

CURSO
MECÂNICO DE
AERONAVES
EaD - SEMIPRESENCIAL

AVIÔNICOS

Eletrônica II



CNPJ	72.443.914/0001-38
Mantenedora	Aero TD Escola de Aviação Civil Ltda - ME
Nome Fantasia	Aero TD Faculdade de Tecnologia
Esfera Administrativa	Privada
Endereço (Rua, Nº.) Cidade UF CEP	Rua Marechal Guilherme nº 127. Bairro: Centro - Florianópolis SC. CEP: 88015-000
Telefone	(48) 32235191
Eixo Tecnológico:	Infraestrutura
Curso:	Profissionalizante em Manutenção de Aeronaves - Habilitação Aviônicos
Carga Horária Total:	1014 horas

Sumário

Apresentação	4
Módulo I	06 – 18
Módulo II	20 – 34
Módulo III	37 – 61
Módulo IV	63 – 79
Módulo V	81 – 142
Módulo VI	145-163

Apresentação da Disciplina

Caro Aluno,

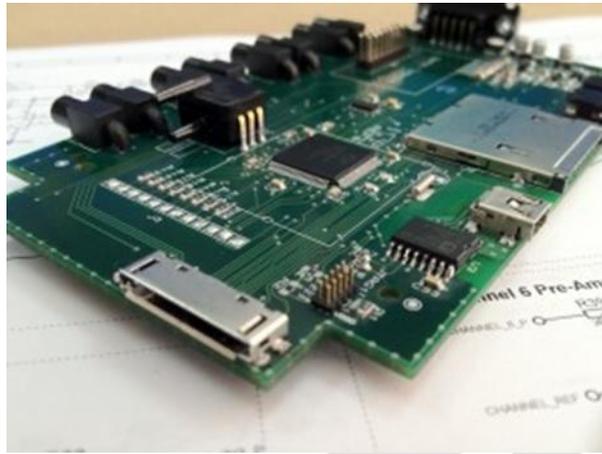
*Ao optar pela obtenção da carteira de **Aviônicos** como especialidade técnica em manutenção de aeronaves você deu o primeiro passo para o ingresso em um mundo que oferece infinidade de opções e soluções para a aviação.*

O termo “avionicos” é derivado da expressão em inglês “aviation electronics” e designa todos os sistemas elétricos e eletrônicos embarcados em aeronaves.

À medida em que os avanços tecnológicos foram se estabelecendo na aviação, o que requer além da funcionalidade a garantia da segurança, mais e mais sistemas foram se automatizando com vistas a facilitar a vida da tripulação que, durante um voo comum, deve receber e processar milhares de informações e a partir daí tomar decisões e atuar nos comandos da aeronave adequadamente.

Hoje em dia, os aviônicos envolvem uma combinação de sensores, processadores, atuadores e instrumentos que devem trabalhar de forma coordenada e precisa para garantir um voo bem sucedido.

Esses dispositivos cada dia mais estão inter-relacionados por processadores digitais que vieram simplificar os sistemas, tornando-os mais compactos e versáteis. É essencial para o técnico em manutenção aeronáutica dos dias de hoje conhecer a eletrônica digital e entender o funcionamento de sistemas microprocessados, que a cada dia se tornam mais comuns na aviação.



Fonte: <http://www.minasic.com/novo/?p=463>

MÓDULO I

CIRCUITOS INTEGRADOS E SENSORES

INTRODUÇÃO

Caro aluno,

Uma vez que em aviação o peso e a ocupação do espaço são fatores fundamentais, em qualquer sistema embarcado, é extremamente importante redução do tamanho e peso, sem deixar de lado a robustez e a precisão no funcionamento.

A confecção de dispositivos integrados vem de encontro a essas exigências, na medida em que os circuitos integrados compactam diversos elementos em um só dispositivo ou em uma placa de tamanho reduzido.

Neste módulo, além dos circuitos integrados, iremos estudar os sensores, que são os “órgãos dos sentidos” de nossos sistemas.

Os dispositivos que realizam as diversas funções na aeronave devem receber informação do ambiente externo a ele de forma a poder produzir a resposta desejada, auxiliando a tripulação na condução do voo.

1.1 CIRCUITOS INTEGRADOS

Com a invenção do transistor, os projetistas puderam produzir equipamentos eletrônicos menores, mais versáteis e de maior confiabilidade. Porém o transistor foi apenas o primeiro passo para um avanço tecnológico ainda maior: a implementação do circuito integrado monolítico.

Os circuitos integrados, com as funções próprias de um circuito completo, em um espaço comparável ao que antes era ocupado por um único transistor, estão convertendo-se nos componentes básicos dos equipamentos eletrônicos.

Para a construção de um circuito integrado, efetua-se uma série de operações de difusão gasosa e centenas de circuitos integrados são produzidos simultaneamente em uma pastilha de silício, com cerca de 3 cm de diâmetro.

1.2 MICROELETRÔNICA

Na eletrônica sempre houve uma tendência de miniaturização dos equipamentos. O aparecimento do transistor e do diodo semicondutor, depois da guerra, incentivou mais o desenvolvimento dessa miniaturização.

A utilização dos elementos semicondutores em miniatura foi possível devido às características do transistor permitirem o funcionamento dos circuitos com baixa tensão e potência.

A montagem de transistores e outros componentes em pequenas placas de circuitos impressos proporcionou uma redução significativa no tamanho e peso dos equipamentos. O resultado, mesmo em miniatura, era todavia convencional no que se refere à montagem dos diversos componentes, formando o que se poderia chamar de micromontagem. A partir daí as pesquisas se desenvolveram, chegando atualmente à chamada microeletrônica. Um circuito integrado é um caso particular de microeletrônica, recebendo essa denominação um conjunto inseparável de componentes eletrônicos, em uma única estrutura, a qual não pode ser dividida sem que se destruam suas propriedades eletrônicas. Os circuitos integrados de semicondutores podem ser divididos em dois grupos: os circuitos monolíticos e os circuitos híbridos. Nos circuitos monolíticos todos os componentes dos circuitos são fabricados por meio de uma tecnologia especial dentro de uma mesma pastilha de silício, enquanto que nos circuitos híbridos, várias pastilhas são colocadas em um mesmo invólucro e são conectadas entre si.

1.3 TÉCNICA DE FABRICAÇÃO DE CIRCUITOS INTEGRADOS MONOLÍTICOS

Como mencionado anteriormente os circuitos integrados monolíticos são aqueles em que todos os componentes do circuito são fabricados simultaneamente em um único cristal de silício com menos de 1 mm^2 de área.

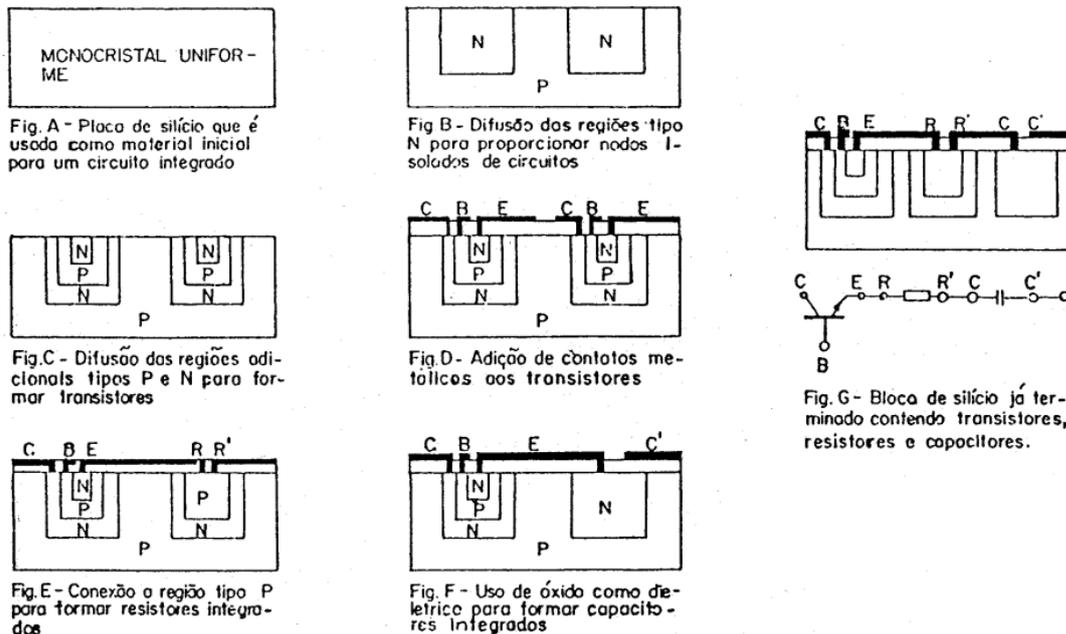
O processo usado atualmente para a fabricação de CI (circuito integrado), é baseado na técnica de difusão do silício, que foi desenvolvida para a fabricação de transistores de silício. Inicialmente o material é um cristal de silício simples, do tipo P ou do tipo N, como mostrado na figura 1 (A).

As técnicas de difusão permitem a introdução de impurezas nas profundidades e larguras desejadas no material inicial. A penetração vertical das impurezas é controlada pela temperatura de difusão e pelo tempo. O controle lateral de difusão torna-se possível pela combinação das propriedades de vedação do dióxido de silício com as técnicas fotoquímicas. Quando determinadas regiões do tipo N são difundidas em um material inicial do tipo P, como mostrado na figura 1 (B), são formados núcleos isolados no circuito.

Os diodos formados pela substância P e os núcleos do material tipo N, fornecem o isolamento elétrico entre os núcleos.

A difusão de regiões adicionais do tipo P e do tipo N formam transistores, como mostrado na figura 1 (C).

As fases básicas às quais é submetido o silício, durante o processo de fabricação do CI são mostradas na figura 1



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 1 Fases do processo de fabricação do CI

A placa de silício é então revestida com uma camada de óxido isolante. Essa camada é aberta nos pontos adequados, para permitir a metalização e a interconexão, como mostrado na figura 1 (D).

Quando se necessita de resistores no circuito, a difusão do emissor do tipo N é omitida e dois controles ôhmicos são estabelecidos para uma região do tipo P, formada simultaneamente com a difusão da base, como mostrado na figura 1 (E).

Quando se necessita de capacitores, o próprio óxido é usado como dielétrico, como mostrado na figura 1 (F).

A figura 1(G)" mostra a combinação de três tipos de elementos em uma placa simples. Devido ao fato do processo básico de fabricação dos circuitos integrados ser idêntico ao usado para fabricar transistores, em um circuito integrado feito por esse processo, os transistores são similares aos convencionais. Por outro lado, os resistores dos circuitos integrados são completamente diferentes dos comuns.

Nos resistores comuns os diferentes valores ôhmicos são obtidos variando-se a resistência do material condutor. Já nos circuitos integrados, a resistência do material não pode variar para se obter valores diferentes de resistores, porque a resistência do material é determinada

pelo valor requerido para a fabricação do transistor e seu valor ôhmico depende basicamente de sua forma geométrica.

O valor do resistor é determinado pelo produto de sua espessura de difusão "S" pela razão entre o comprimento "L" e a largura "W", ou seja:

$$R = S \cdot \frac{L}{W}$$

O valor da capacitância de um capacitor integrado é dado pelo produto de sua superfície "A" e a razão entre a constante dielétrica do material difundido "E" e a espessura do óxido "d", ou seja:

$$C = A \cdot \frac{E}{d}$$

1.4 TIPOS DE ENCAPSULAMENTO E CONTAGEM DE PINOS

O invólucro de um circuito integrado desempenha quatro funções importantes:

- Protege a pastilha de silício contra a ação do meio ambiente, que de certo modo pode alterar as características do CI;
- Protege mecanicamente a pastilha do circuito integrado;
- Possibilita um meio simples de interligar o CI com os outros componentes do circuito;
- Dissipa o calor dentro da pastilha, durante o funcionamento do CI.

Na figura 2 são mostrados alguns dos invólucros usados na prática.

Os dois primeiros CI's possuem invólucro do tipo "dual" em linha, sendo a cápsula geralmente de material plástico e moldado em torno dos terminais do suporte onde a pastilha de silício foi montada.

O último CI mostrado na figura possui invólucro do tipo TO (metálico), extensivamente usado em muitos tipos de transistores.

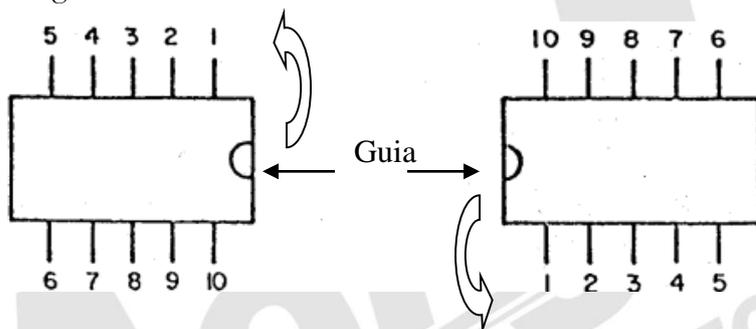


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 2 Invólucros usados em CI's

A identificação dos terminais dos elementos que constituem o CI é feita pela numeração dos pinos, que são contados por um sistema padronizado.

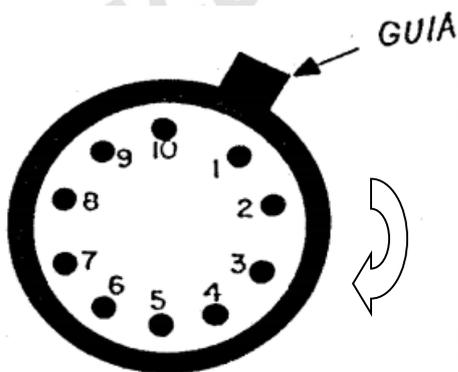
A contagem de pinos de circuitos integrados com encapsulamento do tipo "dual" é feita, a partir da marcação guia de referência pino a pino, no sentido anti-horário, tal como mostrado na figura 3.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 3 Contagem de pinos em CI's

Já para o CI com encapsulamento do tipo TO a contagem é feita do pino guia no sentido horário, quando a vista interior de sua base estiver voltada para o observador. Essa contagem é mostrada na figura 4.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 4 Contagem de pinos para CI com encapsulamento do tipo TO.

