2.0	—	V
r_O	Output Resistance ⁽²⁾	$f = 1\text{kHz}$		—	15.0	—	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		—	230	—	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		—	2.2	—	A

Notes:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

ANEXO D



August 1986
Revised February 2000

DM7404 Hex Inverting Gates

DM7404

Hex Inverting Gates

General Description

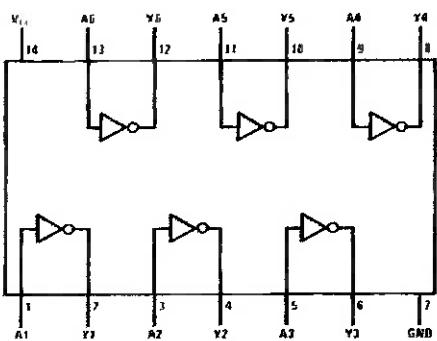
This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM7404M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150 Narrow
DM7404N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

$$Y = \bar{A}$$

Inputs	Output
A	Y
L	H
H	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	5.5V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			16	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	TYP (Note 2)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -12 mA			-1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max	2.4	3.4		V
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IH} = Min		0.2	0.4	V
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 5.5V			1	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.4V			40	µA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-1.6	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 3)	-18		-55	mA
I _{CH}	Supply Current with Outputs HIGH	V _{CC} = Max		6	12	mA
I _{CL}	Supply Current with Outputs LOW	V _{CC} = Max		18	33	mA

Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time.

Switching Characteristics

at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Units
t _{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	C _L = 15 pF R _L = 400Ω		22	ns
t _{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output			15	ns