1.5 SENSORES

A grande maioria dos circuitos eletrônicos serve para, de alguma forma, interagir com o meio ambiente e com o usuário. Isto acontece particularmente na aviação, onde os instrumentos de voo devem interpretar condições externas e internas da aeronave e traduzi-las em sinais

inteligíveis para que o piloto ou operador possa tomar as decisões adequadas em relação à pilotagem ou operação de equipamentos.

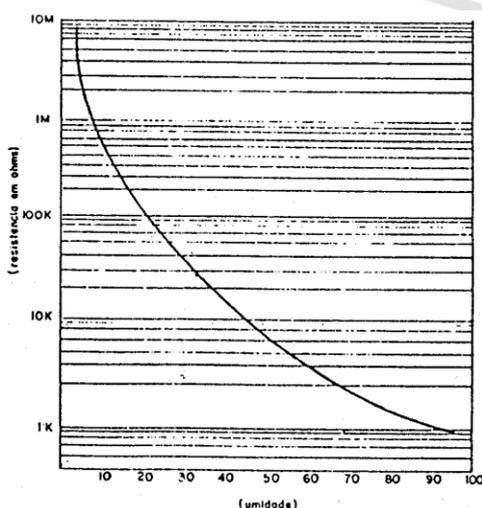
Assim como nós temos nossos órgãos dos sentidos, para que possamos interpretar os sinais do meio ambiente, os circuitos eletrônicos recebem esses sinais através de sensores, que são basicamente transdutores dos mais variados tipos de sinais para sinais elétricos ou eletrônicos que possam ser processados por um circuito.

1.6 SENSOR DE UMIDADE

Existem certos materiais semicondutores cuja resistência varia com a umidade relativa do ar. Estes materiais têm certo padrão específico de carga elétrica em suas moléculas que os níveis de energia entre elas são controlados mediante a umidade do ar.

Este tipo de dispositivo semicondutor é fabricado na forma de película delgada, depositada sobre os eletrodos que estão dispostos um ao lado do outro. A resistência entre os eletrodos varia com a quantidade de umidade do meio ambiente, pela qual é possível medir a umidade relativa do ar.

A figura 5 mostra uma curva característica, dada pelo fabricante. Por essa curva pode-se observar que o sensor de umidade apresenta uma resistência elevada que decresce rapidamente com o aumento da umidade.



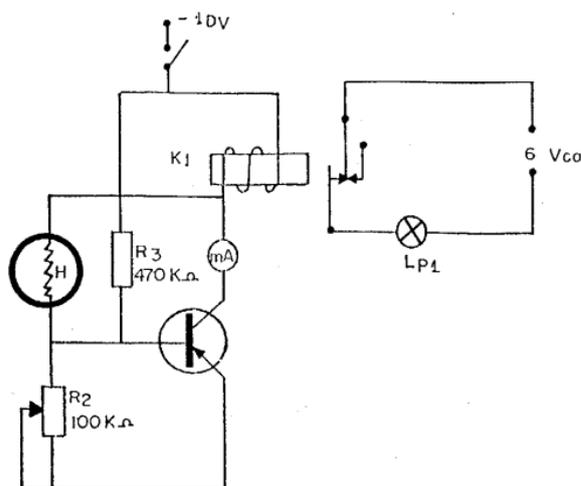
Umidade relativa do ar em %

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 5 Curva de variação da resistência com a umidade

A figura 6 mostra um circuito que pode ser usado, por exemplo, para medir a umidade relativa do ar de um depósito de componentes eletrônicos.

A lâmpada L_1 acenderá todas as vezes que a umidade do ar atingir níveis prejudiciais aos componentes eletrônicos do depósito.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 6 Circuito medidor da umidade relativa do ar

O circuito da figura 6 possui o funcionamento descrito a seguir.

Havendo um aumento da umidade relativa do ar, a resistência do sensor de umidade diminui, ocasionando um aumento da polarização direta base-emissor e com isso também um aumento de I_C .

Se o miliamperímetro estiver graduado em porcentagem de umidade do ar, teremos desta forma uma indicação precisa dessa umidade.

Porém, se a umidade do ar continuar a aumentar, o relé K_1 será ativado através do aumento de I_C , fazendo com que a lâmpada L_1 acenda, indicando que a umidade está sendo prejudicial aos componentes.

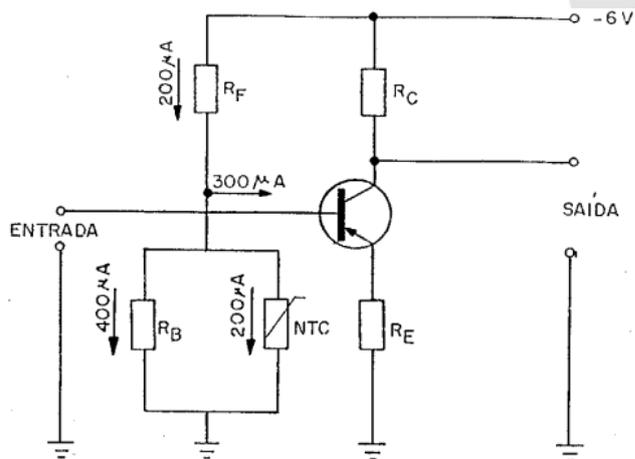
1.7 TERMISTORES

Os termistores são componentes eletrônicos que têm a capacidade de alterar a resistência ôhmica com a variação da temperatura.

Existem termistores com coeficiente de temperatura positiva (PTC) e negativo (NTC), ou seja, no primeiro caso teremos um aumento de resistência quando ocorrer um aumento de

temperatura e no segundo caso teremos uma diminuição no valor ôhmico do termistor quando ocorrer um aumento de temperatura.

Os termistores são amplamente utilizados em circuitos de polarização de transistores pois neste caso, eles compensariam as variações da polarização devido ao aumento ou diminuição da temperatura.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7 Circuito com estabilização de polarização

Os termistores com coeficiente negativo de temperatura (NTC) são os mais utilizados.

Um circuito com estabilização de polarização através de um NTC é mostrado na figura 7.

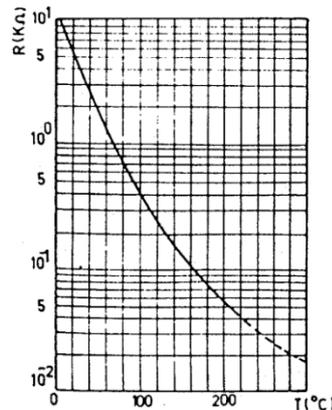
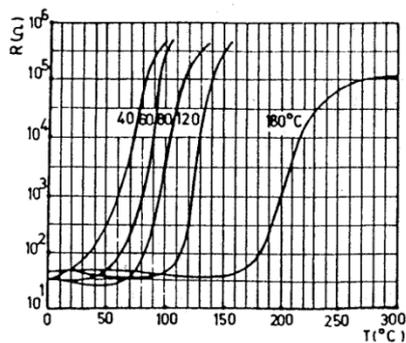
A tensão V_{BE} do circuito é 0,2V e a I_B é 300 mA. Com o aumento da temperatura ambiente a I_C tende a aumentar devido ao aumento da I_{CO} .

Porém, esse aumento da temperatura afeta também o NTC, diminuindo sua resistência, ocasionando um aumento da corrente através dele.

Essa maior corrente solicitada aumenta a queda de tensão em R_F , diminuindo a V_{BE} e com isso menores serão a I_B e a I_C .

O resultado é que este dispositivo tende a manter o circuito no seu ponto de operação.

A figura 12-4 a seguir mostra as curvas características de um NTC e um PTC respectivamente.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 8 Curvas características de um NTC e de um PTC

1.8 DISPOSITIVOS FOTOSSENSÍVEIS

Diz-se que um dispositivo é fotosensível se o mesmo alterar suas características mediante a incidência de luz.

Dentro do grupo de componentes fotosensíveis, destacam-se as células fotoelétricas que podem ser a gás ou a vácuo, as células fotocondutivas que podem ser do tipo fotoresistor, fotodiodo e fototransistor e as células fotovoltaicas.

Células Fotocondutivas

Estas células baseiam-se no fenômeno que ocorre quando um fluxo luminoso incide sobre um material semicondutor.

No momento da incidência de luz sobre o material, as partículas luminosas chamadas de fótons fornecem aos elétrons energia suficiente para produzir a ruptura das ligações covalentes. Assim, um elétron que abandona a ligação deixa uma lacuna em seu lugar. Portanto a ação dos fótons ocasiona a produção de pares elétron-lacuna, o que provoca o aumento da condutividade no semicondutor.

Este fenômeno é conhecido como fotocondutividade.

Entre os dispositivos que funcionam baseados no fenômeno da fotocondutividade temos os fotoresistores, fotodiodos e os fototransistores.

Fotorresistores

Os fotorresistores são constituídos de material semicondutor.

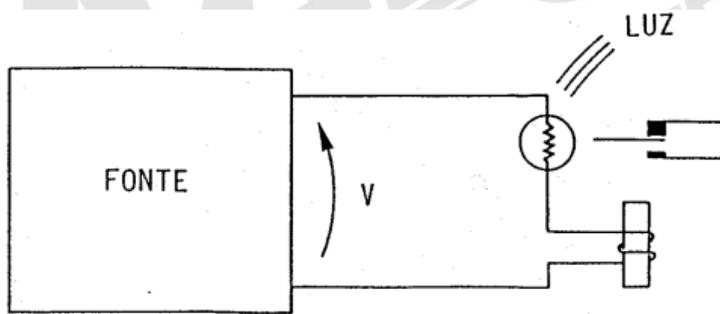
Quando um fluxo luminoso incide sobre eles a sua condutividade aumenta, ou seja, a sua resistência diminui.

Os materiais mais utilizados para a construção dos fotorresistores são o sulfato de cádmio e o sulfeto de chumbo.

Os fotorresistores são caracterizados pelas iniciais LDR (Light Dependent Resistor), ou seja, resistor dependente da luz.

Os fotorresistores são geralmente aplicados em circuitos para a operação de relés.

A figura 9 ilustra esse processo.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

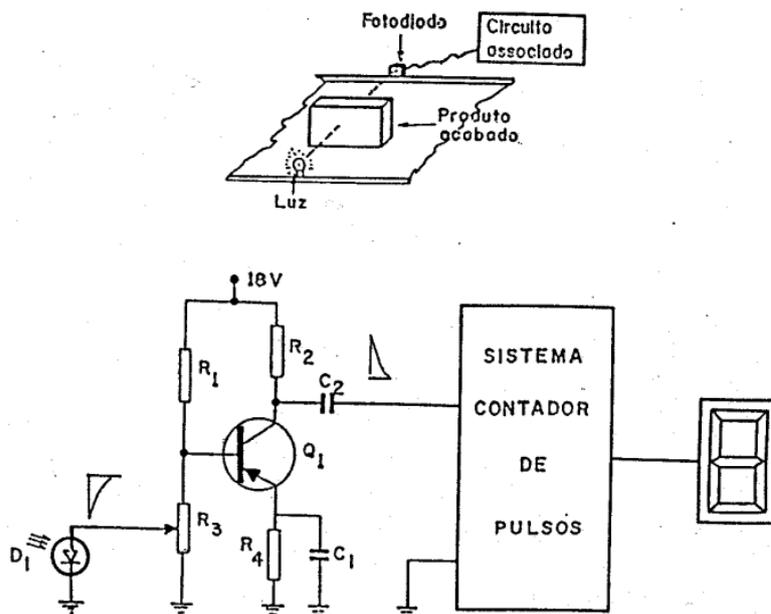
Figura 9 Circuito de aplicação do fotorresistor

Quando não há fluxo luminoso, a resistência do LDR é alta e a corrente que circula na bobina do relé não é suficiente para acioná-lo. Quando um fluxo luminoso incide sobre o fotorresistor a sua resistência diminui, a corrente aumenta atingindo um valor suficiente para acionar o relé.

Conseqüentemente, com esse simples circuito é possível efetuar o controle automático de portas, alarmes de segurança, controles de iluminação de ambientes etc.

Fotodiodo

Os fotodiodos são constituídos de maneira análoga aos diodos de função já estudados.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 10 Aplicação do fotodiodo

A única diferença é que a junção PN é influenciada pela intensidade da luz, através de uma janela de material transparente adaptada na parte superior de seu invólucro.

Alguns fotodiodos possuem nesta janela uma pequena lente convergente que concentra ainda mais os feixes de luz.

O fotodiodo, em condições normais é polarizado no sentido inverso e, portanto, circula através do diodo apenas a corrente de fuga.

Quando um feixe luminoso incide na junção, são quebradas ligações covalentes, aumentando a concentração de portadores minoritários e conseqüentemente, a corrente de fuga aumenta.

Esse aumento da corrente vai atuar num circuito acoplado ao fotodiodo.

O circuito representado na figura 10 tem por objetivo processar a contagem de produtos que estão sendo transportados por uma correia

O fluxo luminoso proveniente de uma lâmpada é interrompido quando o produto se interpõe entre a lâmpada e o fotodiodo.

Quando isso ocorre a corrente através do diodo diminui, fazendo com que a tensão estática aplicada na base do transistor amplificador aumente. Isso provoca um aumento da polarização direta base-emissor, logo, a I_C aumenta, fazendo com que a tensão coletor-terra diminua.

Desta forma temos na saída do circuito um pulso que é acoplado ao contador. Estes pulsos serão registrados pelo contador, o qual informará a quantidade de objetos.

Fototransistores

Esses dispositivos são constituídos por duas junções PN acondicionados num invólucro, tendo uma pequena lente que converge o fluxo luminoso sobre a junção base-emissor, a qual é denominada junção fotossensível.

Quando a luz incide na junção base-emissor, sua condutividade aumenta, ocasionando um aumento na corrente de coletor.

Quanto mais intenso for o fluxo luminoso, mais intensa será a corrente de coletor.

Devido a sua amplificação, o fototransistor fornece dez vezes mais corrente que o fotodiodo, sob as mesmas circunstâncias.

Os fototransistores possuem as mesmas aplicações dos fotodiodos tais como a leitura ótica, controle automático de brilho etc. Todavia, apresentam a vantagem de não necessitar de ampliação adicional.

Células Fotovoltaicas

Como o nome indica, essas células produzem uma tensão elétrica quando submetidas a ação de um fluxo luminoso.

Uma das aplicações mais típicas das células fotovoltaicas é nos chamados fotômetros que são instrumentos usados pelos fotógrafos para obterem informações sobre a iluminação do ambiente.

Quando a luz incide sobre a fotocélula, que é normalmente de selênio, é produzida uma tensão que é aplicada a um milivoltímetro graduado em unidades de intensidade de luz.

Uma aplicação moderna de grande importância das células fotovoltaicas é nas chamadas "baterias solares".

Células são colocadas, em grande número, lado a lado e ligadas de maneira conveniente, em série, em paralelo ou em combinação série-paralelo.

Quando exposto à luz solar, o conjunto pode fornecer energia suficiente para o funcionamento dos instrumentos de um farol, de uma estação meteorológica e principalmente de um satélite artificial.



Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional. Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.



No Próximo Módulo

Caro aluno,

No próximo módulo, você entenderá como podemos alimentar adequadamente os circuitos de forma a aumentar a confiabilidade e a eficiência de nossos circuitos embarcados.

Vamos lá!?



Fonte: <http://www.hardware.com.br/artigos/pc-baixo-consumo/pagina2.html>

MÓDULO II

REGULADORES DE TENSÃO

APRESENTAÇÃO

Caro aluno,

Os circuitos eletrônicos podem desempenhar uma infinidade de funções de acordo com a finalidade para a qual foram planejados. Sua funcionalidade, no entanto, depende de alimentação elétrica e muitos desses circuitos devem ter uma alimentação estabilizada e dentro de limites restritos para que possam funcionar adequadamente.

Neste módulo, você vai conhecer os reguladores de tensão, que procuram garantir a alimentação compatível para que os circuitos eletrônicos trabalhem de acordo com o seu projeto.

2.1 O DIODO ZENER COMO REGULADOR DE TENSÃO

O diodo Zener é um dispositivo semicondutor, de dois terminais, diferente dos diodos comuns, tanto na sua construção física, quanto no seu funcionamento.

O Zener possui uma junção maior que a do diodo comum, o que possibilita uma dissipação de potência.

Quanto ao seu funcionamento, foi projetado para operar na região inversa da curva característica e assim sendo, sua polarização normal é a polarização inversa.

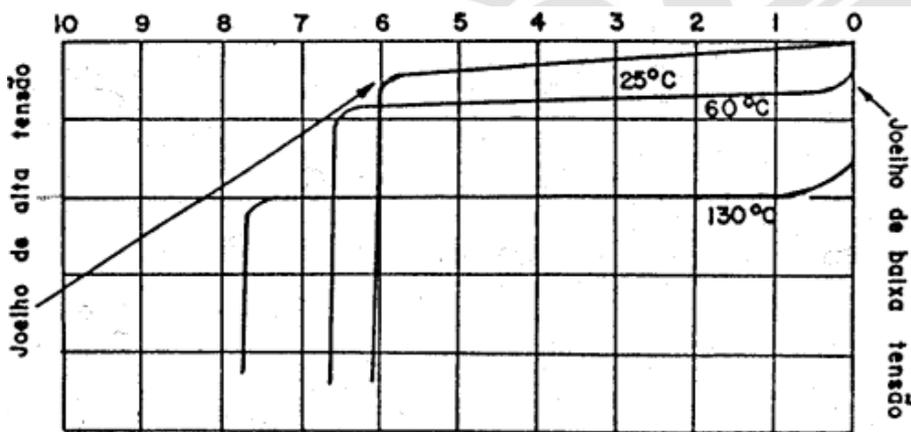
Apesar do seu funcionamento diferir um pouco do diodo comum, o Zener pode operar do mesmo modo que o diodo anteriormente estudado.

Os diodos Zener operando na região inversa da curva característica são também chamados diodos de referência, ou ainda diodos de avalanche.

2.2 CARACTERÍSTICAS DO DIODO ZENER

A diferença essencial, entre um diodo Zener e um diodo comum, está no grau de definição do ponto (tensão) de Zener.

O diodo Zener possui um joelho de alta tensão, de curvatura bastante acentuada, ao passo que outros diodos possuem uma curvatura mais suave, como se vê na figura 11.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 11 Curva na região inversa do diodo comum

Outra característica importante do diodo Zener é a maior largura física da junção. A razão de ser desta característica está na potência que a junção pode dissipar.

Por exemplo, um diodo comum de Ge, com uma corrente de 1 mA, dissipa:

$$P_j = 1 \text{ mA} \times 0,25 \text{ V} = 0,25 \text{ mW}$$

Como o diodo Zener opera com tensões mais elevadas (6 volts), teríamos, com a mesma corrente de 1 mA, a potência:

$$P_j = 1 \text{ mA} \times 6 \text{ V} = 6 \text{ mW}$$

Por este motivo é que a junção do diodo Zener deve ser maior que a de um diodo comum, a fim de possibilitar uma dissipação maior.

O diodo Zener pode ser usado em substituição à válvula reguladora de tensão (VR), como mostra a figura 15. Isso se deve à característica do Zener que mantém a tensão constante, dentro de determinados limites, quando está operando na região de Zener.

Funcionamento

O diodo comum não deve atingir a zona Zener, sob pena de possível destruição, enquanto que o Zener é projetado e fabricado para trabalhar nesta região.

Quando o diodo Zener é polarizado inversamente, uma corrente muito pequena circula através dele - é a corrente de fuga. À medida que a tensão inversa cresce, também cresce o campo elétrico existente na região de transição. Este campo pode acelerar, suficientemente, os elétrons livres, fazendo com que eles adquiram bastante energia, para provocar por choque, o rompimento das ligações covalentes.

Consideremos de início, a situação de um elétron livre. Quando este elétron sofre a ação de um campo elétrico, adquire uma aceleração suficiente, para romper uma ligação covalente. Com isso, passam a existir três portadores - uma lacuna e dois elétrons. Estes dois elétrons podem ser acelerados e provocar o rompimento de duas outras ligações, fornecendo agora, sete portadores - quatro elétrons e três lacunas. Em pouquíssimo tempo ocorre uma multiplicação de portadores de carga - avalanche - a corrente cresce, sendo limitada somente pela resistência externa do circuito.

A tensão sobre o diodo se mantém aproximadamente constante, o que indica que o diodo possui uma resistência muito pequena nessa região. Esse fenômeno é chamado "ruptura da junção por avalanche" ou mais comumente "ruptura por avalanche".

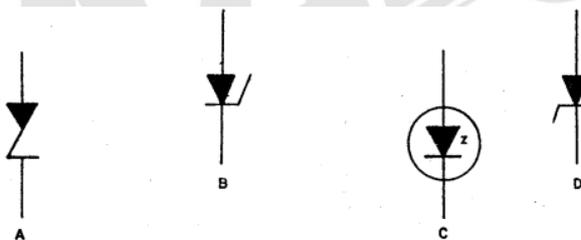
Dependendo da construção da junção, da tensão aplicada e da corrente, pode produzir-se a ruptura, mesmo que os elétrons livres não tenham sido acelerados o suficiente para romper

as ligações covalentes. É o caso em que o campo elétrico, produzido pela aplicação da tensão inversa, é suficiente para provocar, ele próprio, a quebra das ligações covalentes e, portanto, a rápida multiplicação dos portadores de carga.

Este tipo de ruptura é chamado de "ruptura Zener" e o ponto no qual ela se inicia é chamado "ponto de tensão Zener".

Nesse caso a corrente também aumenta bruscamente e a tensão no diodo se mantém quase constante.

Praticamente a ruptura por avalanche distingue-se da ruptura Zener, pelo seu coeficiente de temperatura. Costuma-se chamar de região de Zener ou tensão de Zener, à região e à tensão nas quais a corrente inversa cresce rapidamente e a tensão se mantém quase constante, qualquer que seja o motivo real da ruptura.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 12 Símbolos do diodo Zener

Como o diodo Zener possui mais de um símbolo para sua representação, vamos escolher para emprego em nosso curso o símbolo "D" da figura 12.

2.3 ESPECIFICAÇÕES DA TENSÃO ZENER

Existem diodos Zener comerciais, com tensão variando de alguns volts até centenas de volts. Para aplicações práticas deste dispositivo, é desejado que a região de ruptura seja bem definida e que a tensão se mantenha a mais estável possível, durante a ruptura. Por esse motivo, prefere-se fabricar diodos Zener de silício e não de germânio, pois estas características são mais definidas no Si, que no Ge.

Cada diodo Zener comercial possui sua tensão característica. Entretanto, esta tensão varia ligeiramente com a corrente, pois a característica não é exatamente vertical.

Vejamos a curva característica do diodo OAZ203, na figura 13. O fabricante fornece os seguintes dados:

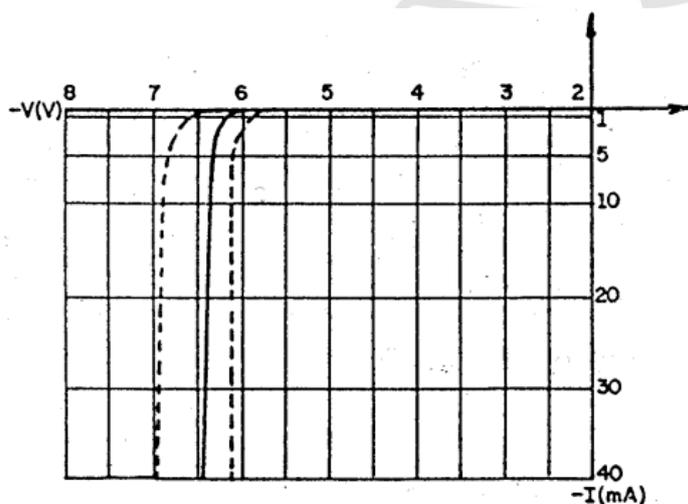
I_z = corrente de Zener

V_z = tensão de Zener

Para I_z de 1mA temos V_z de 6,2V

Para I_z de 5mA temos V_z de 6,3V

Para I_z de 20mA temos V_z de 6,4V



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 13 Curva característica inversa do diodo Zener OAZ203

Falamos anteriormente em tensão média, porque os valores da tensão Zener variam para o mesmo tipo de diodo, de unidade para unidade, dentro das tolerâncias de fabricação, que podem ser de 10%, 5%, 1%, ou ainda menores dependendo do tipo de diodo. Isto obriga o fabricante a fornecer os valores máximos e mínimos para a tensão Zener conforme mostra a figura 13.

Observe também na tabela a seguir, as características do diodo OAZ203, à 25° C.

Tensão Zener	Valores Típicos		
	Mínimo	Médio	Máximo
$I_z = 1\text{mA}$	$V_z = 5,8\text{V}$	6,2V	6,6V
$I_z = 5\text{mA}$	$V_z = 6,1\text{V}$	6,3V	6,8V
$I_z = 10\text{mA}$	$V_z = 6,1\text{V}$	6,4V	6,9V

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

2.4 IMPEDÂNCIA DINÂMICA

O fato da tensão Zener não se manter exatamente constante, com a variação da corrente inversa, indica que o diodo Zener não tem uma resistência nula, na região inversa, porém apresenta uma certa resistência, embora baixa. É a impedância dinâmica, que corresponde à inclinação da curva característica.

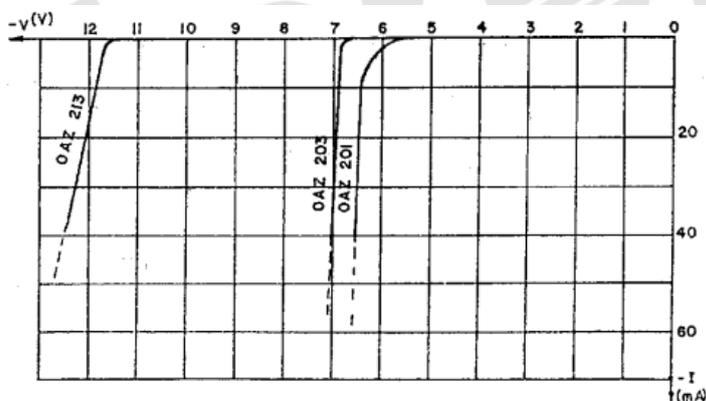
A impedância dinâmica também varia de diodo para diodo, dependendo de sua tensão Zener e, para um mesmo diodo, varia com a corrente.

Por exemplo, na figura 14, a curva característica do diodo OAZ201, para tensão Zener baixa, apresenta uma R_z de 340 ohms para uma I_z de 1 mA. Quando a corrente cresce, a curva característica se aproxima de uma linha vertical e a impedância dinâmica diminui. Ainda para o mesmo diodo temos: R_z de 40 ohms para I_z de 5 mA - R_z de 4,7 ohms para I_z de 20 mA - estes valores de R_z são os valores médios, correspondendo às tensões médias de Zener.

Para diodos de V_z mais elevadas, nas baixas correntes, R_z é mais baixa, porque o joelho da curva é quase reto: R_z de 21 ohms para I_z de 1 mA, para o diodo OAZ213.

Quando a corrente se eleva, a curva característica não é tão vertical, quanto àquela dos diodos de baixa tensão. A impedância é maior para diodos de alta tensão (7 ohms para 20 mA, para o diodo OAZ213).

Como do ponto de vista dos circuitos que utilizam o Zener, é geralmente mais interessante ter diodos, cuja impedância seja a menor possível, o projetista deve ter cuidado na hora da escolha do diodo e da corrente de operação, a fim de obter a mínima variação de tensão, quando a corrente se modifica.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 14 Curvas características de três diodos Zener

Efeito da Temperatura

Conforme já sabemos, muitas características dos dispositivos semicondutores dependem da temperatura. O efeito causador da ruptura determina o sentido da variação. Se a ruptura for por avalanche, a tensão Zener cresce com a temperatura, isto é, o coeficiente de temperatura é positivo. Se a ruptura for do tipo Zener, a tensão Zener decresce com a temperatura, o que equivale ao coeficiente negativo de temperatura.

Nas aplicações práticas, se a temperatura do equipamento onde é utilizado o diodo Zener variar, é importante saber qual será o sentido da variação da tensão Zener. Às vezes, deve ser procurado, um ponto onde a tensão não varie, ou pelo menos varie o mínimo possível (ponto de coeficiente nulo de temperatura).

O coeficiente de temperatura varia de diodo para diodo, pois depende da tensão Zener e, para um mesmo diodo, ele varia de acordo com a corrente de operação.

Os diodos Zener com tensões maiores que 6 volts têm coeficientes positivos de temperatura, enquanto que os de tensões menores que 4,5 volts têm coeficientes negativos de temperatura. Por exemplo, o diodo OAZ203, com tensão Zener de 6,3 volts, tem os seguintes coeficientes de temperatura: para I_z de 1mA, o coeficiente é de +0,5 mV/ grau centígrado, o que significa um acréscimo de 0,5 mV, para cada grau centígrado de aumento de temperatura. À medida que a corrente cresce, o coeficiente de temperatura também cresce.

Corrente	Coeficiente
5 mA	+ 1,7 mV/°C
20 mA	+ 2,6 mV/°C

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Para diodos de tensões mais elevadas, o coeficiente é também mais elevado. Vejamos, por exemplo, os coeficientes para o diodo OAZ213, com tensão Zener média de 12,2 V.

Corrente	Coeficiente
1 mA	+ 9,2 mV/°C
5 mA	+ 9,3 mV/°C
20 mA	+ 9,4 mV/°C

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Para diodos, cuja tensão Zener está compreendida entre 4,5 e 6 volts, o coeficiente de temperatura passa de negativo para positivo, à medida que a corrente cresce. O diodo OAZ201, com tensão média de 5,6 volts, tem os coeficientes a seguir.

Corrente	Coeficiente
1 mA	- 1,6 mV/°C
20 mA	+ 1,0 mV/°C

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Com estes dados que o fabricante fornece é possível fixar a corrente de operação, de tal modo que o coeficiente de temperatura seja o mais próximo de zero. Por exemplo, no caso do diodo OAZ201, poder-se-ia escolher uma corrente compreendida entre 5 e 20 mA, intervalo no qual o coeficiente de temperatura, passando do negativo para o positivo, em algum ponto se anulará.

2.5 LIMITAÇÕES DO DIODO ZENER

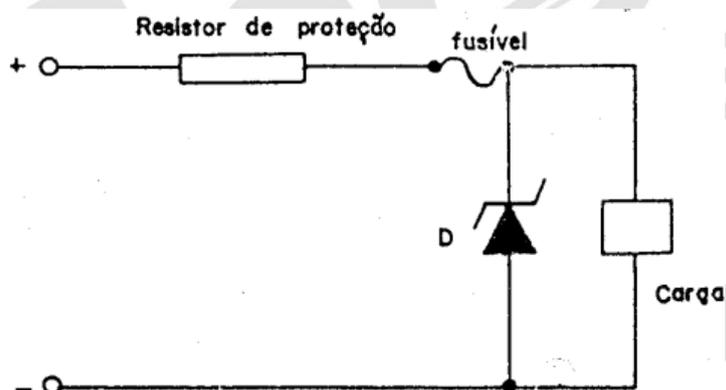
As limitações do diodo Zener são: a corrente máxima direta (caso venha a trabalhar naquela região), a corrente máxima inversa e a máxima dissipação. Esse último dado é muito importante e depende da temperatura na qual o diodo vai operar. Para os diodos de potência, depende também dos meios utilizados para dissipar o calor produzido, conforme já assinalamos no caso dos diodos retificadores e conforme será visto no apêndice.

Quando se necessita de tensão Zener elevada, é preferível, às vezes, colocar vários diodos de baixa tensão, em série, em vez de usar um diodo de alta tensão, pois esses últimos têm coeficiente de temperatura maior, impedância dinâmica maior e necessitariam ser de maior dissipação. Os diodos de baixa tensão, em série, podem ter dissipações mais baixas, por dividirem entre si a dissipação total.

Notamos que existem diodos Zener de tolerância muito pequena, em relação à tensão e de grande estabilidade, em relação à temperatura, que servem como elementos de referência de grande precisão. São constituídos geralmente de dois ou três diodos, em série, colocados no mesmo invólucro, sendo um ou dois no sentido direto, a fim de conseguir uma compensação dos efeitos de temperatura.

2.6 APLICAÇÕES DO DIODO ZENER

Inúmeras são as aplicações do diodo Zener, substituindo nos circuitos transistorizados, a válvula reguladora de tensão, sua correspondente em equipamentos. O aproveitamento da característica da região Zener (tensão constante com corrente variável) leva, com efeito, à aplicação mais importante do diodo Zener que é a regulação de tensão em fontes reguladas. Entre outras aplicações, citamos o seu emprego como chave, em circuitos limitadores, em circuitos de estabilização da polaridade de transistores, na proteção de circuitos e de medidores, na supressão de faísca e na regulação de tensão alternada.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 15 Diodo Zener em proteção de circuitos

Proteção de Circuitos

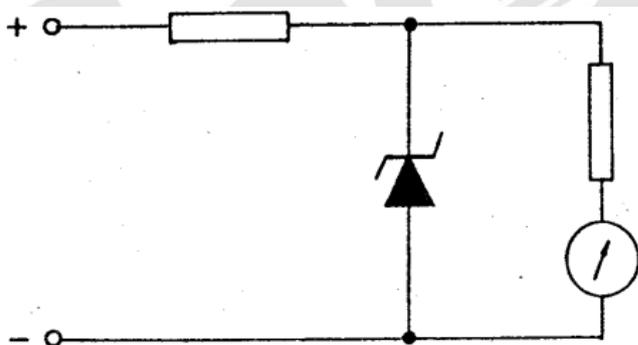
Os circuitos elétricos e eletrônicos costumam ser protegidos contra sobrecarga de tensão ou corrente por fusíveis que interrompem a corrente quando esta ultrapassar um valor prefixado.

Em certos casos, torna-se difícil escolher um fusível que interrompa o circuito no momento de uma sobrecarga e, ainda assim, não chegar a fundir quando operado continuamente no valor máximo de corrente perto da sobrecarga.

Uma solução para esse problema consiste em escolher um fusível que esteja afastado do ponto de fusão, quando o circuito opera no valor máximo de corrente e colocar em paralelo com a carga um diodo Zener com tensão um pouco superior à tensão máxima permissível para a carga, como mostrado na figura 15.

Havendo uma elevação da tensão, essa tensão é ultrapassada, é atingida a tensão Zener, o diodo oferece uma resistência muito menor que a carga, a corrente aumenta muito e funde o fusível que abre o circuito.

Uma aplicação baseada no mesmo princípio exposto acima é a proteção de medidores com diodo Zener. Para evitar que uma tensão alta demais possa ser aplicada inadvertidamente a um medidor colocado em uma escala baixa, que poderia danificar o sensível sistema de medição, coloca-se um diodo Zener em paralelo com o medidor, cuja tensão seja um pouco maior que a tensão máxima aceitável. Se esta tensão for ultrapassada, o diodo Zener a conduzirá e toda a corrente passará por ele, deixando o medidor fora do circuito. Veja a figura 16.



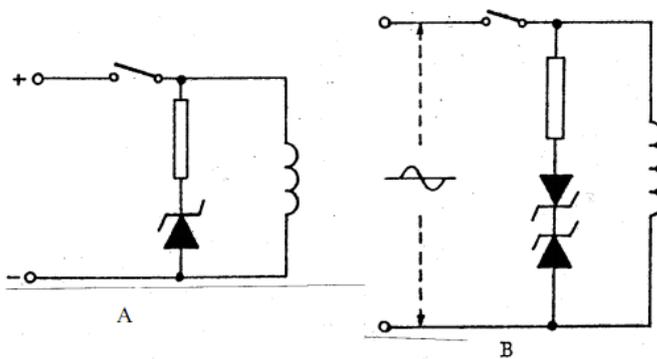
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 16 Diodo Zener como proteção de medidores

Supressão de Faíscas

Quando são interrompidos circuitos em que existem cargas indutivas (transformadores, relés, solenoides), aparecem oscilações transitórias, com amplitudes que podem ultrapassar o valor normal de funcionamento e provocar faíscas nos contatos do interruptor.

Para evitar a aplicação dessas altas tensões ao circuito e o faiscamento dos contatos, pode-se colocar um diodo Zener em paralelo com a carga indutiva, com um resistor de proteção em série, para absorver a oscilação, tanto com alimentação CC (figura 17 A) ou CA (figura 17 B).



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

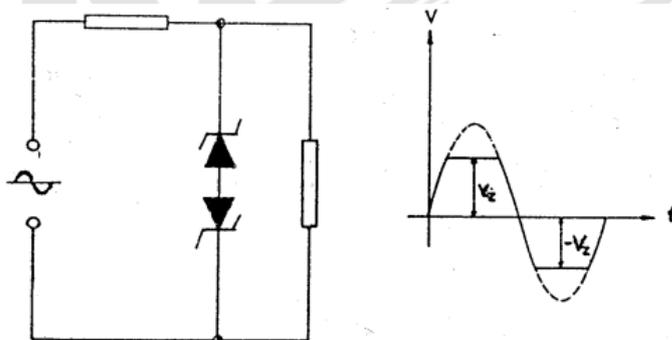
Figura 17 Diodo Zener como supressor de faíscas

Regulação da Tensão Alternada

Quando a rede de alimentação (CA) varia a sua tensão, o efeito pode ser prejudicial em muitos casos, citando-se como exemplo, a alimentação de lâmpadas fornecedoras de luz para células fotoelétricas, porque uma ligeira variação na tensão da rede modifica a intensidade luminosa da lâmpada e a resposta da célula fotoelétrica.

Para diminuir essas variações, usam-se dois diodos Zener, em oposição (figura 18). Na alternância positiva, o diodo de cima entra na região Zener, quando a tensão alternada iguala a tensão de ruptura, estando o outro diodo sempre polarizado diretamente e funcionando praticamente como um curto-circuito.

Na alternância negativa, o diodo de cima funciona como um curto e o outro limita a tensão no valor Zener. Quando a tensão de CA altera seu valor, seja para mais ou para menos, os diodos Zener limitam a onda de tensão sempre nos mesmos valores, fixados pelas suas tensões Zener.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 18 Diodos Zener em circuito de regulação de tensão alternada

Características a 25° C									
Diodo	Tensão Zener			Para corrente Zener -I (mA)	Impedância dinâmica R (Ω)	Para corrente Zener -I (mA)	Coeficiente de temperatura (mV/°C)	Para corrente Zener -I (mA)	Dissipação (mW)
	Mínima (V)	Média (V)	Máxima (V)						
BZZ10	5,3	6,0	6,6	1	27	5	+ 1,0	5	280
OAZ201	5,2	5,6	6,0	5	45	5	- 0,6	5	320
OAZ202	5,6	6,0	6,3	5	24	5	+ 0,6	5	320
OAZ203	6,1	6,3	6,8	5	9,5	5	+1,7	5	320
OAZ213	9,4	12,2	15,3	5	12	5	+ 9,3	5	320
BZZ14	5,3	5,6	6,0	20	<13	20	Min.Max. - 0,4 +2,5	20	8W

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 20 Quadro comparativo de alguns diodos Zener da IBRAPE

2.8 REGULADOR ELETRÔNICO DE TENSÃO

No estudo anterior sobre reguladores com Zener, pudemos ver que, embora o Zener regule a tensão, razoavelmente, há necessidade de se elaborar um circuito mais complexo que resulta da combinação de diodos Zener e de transistores.

Esta combinação apresenta como resultado uma regulação quase perfeita.

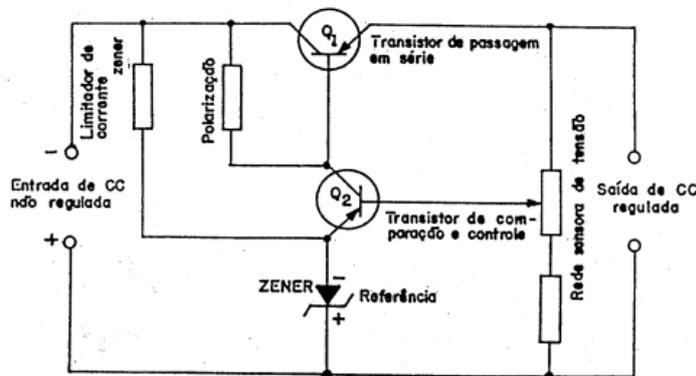
O regulador que vamos estudar nesta unidade é um regulador eletrônico em série.

Uma tensão bastante constante na saída, às vezes torna-se necessária, pois existem equipamentos bastante sensíveis, nos quais um mínimo de variação na sua alimentação é o bastante para que afete o seu funcionamento ideal.

Funcionamento

O circuito que analisaremos a seguir é um dispositivo conhecido como regulador em série. Observe que o transistor Q_1 está ligado diretamente ao terminal negativo da fonte de força não regulada. O terminal positivo passa diretamente para a saída do regulador. O transistor Q_1 é denominado "transistor de passagem" e sua resistência depende do grau de polarização direta.

Quando sua base se faz mais negativa, com respeito ao emissor, sua resistência diminui.



Fonte: IAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 21 Regulador em série

A tensão de entrada está dividida entre a rede sensora e o transistor em série com esta rede. O resistor de passagem se comporta como um resistor variável. Toda variação de tensão que poderia ocorrer na saída ocorre na V_{CE} de Q_1 .

Q_2 é denominado "transistor de controle" e determina a quantidade de polarização de base de Q_1 e, portanto, a resistência em série de Q_1 .

A tensão de entrada do regulador é sempre maior que a tensão requerida para a saída. Observe que o potenciômetro e o resistor em série com Q_1 ligam-se diretamente aos terminais de saída de CC. Estes resistores são conhecidos como "rede sensora" ou "detectora de tensão".

Quando diminui a corrente contínua de carga, a tensão contínua de saída tende a aumentar. À medida que há esse aumento, a rede detectora varia a polarização da base de Q_2 e isto torna a base mais positiva. Como consequência, a resistência de Q_1 aumenta, para compensar a tendência ao aumento da tensão de saída.

Quando a carga requer uma corrente considerável, a tensão da rede sensora tende a diminuir, variando a polarização de Q_2 , de tal forma que a base de Q_1 torna-se mais negativa. Assim, a resistência de Q_1 diminui, reduzindo a queda de tensão em Q_1 , compensando a tendência de diminuir a tensão de carga.

O diodo Zener possui duas funções. A primeira é regular as variações na tensão contínua de entrada, como já foi visto anteriormente. A segunda e mais importante função é manter uma tensão constante no emissor de Q_2 . Esta tensão é quase igual a normal que se desenvolve na base de Q_1 , mediante a rede sensora.

Quando a tensão contínua de saída tende a aumentar ou diminuir, a diferença entre esta tensão de referência e a da rede sensora, controla a corrente de base de Q_1 , assim pois, a resistência de Q_1 varia em forma ascendente ou descendente, dependendo da forma de variação da tensão de entrada, para mais ou para menos, com a variação da corrente de carga ou com a variação da tensão de linha.

Este tipo de regulador possuía vantagem de poder regular maiores tensões contínuas de saída, com mais capacidade de corrente que o regulador que usa apenas o diodo Zener. Este tipo de regulador permite fazer variar a tensão regulada, para alguns valores desejados.

2.9 RESUMO

O diodo Zener é um dispositivo semicondutor de dois terminais, projetado para funcionar na região inversa da curva característica.

Região Zener é a região onde a corrente de Zener aumenta e a tensão permanece constante.

Cada diodo Zener possui sua tensão característica.

Existem dois tipos de ruptura: uma por avalanche e outra por Zener.

É desejável escolher-se diodos, cuja impedância dinâmica seja a menor possível.

Se a ruptura for por avalanche, a tensão Zener cresce com a temperatura. Se a ruptura for do tipo Zener, a tensão Zener decresce com a temperatura.

Diodos Zener com tensões acima de 6 V possuem coeficientes de temperatura positivos.

Diodos Zener com tensões abaixo de 4,5V possuem coeficientes de temperatura negativos.

Para diodos, cuja tensão Zener está compreendida entre 4,5 e 6 volts, o coeficiente de temperatura passa de negativo para positivo, à medida que a corrente cresce.

As limitações do Zener são corrente máxima direta, corrente máxima inversa e a máxima dissipação.

O Zener é o substituto da válvula reguladora de tensão (VR).

A principal aplicação do Zener é como regulador de tensão.

O regulador eletrônico é uma combinação de dispositivos semicondutores que regulam com bastante precisão tensões de corrente contínua.

Em um regulador eletrônico, o diodo Zener possui duas funções: fornecer uma tensão de referência para a base do transistor de controle e regular as variações da tensão de entrada.

Os resistores na saída do regulador constituem a rede sensora ou detectora de tensão. É possível variar a tensão de saída regulada, através do controle do potenciômetro ligado à base do transistor de controle.

A figura 22 apresenta o aspecto externo de um diodo Zener.



Fonte: http://serialink.com.br/loja/product_info.php?products_id=185

Figura 22 Diodos Zener



Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.



Fonte: <http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1532-todos-os-tipos-de-sensores>

MÓDULO III

DIODOS ESPECIAIS

APRESENTAÇÃO

Caro aluno,

Uma das vantagens da microeletrônica é a versatilidade na confecção dos mais diversos tipos de dispositivos. Os diodos, que basicamente são dispositivos que permitem a passagem de corrente em um sentido e oferecem resistência extremamente elevada no sentido oposto, são exemplos de dispositivos que podem ser concebidos de diversas formas.

Neste capítulo, você conhecerá diodos especiais, que podem ser utilizados não apenas como controladores de fluxo de corrente, mas também como sensores e até mesmo para emitir luz. Sua aplicação na aviação é muito ampla.

3.1 THYRISTORES (SCR)

O Thyristor é um comutador quase ideal, é retificador e amplificador ao mesmo tempo. Constitui-se um componente de escolha para a eletrônica de potência. Concebido, originalmente para substituir a válvula "thyatron" à gás, o thyristor se impôs, rapidamente, em diversos domínios, cujos mais importantes são a comutação pura e simples, a variação de velocidade dos motores e a variação da intensidade luminosa.

O thyristor permanece normalmente bloqueado, até o momento em que se deseja que ele se torne condutor.

O termo "thyristor" designa uma família de elementos semicondutores, cujas características, originalmente, estão próximas às das antigas válvulas thyatrons. O nome thyristor é uma contração de THYRatron e transISTOR.

Os thyristores, também conhecidos por SCR (Silicon Controlled Rectifier) são elementos unidirecionais a três saídas (anodo, cátodo e gatilho).

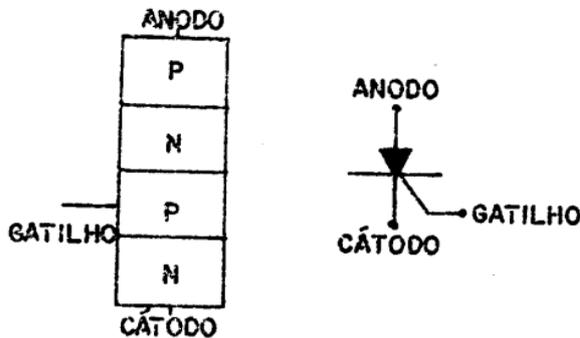
Os TRIACS, são chamados "thyristores triodos bidirecionais". O nome Triac provém da contração de "TRIode AC Switch".

Fazem parte ainda da família dos thyristores, os fotothyristores ou thyristores fotossensíveis, os thyristores bloqueáveis, os comutadores unilateral e bilateral SUS e SBS (Silicon Unilateral Switch e Silicon Bilateral Switch, respectivamente) e o diodo Shockley, também conhecido por diodo thyristor ou diodo de quatro camadas.

Estrutura e Símbolo do Thyristor

O thyristor é um semicondutor de silício a quatro camadas alternadas.

Duas conexões principais são realizadas para o anodo e o cátodo. A condução, no sentido direto (corrente de cátodo para anodo) é comandada por um eletrodo, chamado gatilho (em inglês - gate). Após a aplicação de um sinal de comando no gatilho, o thyristor deixa passar por ele uma corrente unidirecional, isto é, só num sentido. A exemplo dos diodos comuns, o sentido é, repetimos, do cátodo para o anodo.



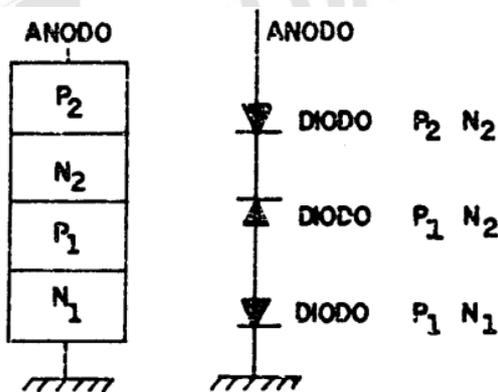
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 23 Estrutura e símbolo do thyristor

Thyristor sob Tensão

O thyristor pode ser comparado com dois diodos, montados em oposição, conforme mostrado na figura 24.

Para simplificação da análise que se segue, vamos admitir que o cátodo está ligado à massa e o gatilho está desligado, isto é, no ar.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 24 Comparação do thyristor com diodos

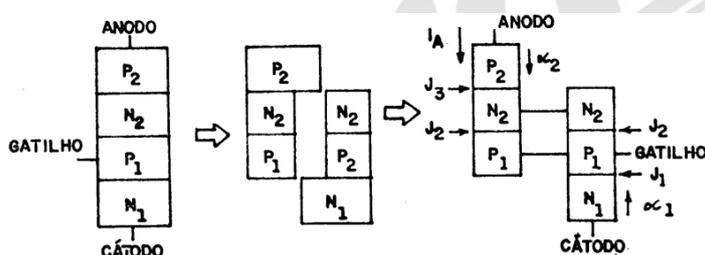
As camadas P_1N_2 formam o diodo em oposição, que assegura a não condução do dispositivo. Se o anodo está positivo, os diodos P_2N_2 e P_1N_1 estão polarizados diretamente, porém, o diodo P_1N_2 bloqueia a condução. Se, ao contrário, o anodo é negativo, os diodos P_2N_2 e P_1N_1 estão polarizados inversamente. Por causa da tensão de avalanche de P_1N_1 ser baixa, a limitação da corrente inversa de fuga é feita por P_2N_2 . Na prática, a tensão máxima é limitada

pela tensão de avalanche dos diodos P_2N_2 e P_1N_1 . Neste caso, só haverá condução se a tensão inversa alcançar a tensão de ruptura dos diodos, o que poderá danificá-lo.

Thyristor sob Tensão Direta

O comportamento do thyristor é melhor compreendido se fizermos uma analogia com dois transistores PNP e NPN.

Veja a figura 14-3.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 25 Thyristor sob tensão direta

Estes dois transistores são montados de modo que uma realimentação positiva seja realizada. Suponhamos que a região P_2 seja positiva em relação à região N_1 . As junções J_3 e J_1 ficam polarizadas diretamente e deixam passar, respectivamente, os portadores positivos e negativos para as regiões N_2 e P_1 . Estes, após se espalharem pelas bases de cada um dos transistores, alcançam a junção J_2 , onde a carga espacial cria um intenso campo.

Se α_2 é o ganho de corrente, que dá a fração da corrente de buracos injetados no emissor e que atinge o coletor do PNP, e se de outra parte α_1 é o ganho de corrente, que dá a fração de corrente de elétrons injetados no emissor e que atinge o coletor do NPN, podemos escrever que:

$$I_{C2} = I_A \cdot \alpha_2 \text{ e } I_{C1} = I_A \cdot \alpha_1$$

A corrente total de anodo é, evidentemente, a soma de I_{C1} e I_{C2} , as quais se somam à corrente de fuga residual (I_{CX}), através da junção central. A I_A será então:

$$I_A = \alpha_1 \cdot I_A + \alpha_2 \cdot I_A + I_{CX} \quad \text{que nos dá:}$$

$$I_A = \frac{I_{CX}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

Para a maioria dos transistores de silício, o ganho é baixo para as baixas correntes e cresce muito quando a corrente aumenta. Portanto, se I_{CX} é baixa, o denominador da equação anterior está próximo de 1 (para as pequenas correntes), e a corrente I_A permanece um pouco superior à corrente de fuga.

A estrutura PNP, ainda que polarizada diretamente, está bloqueada e oferece uma grande impedância à passagem da corrente.

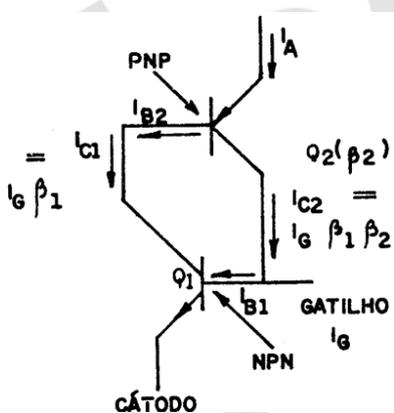
Quando, por qualquer razão, I_{CX} aumenta, a corrente e os ganhos aumentam também. A soma $\alpha_1 + \alpha_2$ tende para 1 e a corrente I_A tende para o infinito. Em realidade, ela toma um valor bem elevado, que é limitado somente pelo circuito exterior. O thyristor está então no estado de condução, dizendo-se então que ele está desbloqueado.

Observação: Este tipo de disparo do thyristor é desaconselhado na maioria dos casos.

Princípio de Disparo pelo Gatilho

O disparo do thyristor pelo gatilho é o mais comumente utilizado. A explicação será mais clara, se observarmos a figura 26.

O thyristor estando polarizado diretamente, uma impulsão positiva (I_G) de comando será injetada no gatilho. O transistor Q_1 , recebendo a I_G , como corrente de base, tem sua corrente de coletor igual a $I \cdot \beta_1$, onde β_1 é o seu ganho de corrente (montagem emissor comum). Esta corrente é, por sua vez, injetada na base do transistor Q_2 , que produz uma I_{C2} igual a $I_G \cdot \beta_1 \cdot \beta_2$, onde β_2 é o ganho de corrente de Q_2 . Esta corrente é então reaplicada à base de Q_1 . Duas situações podem ocorrer:



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 26 Disparo pelo gatilho

Se o produto $\beta_1 \cdot \beta_2$ for menor que 1, o dispositivo não será disparado.

Se o produto $\beta_1 \cdot \beta_2$ tender à unidade (1), o processo de amplificação irá se manifestar e o thyristor irá conduzir.

Desde que o disparo do thyristor ocorreu, a realimentação dos transistores os faz conduzir à saturação. Eles se mantêm neste estado, mesmo que a impulsão inicial do gatilho desapareça e que o circuito exterior mantenha a corrente I_A .

Como um Thyristor Pode Ser Disparado

Como já vimos, o thyristor dispõe dos seguintes estados: bloqueado, quando polarizado diretamente e não tenha sido disparado; bloqueado, quando polarizado inversamente; condutor, se polarizado diretamente e tenha sido disparado.

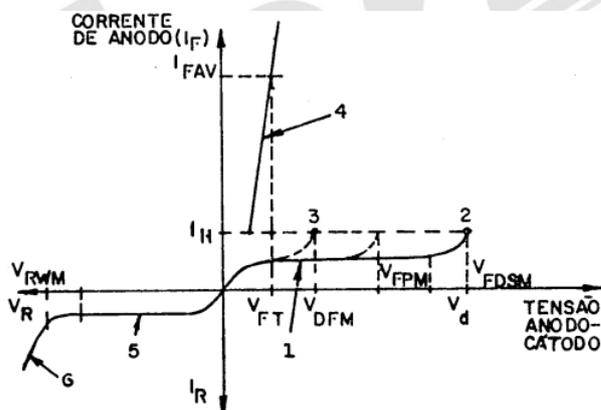
Quando o thyristor passa do estado bloqueado para o de condutor, é porque o transistor de silício teve um ganho de corrente, o qual fez aumentar a corrente de emissor. Consequentemente, todos os mecanismos capazes de provocar um aumento da corrente I_E são utilizados. Os principais são:

1. TENSÃO - Quando a tensão cátodo-anodo do thyristor aumenta, chega a um ponto onde a corrente de fuga é suficiente para provocar um crescimento abrupto da I_E . Este modo de disparo é principalmente empregado com diodos de quatro camadas (diodos-thyristores).
2. AUMENTO DA TENSÃO - Sabemos que toda junção PN apresenta uma certa capacitância de junção. Se aplicarmos uma tensão brusca entre anodo e cátodo, carrega-se esta capacitância com uma corrente proporcional à variação de tensão e logo que esta tensão seja suficiente, o thyristor dispara.
3. TEMPERATURA - A corrente inversa de fuga em transistor de silício, aumenta com o aumento da temperatura. Quando a corrente de fuga for suficiente, teremos o disparo do thyristor.
4. EFEITO TRANSISTOR - É o modo clássico de disparar um thyristor, injetando-se portadores suplementares na base do transistor equivalente, ou seja, no gatilho do thyristor.

5. EFEITO FOTOELÉTRICO - Provocando-se a criação de pares elétronlacuna, um foco de luz pode disparar um thyristor. Neste caso utiliza-se um fotothyristor; que consiste em um tipo de thyristor, no qual existe uma "janela", ou seja, uma lente transparente aos raios luminosos.

3.2 CURVA CARACTERÍSTICA DE UM THYRISTOR

A curva típica de um thyristor, elemento unidirecional, é mostrada na figura 27. Ela representa a corrente I_A em função da tensão anodo-cátodo.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 27 Curva característica de um thyristor

V_F = Tensão direta em bloqueio;

V_{FDSM} = Valor máximo de tensão direta (em bloqueio);

V_{FT} = Tensão sobre o thyristor desbloqueado (em condução);

I_H = Corrente mínima de condução;

V_R = Tensão inversa;

V_{RWM} = Tensão máxima inversa.

(1) Quando a tensão "V" é nula, a I_A também será nula. A tensão "V", ao crescer no sentido direto, será denominada V_F ("F" de forward, em inglês).

(2) É necessário atingir um valor mínimo (V_d), para disparar o thyristor.

(3) Se aplicarmos uma corrente de comando no gatilho, deslocaremos o ponto V_D para a esquerda. Ver a figura 14-5.

(4) Nesse momento, o thyristor torna-se condutor e a queda de tensão entre seus bornes diminui, enquanto que a corrente I_A aumenta. Esta corrente direta será denominada I_F .

(5) Se polarizarmos inversamente o thyristor, com a aplicação de uma tensão V_R ("R" de reverse, em inglês), observa-se o aparecimento de uma pequena corrente de fuga (I_R),

(6) até que uma tensão máxima inversa que se for aplicada ao thyristor o destruirá.

O thyristor é, portanto, condutor somente no primeiro quadrante. Note-se que o disparo direto foi provocado pelo aumento da tensão direta.

Disparo do Thyristor (SCR)

O processo de disparo pode ser considerado separadamente do mecanismo de condução do anodo.

O desempenho do circuito de controle dependerá, porém, sob certo aspecto, do circuito do anodo.

Um SCR nunca disparará, se o circuito do anodo limitar a sua corrente a um valor menor que I_H (corrente de manutenção). Com correntes de anodo inferiores a I_H , um SCR comportar-se-á como um transistor. Quando a corrente de disparo for interrompida, a corrente de anodo cessará.

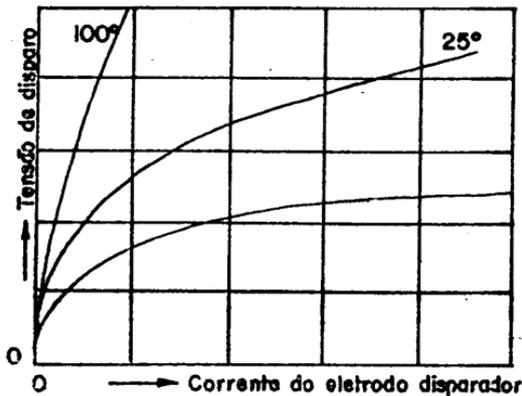
Entre os terminais de disparo e de cátodo, há uma junção PN. Esta junção comporta-se como um diodo e suas características são pouco afetadas pela presença das outras duas camadas, mesmo quando existe uma diferença de potencial entre anodo e cátodo.

A figura 28 mostra uma característica típica do - diodo **gatilho cátodo**, obtida com a aplicação de uma tensão positiva ao primeiro eletrodo.

A curva se aplica para as condições "ligado" e "desligado" do SCR, já que a alteração de impedância entre ambas é pequena.

A característica de impedância varia com a temperatura, para diferentes SCR do mesmo tipo, mas, sempre dentro dos limites apresentados nas publicações.

Na figura 28, podemos ver a característica desse diodo em diferentes temperaturas.



Fonte: IAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

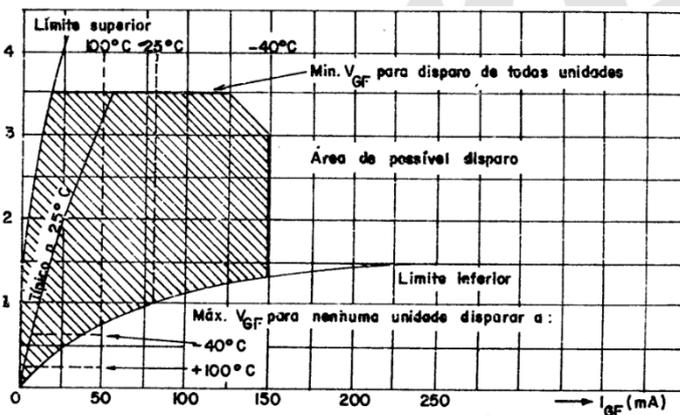
Figura 28 Variações da característica de impedância em temperaturas diferentes

Consideremos um SCR com a característica de impedância conforme a figura 28. Se uma tensão positiva for aplicada entre o anodo e o cátodo, e a tensão dos disparados for aumentada, a corrente deste eletrodo aumentará segundo a curva da figura 28.

Em certo ponto da curva haverá o disparo e este ponto é bastante independente da tensão do anodo, isto é, quando a I_{GF} atingir o valor de disparo, o SCR disparará, qualquer que seja a tensão positiva do anodo.

Evidentemente há um valor de potencial mínimo de **não disparo**.

Os valores de corrente e tensão do gatilho, em que há o disparo, variarão de um a outro SCR do mesmo tipo, isto se deve à variação da impedância do gatilho, entre os limites mostrados na figura 29 e à diferença de sensibilidade entre os SCR's.

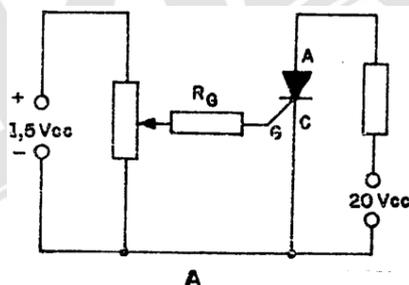


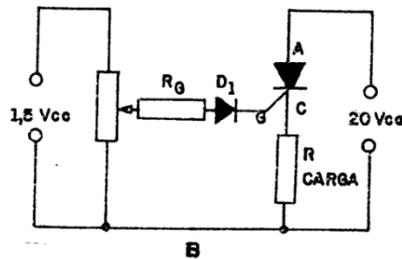
Fonte: IAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 29 Limites da variação da impedância do gatilho

Fora da área hachurada da figura 29 e dentro dos limites de R_G , quaisquer valores de corrente e de tensão dispararão qualquer SCR desse tipo particular. Tensões e correntes que se localizem no interior da área hachurada dispararão alguns, mas não todos os diodos da série. Os limites da área de disparo eventual são definidos, com referência às características mostradas na figura 29, na seqüência a seguir.

1. LIMITES DE TENSÃO - A tensão limite é a requerida para disparar o SCR, que é menos sensível à tensão, na mais baixa temperatura de operação. Em temperaturas mais altas, a variação da tensão requerida não é muito grande e é possível simplificar o diagrama, considerando a tensão constante e igual à requerida na mais baixa temperatura de operação.
2. LIMITES DE CORRENTE - A corrente limite é a requerida para disparar o SCR menos sensível à corrente, na mais baixa temperatura de operação. Nas mais altas temperaturas é requerida menor corrente e os limites para -40, +25 e +100 graus centígrados são mostrados na figura 29.
3. LIMITES DE BAIXO NÍVEL - Estes limites indicam níveis de tensão, abaixo dos quais nenhum SCR disparará, nas temperaturas indicadas. As características discutidas até agora determinam o limite inferior do nível de disparo, sob todas as condições. O limite superior é determinado por uma combinação da potência média de disparo (pico de disparo), e das máximas correntes e tensões diretas do gatilho.
4. MÉTODOS DE DISPARO DO SCR - Um circuito de disparo, quando bem projetado, deve disparar o SCR sem exceder a qualquer dos valores máximos de tensão e corrente do componente.
 - a) Disparo por corrente contínua - Quando o valor da tensão entre o gatilho e o cátodo, isto é, V_G atingir o valor de disparo, o SCR conduzirá. Se a tensão V_G for reduzida a zero, o SCR continuará a conduzir, por causa da baixa impedância de sua estrutura interna.





Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional
 Figura 30 Disparo por corrente contínua

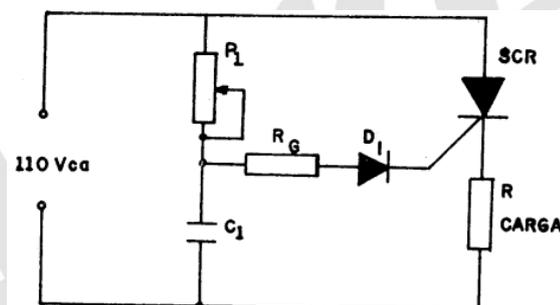
O SCR será bloqueado se a tensão positiva de anodo for reduzida até que a corrente de anodo seja menor que I_H .

No circuito da figura 30 B, a carga a ser alimentada foi colocada no circuito do cátodo (a carga está representada por um resistor). Neste caso, quando o SCR dispara, a tensão no cátodo se torna mais positiva que a tensão no gatilho. O diodo D_1 é, então, colocado no circuito de porta (ou gatilho) para evitar a sua ruptura.

Se a tensão que alimenta o anodo for de corrente alternada, o SCR conduzirá durante as alternâncias positivas e bloqueará, sempre que a tensão de anodo cair abaixo da tensão de manutenção.

- b) Disparo por corrente alternada - Se o anodo de um SCR for alimentado com tensão alternada, o disparo poderá ser efetuado também com tensão de CA.

Neste caso pode-se obter um melhor controle da energia consumida na carga. O circuito básico de controle de energia com SCR é visto na figura 31.



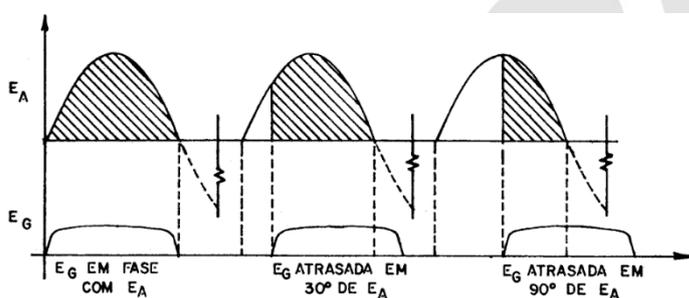
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional
 Figura 31 Disparo por corrente alternada

Podemos observar que a tensão do gatilho (V_G) pode sofrer um deslocamento de fase, com relação à fase da tensão no anodo. Este deslocamento de fase é efetuado pela rede $R_1 C_1$. Devido a este

deslocamento de fase, a corrente através do SCR pode circular durante um tempo menor do que 180° do ciclo da tensão aplicada.

Através do gráfico da figura 32 podemos ver o trabalho do SCR. Vemos em E_A a alternância positiva da tensão aplicada no circuito. E_G é a tensão entre gatilho e cátodo e conforme o valor de R_1 poderá estar atrasada de E_A , num ângulo de 0° a 90° .

Podemos ver, ainda, como pode ser variado o tempo de condução do SCR, pelo deslocamento da fase de E_G . O controle da fase entre E_G e E_A , no circuito da figura 31, é efetuado através do potenciômetro R_1 .

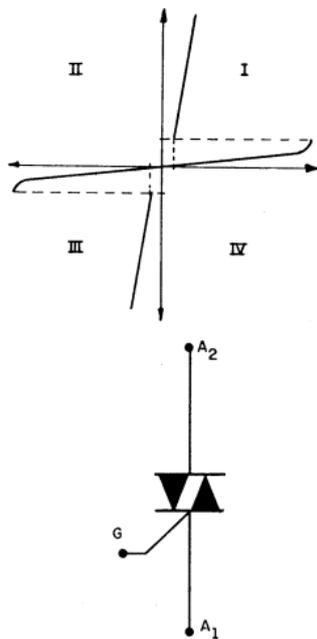


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 32 Trabalho do SCR

3.3 O TRIAC

O triac é um dispositivo semicondutor a três eletrodos, sendo um de comando (o gatilho) e dois de condução principal. Este dispositivo pode passar de um estado bloqueado a um regime de condução nos dois sentidos de polarização e voltar ao estado bloqueado, por inversão da tensão ou pela diminuição da corrente, abaixo do valor da corrente de manutenção (I_H).



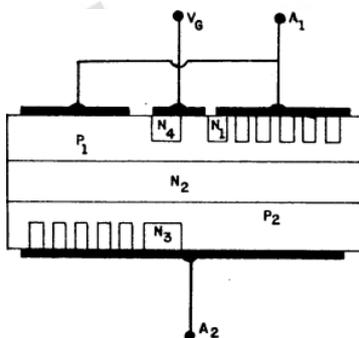
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 33 Curvas e símbolo do triac

O triac é, portanto uma versão bidirecional do thyristor. Em sua representação elétrica, podemos compará-lo com associação antiparalela de dois thyristores.

Estrutura do Triac

Para se realizar um triac, recorre-se a diversas estruturas de camadas espalhadas, como na figura 34.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 34 Estrutura de um triac

As junções N_1P_1 e N_2P_2 constituem um Thyristor, e as junções N_3P_2 e N_2P_1 constituem o outro. As junções N_4P_1 e N_2P_2 formam o thyristor de disparo.

O Disparo do Triac

Se nós aplicarmos a tensão V_1 ao anodo A_1 , V_2 ao anodo A_2 e a tensão V_G ao gatilho, e se tomarmos V_1 como referência de massa ($V_1 = 0$), podemos definir quatro quadrantes de polarização. Veja na figura 35.

QUADRANTE	V_2	V_G
I	+	+
II	+	-
III	-	-
IV	-	+

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

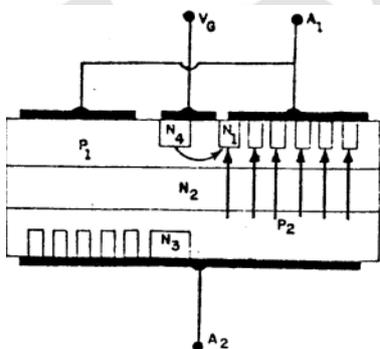
Figura 35 Quadrantes de polarização

Disparo no Primeiro Quadrante (+ +)

O triac dispara como um thyristor normal. A zona P_1 é o gatilho e a junção N_1P_1 injeta os portadores, disparando o thyristor entre P_2 e N_1 (Ver na figura 36)

A corrente de disparo I_G mínima é função da repartição das lacunas entre N_1 e P_1 , ou seja, do valor da resistência "R" shunt entre o gatilho e A_1 .

Neste quadrante, o thyristor se comporta como um thyristor $N_1P_1N_2P_2$.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 36 Esquema de um triac

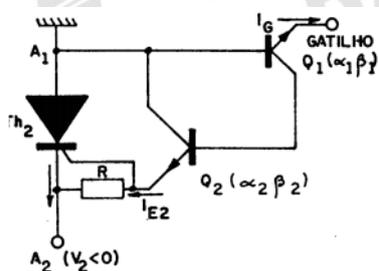
Disparo do Segundo Quadrante (+ -)

A corrente de disparo circula de P_1 para N_4 e dispara o thyristor $N_4P_1N_2P_2$ (figura 36). Devido à geometria, a corrente principal de $N_4P_1N_2P_2$ polariza as bases P_1N_2 e o thyristor $N_1P_1N_2P_2$ conduz. Este último tendo uma impedância mais baixa abre $N_4P_1N_2P_2$ (por I_H), salvo se a corrente de gatilho for mantida. Assim, a corrente principal, flui como para o primeiro quadrante, entre P_2 e N_1 .

Disparo do Terceiro Quadrante (- -)

Neste caso, a situação é um pouco mais complexa. Usemos como referência o esquema da figura 36.

O potencial de P_1 é superior ao de N_1 . A junção P_1N_4 está, portanto polarizada diretamente e injeta seus portadores. O thyristor que iremos disparar é composto das camadas $N_3P_2N_2P_1$ (cátodo em N_3 e anodo em P_1).



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 37 Disparo do terceiro quadrante

A junção de gatilho efetiva deste thyristor é o diodo N_3P_2 e para que ocorra o disparo é, portanto necessário, que N_3P_2 injete seus portadores. Uma melhor compreensão será possível, através da figura 37.

O transistor Q_1 é formado das camadas $N_4P_1N_2$ e T_2 das camadas $P_2N_2P_1$. O resistor "R" é a impedância entre N_3 e P_2 . Para que o thyristor Th_2 dispare, é necessário que a corrente de emissor de Q_2 atravessando R polarize suficientemente a junção gate-cátodo de Th_2 .

Temos, portanto:

$$I_{B2} = \alpha_1 \cdot I_G$$

$$I_{E2} = \beta_2 I_{B2} = \alpha_1 \beta_1 I_G \text{ onde:}$$

I_{E2} é a corrente de gatilho real de Th_2 ;

I_G é a corrente injetada no gatilho do triac.

Nota-se que o transistor Q_1 tem suas junções emissor-base e coletor-base polarizadas diretamente, estando, portanto saturado e α_1 é um "alfa" forçado. Portanto, de um modo geral, $\alpha_1 \beta_2$ não é muito diferente da unidade, se bem que os triacs têm neste quadrante, sensibilidades próximas às dos quadrantes precedentes.

Em conclusão: Th_2 é disparado por uma corrente I_{E2} , criada através dos transistores Q_1 e Q_2 por I_G .

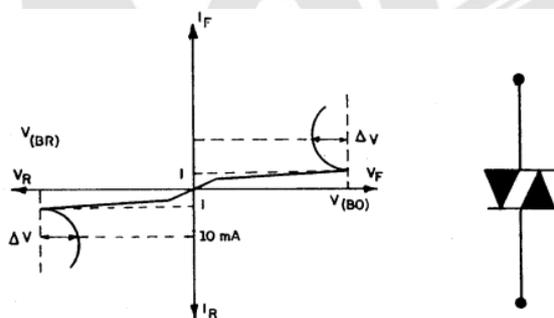
Disparo no Quarto Quadrante (- +)

O processo de disparo é idêntico ao do terceiro quadrante, sendo que a camada N_1 faz o que no terceiro quadrante foi feito pela camada N_4 . Entretanto, a zona de $N_3P_2N_2P_1$ susceptível de disparar é fisicamente grande e, portanto, a sensibilidade será reduzida.

3.4 DIAC

O Diac é um elemento simétrico, que conseqüentemente não possui polaridade. Sua etimologia é a contração de "Diode Alternative Current". Sua estrutura é muito simples, sendo bastante similar à de um transistor bipolar. A diferença é que a concentração de impurezas é aproximadamente a mesma em ambas as junções e que não existe nenhum contato na camada que no transistor constitui a base.

As concentrações iguais de impurezas resultam em características de bloqueio-condução, segundo a figura 38.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 38 Curvas características e símbolo do Diac

A tensão de retorno é geralmente próxima de 30 volts. Tensões mais baixas são difíceis de se obter, com uma resistência negativa suficiente, enquanto que valores mais elevados reduziriam as possibilidades de controle.

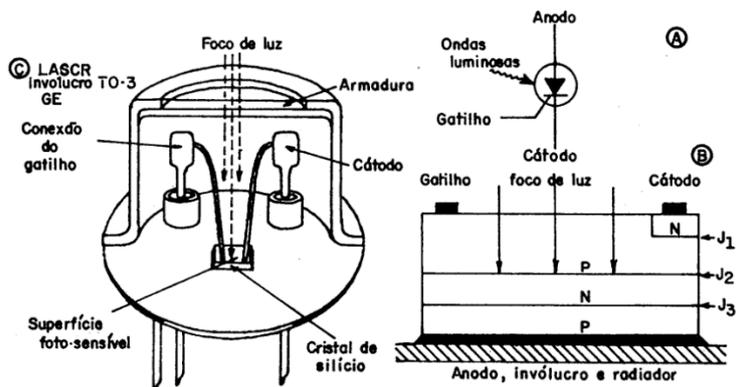
Quando se aplica uma tensão positiva ou negativa sobre os terminais de um Diac, se produz um fluxo muito pequeno de corrente de fuga $I(BO)$, até que a tensão chega no ponto de ruptura $V(BO)$. Neste momento, a junção polarizada inversamente sofre uma ruptura por avalanche e acima deste ponto, a característica "tensão x corrente" equivale a uma resistência negativa, ou seja, a corrente aumenta consideravelmente enquanto a tensão diminui.

Os Diacs são muito usados em dispositivos de disparo para controle de fase de Triacs (em controles graduais de luminosidade), controle de velocidade de motores universais, controle de calefação, e diversas outras aplicações similares.

3.5 FOTOTHYRISTORES

Para disparar um thyristor, injeta-se uma corrente na base de um dos transistores que o constitui, o que leva à saturação. Pode-se ainda dispará-lo, criando-se através da luz, uma corrente em sua base. Para isto, criamos pares de elétrons-lacunas que serão separados por um campo elétrico ao nível da junção, e que são injetados na base do transistor considerado, sob a forma de portadores majoritários, criando assim a corrente de base. Quanto maior for o número de elétrons-lacunas criados, maior será esta corrente. Isto é conseguido escolhendo-se um comprimento de onda ótimo, próximo de $1 \mu\text{m}$, e tendo-se uma superfície de junção, a maior possível com polarização inversa e exposta aos raios luminosos.

O fotothyristor é o único elemento capaz de comutar sob a influência da luz, que possui dois estados estáveis. Na figura 39, vemos a estrutura, o símbolo e o aspecto de um fotothyristor.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 39 Estrutura, símbolo e aspecto de um fotothyristor

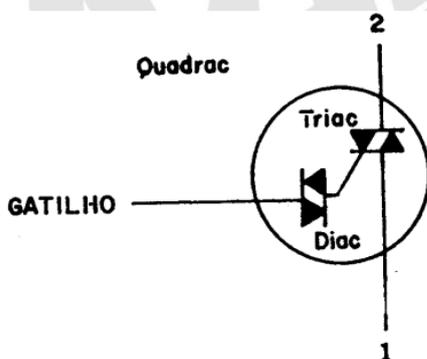
3.6 THYRISTOR BLOQUEÁVEL

O thyristor bloqueável pode ser disparado quando lhe aplicamos uma tensão positiva ao seu eletrodo de comando e será rebloqueado se aplicarmos uma impulsão negativa a este mesmo eletrodo.

3.7 QUADRAC

A partir dos thyristores, triacs e diodos, os fabricantes idealizaram dispositivos compostos, visando simplificar os esquemas de aplicações e o uso prático dos elementos.

Normalmente utiliza-se um diac para disparar um triac. Pode-se muito bem conceber um elemento composto, compreendendo estes dois componentes. Este é o quadrac, cujo esquema é apresentado na figura 40.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

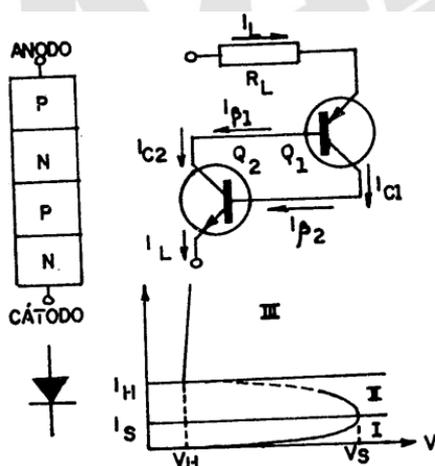
Figura 40 Esquema de um quadrac

3.8 DIODO SHOCKLEY

O diodo Shockley, também conhecido como diodo thyristor ou diodo de quatro camadas, é um dispositivo bipolar PNPN comparável em todos os sentidos a um thyristor, porém, estando disponíveis somente os bornes de anodo e cátodo.

Quando aplicarmos em seus bornes (entre cátodo e anodo), uma tensão crescente, mas inferior a certo nível V_S , sua resistência será elevada e somente uma pequena corrente o atravessará.

Esta corrente é da ordem de alguns microampéres. Este é o seu primeiro estado estável, pois o diodo está bloqueado.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 41 Estrutura, curva e símbolo de um diodo Shockley

Quando a tensão V_S é atingida, chegamos na segunda zona, na qual o diodo apresenta uma região negativa. Este é um estado instável.

A resistência do diodo vai decrescendo rapidamente e a partir do ponto I_H ela não tem mais do que alguns ohms. O diodo está plenamente condutor e assim permanece enquanto existir a corrente de manutenção, cujo valor mínimo é I_H . Esta é a terceira zona cujo funcionamento é estável. A queda de tensão introduzida pelo dispositivo é da ordem de 1V para os diodos de germânio e 1,3V a 1,7V para os de silício.

O re bloqueio efetua-se reduzindo-se a corrente, abaixo do valor de I_H ou a tensão, abaixo de V_H .

As tensões V_S são da ordem de 20 a 100V, enquanto que I_H é da ordem de 1 a 50 mA.

3-9 DIODO TÚNEL

Um diodo túnel é um pequeno dispositivo formado por uma junção PN, que tem uma elevada concentração de impurezas nos materiais semicondutores P e N. Esta alta densidade de impurezas faz tão estreita a região de depleção da junção (ou região de carga espacial), que as cargas elétricas podem se transferir através dela, mediante um efeito mecânico-quântico denominado "efeito túnel". Este efeito túnel produz uma zona de resistência negativa, sobre a curva característica do diodo de referência, que o habilita para desempenhar as funções de amplificação, geração de pulsos e geração de energia de RF.

Características

Na figura 42 temos a característica típica de uma curva tensão-corrente de um diodo túnel e seu símbolo.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 42 Curva característica de um diodo túnel e seu símbolo

Os diodos normais, quando polarizados inversamente, são percorridos por uma pequena corrente até que se atinja a tensão de ruptura.

Com polarização direta, a condução começa aproximadamente com 300 mV. Nos diodos túnel, ao contrário, uma pequena polarização inversa faz com que os elétrons de valência dos átomos do material semicondutor próximo à junção, atravessem a mesma por efeito túnel. Assim, o diodo túnel é altamente condutor para todas as polarizações inversas. Do mesmo modo, com pequenas polarizações diretas, os elétrons da região N passam por "efeito túnel"

através da junção à região do tipo P, e a corrente do diodo cresce rapidamente até um valor de pico (I_p).

Com valores intermediários de polarização o diodo túnel apresenta uma característica de resistência negativa e a corrente cai a um valor mínimo, denominado I_v (corrente de vale).

Com valores crescentes de polarização, o diodo túnel apresenta uma característica diódica.

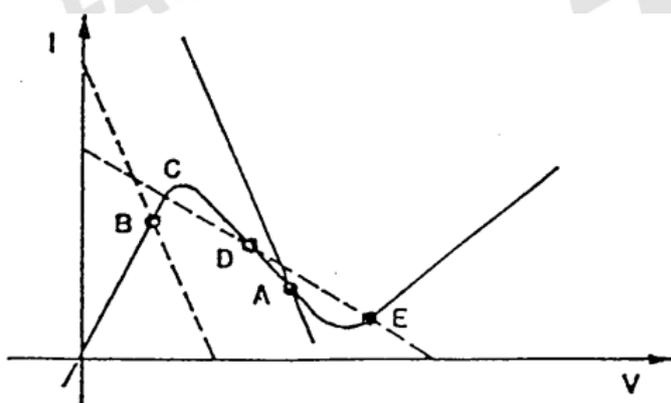
Devido à redução da corrente com o aumento da polarização na região de resistência negativa, o diodo túnel tem a capacidade de amplificar, oscilar e comutar.

Ponto de Funcionamento

Quando se usa um diodo túnel em circuitos tais como amplificadores e osciladores, deve-se estabelecer um ponto de funcionamento na região de resistência negativa.

A linha de carga de CC, mostrada em linha cheia na figura 43 deve ter uma inclinação tal, que intercepte a região de resistência negativa somente em um ponto.

A linha de carga de CA pode ser bem inclinada, com uma só interseção (B) como no caso de um amplificador, ou um pouco inclinada, com três interseções (C, D, E) como ocorre em um oscilador.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 43 Linhas de carga

3.10 DIODOS EMISSORES DE LUZ (LED)

Num diodo com polarização direta, os elétrons livres atravessam a junção e combinam-se com as lacunas. À medida que esses elétrons caem de um nível mais alto de energia para um mais baixo, eles irradiam energia. Nos diodos comuns essa energia é dissipada na forma de calor. Mas no diodo emissor de luz (LED), a energia é irradiada na forma de luz.

Os LEDs substituíram as lâmpadas de incandescência em várias aplicações devido a sua baixa tensão, vida longa e rápido chaveamento liga-desliga.

Os diodos comuns são feitos de silício, um material opaco que bloqueia a passagem da luz. Os LEDs são diferentes. Usando-se elementos como o gálio, o arsênio e o fósforo, um fabricante pode produzir LEDs que irradiam no vermelho, verde, amarelo, azul, laranja ou infravermelho (invisível).

Os LEDs que produzem radiação visível são úteis em instrumentos, calculadoras etc. Os LEDs infravermelhos encontram aplicação em sistemas de alarme contra roubo e outras áreas que exijam radiação invisível.

Tensão e Corrente do LED

Os LEDs têm uma queda de tensão típica de 1,5 a 2,5 V para correntes entre 10 e 50 mA.

A queda de tensão exata depende da corrente, da cor, da tolerância do LED. A menos que seja feita alguma recomendação em contrário, use uma queda nominal de 2 V quando estiver verificando defeitos ou analisando circuitos com LEDs. Se tiver que fazer algum projeto, consulte a folha de dados, porque as tensões do LED têm uma grande tolerância. A figura 44(a) mostra o símbolo esquemático de um LED, as setas para fora simbolizam a luz irradiada. Admitindo uma queda no LED de 2 V, pode-se calcular a corrente do LED, do seguinte modo:

$$I = \frac{10V - 2V}{680\Omega} = 11,8m$$

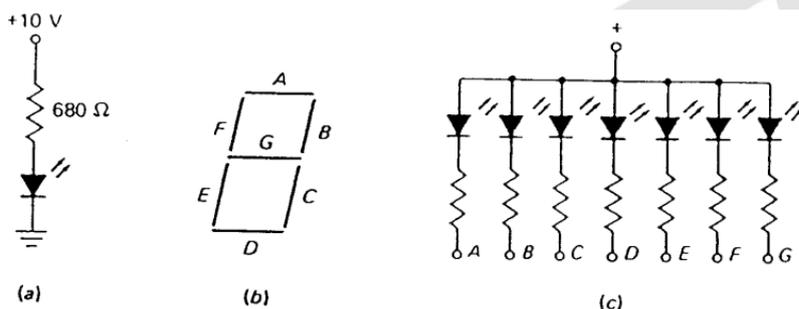
Tipicamente, a corrente do LED está entre 10 e 50 mA porque essa faixa produz luz suficiente para a maioria das aplicações.

O brilho de um LED depende da corrente. Idealmente, a melhor forma de se controlar o brilho é vincular o LED a uma fonte de corrente. A melhor coisa para se obter uma fonte de

corrente é uma grande tensão de alimentação seguida de uma grande resistência em série.

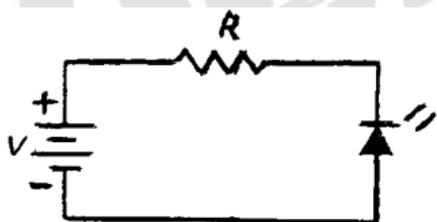
Neste caso, a corrente do LED é dada por:

$$I = \frac{V_S - V_{LED}}{R_S}$$



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 44 (a) Um circuito com LED. (b) Indicador de sete-segmentos. (c) Diagrama esquemático



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 45 Fotodiodo

Quanto maior a tensão da fonte, menor o efeito que V_{LED} produz. Em outras palavras, um alto valor de V_S encobre a variação na tensão do LED.

Por exemplo, um TIL222 é um LED verde com uma queda mínima de 1,8V e uma queda máxima de 3V para uma corrente de aproximadamente 25 mA.

Se ligarmos um TIL222 a uma fonte de 20 V e a um resistor de 750, a corrente variará de 22,7 a 24,3 mA. Isto implica um brilho que é essencialmente o mesmo para todos os TIL222.

Por outro lado, suponhamos que no circuito se utilize uma fonte de 5V e um resistor de 120. A corrente variará então cerca de 16,7 a 26,7 mA; isto causará uma variação sensível no brilho. Portanto, para se obter um brilho aproximadamente constante com LEDs, devemos utilizar tanto uma fonte de tensão como uma resistência em série o maior possível.

Indicador de Sete-segmentos

A figura 44(b) mostra um indicador de sete-segmentos que contém sete LEDs retangulares (de A a G). Cada LED é chamado de um segmento porque ele faz parte do dígito que está sendo exibido. A figura 44(c) é o diagrama esquemático de um indicador de sete-segmentos, são incluídos resistores externos em série para limitar as correntes a níveis seguros.

Aterrando-se um ou mais resistores, podemos formar qualquer dígito de 0 a 9. Por exemplo, aterrando A, B e C, obtemos o 7. Atterrando A, B, C, D e G produzimos um 3. Um indicador de sete-segmentos também pode exibir as letras maiúsculas A, C, E e F, mais as letras minúsculas b e d. Os instrutores de microprocessadores frequentemente usam uma exibição de sete-segmentos para mostrar todos os dígitos de 0 a 9, mais A, b, C, d, E e F.

3.11 RESUMO

- 1 - O thyristor (SCR), é um comutador quase ideal. Uma de suas várias funções é controlar a energia consumida em vários tipos de máquinas.
- 2 - O termo thyristor, designa uma família de elementos semicondutores, cujas características estão próximas às das antigas válvulas thyatron.
- 3 - O nome thyristor é uma contração de THYRatron e transISTOR.
- 4 - O thyristor básico é denominado SCR (retificador controlado de silício).
- 5 - Dos vários tipos de thyristores, os que se destacam atualmente são os SCR, triac, fotothyristor, diac e diodo Shockley.
- 6 - O SCR é um diodo semicondutor de silício, a quatro camadas alternadas PNPN, com três terminais de saída, que são denominados anodo, cátodo e gatilho.
- 7 - Quando o anodo de um SCR é positivo em relação ao cátodo, duas junções internas ficam polarizadas diretamente e uma junção fica polarizada inversamente. Neste caso, o diodo poderá conduzir desde que o potencial de anodo seja suficiente para romper a junção com polarização inversa.
- 8 - O SCR poderá conduzir facilmente se estiver polarizado diretamente e se um potencial positivo for aplicado ao gatilho.

- 9 - Um SCR poderá disparar (conduzir) quando um sinal de comando é aplicado ao terminal gatilho, mas o seu bloqueio, só poderá ocorrer, diminuindo-se a corrente de anodo a um determinado nível.
- 10 - A tensão de disparo de um SCR depende da tensão V_G , mas o seu bloqueio não depende desta tensão.
- 11 - Um SCR pode controlar a energia dissipada em uma carga, através de um sistema que defasa a tensão V_G com relação a tensão de anodo.
- 12 - O triac é um dispositivo semiconductor de três terminais, sendo um de comando e dois de condução principal.
- 13 - Este dispositivo, pode passar de um estado bloqueado a um regime de condução nos dois sentidos de polarização.
- 14 - O triac poderá conduzir nos dois sentidos, desde que comandado, mas o seu bloqueio só se efetuará pela inserção da tensão de anodo ou pela diminuição da corrente, abaixo do valor da corrente de manutenção.
- 15 - O triac pode ser disparado por uma corrente negativa ou positiva no gatilho.
- 16 - O diac é um dispositivo semiconductor de dois terminais, que não possui polaridade. A sua condução é bidirecional.
- 17 - A condução de um diac é por ruptura das junções que o constituem.
- 18 - Quando conduz, o diac apresenta uma região de resistência negativa.
- 19 - Os diacs são muito usados em sistemas de disparo para controle de fase de triacs em controles de energia.
- 20 - Os fotothyristores, são SCR, cujo disparo é efetuado por um foco luminoso.
- 21 - O quadrac é um dispositivo semiconductor cuja estrutura é constituída de triacs e diacs.
- 22 - O diodo Shockley é aparentemente um thyristor SCR com apenas dois terminais.
- 23 - O diodo Shockley, tem três estados: o primeiro é o de não condução, o segundo é o de disparar quando apresentar um estado de resistência negativa e o terceiro é quando a sua condução é normal e igual a um diodo convencional.
- 24 - O bloqueio de um diodo Shockley é através da redução de I_H .
- 25 - O diodo túnel é um pequeno dispositivo formado por uma junção PN, com alta concentração de impurezas.
- 26 - O diodo túnel, altamente dopado, quando polarizado diretamente, apresenta inicialmente uma região de resistência negativa.

27 - A região de resistência negativa é devido a diminuição da corrente com o aumento da tensão direta.

28 - Devido a esta característica, o diodo túnel pode ser usado como amplificador ou oscilador.



Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.

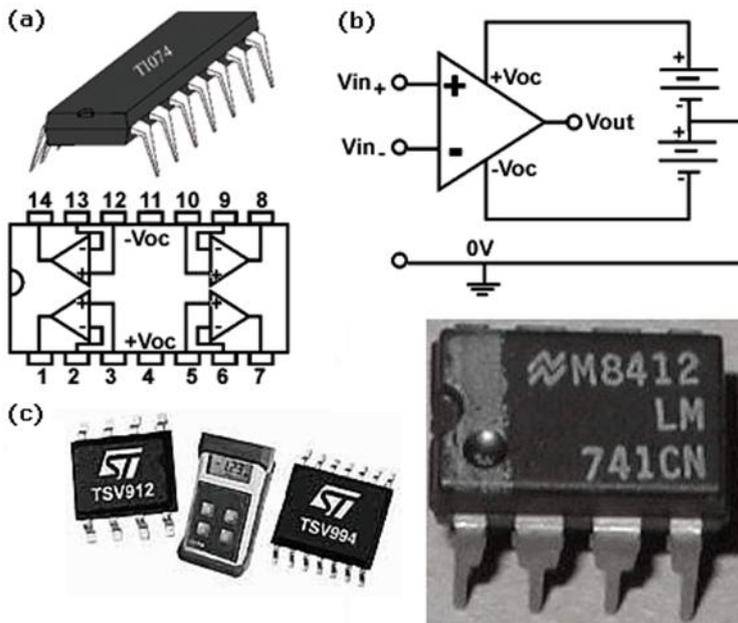


No Próximo Módulo

Caro aluno,

No próximo módulo, você vai entender um pouco de medida em decibéis e conhecerá um outro dispositivo muito versátil na eletrônica, o amplificador operacional.

Vamos juntos?



Fonte: <http://www.almbpg.com/?afilho=acaofilho&afilho=ampop>

MÓDULO IV

DECIBÉIS E AMPLIADORES OPERACIONAIS

INTRODUÇÃO

Caro aluno,

O amplificador operacional é idealmente um dispositivo que reúne algumas características básicas que permitem que o mesmo seja usado em uma infinidade de aplicações. O amplificador operacional ideal possui, por exemplo, impedância de entrada infinita, impedância de saída nula e ganho infinito. Ou seja, poderia amplificar infinitamente um sinal, sem interferir na sua fonte ou no dispositivo para o qual ele fornece a saída.

Esse dispositivo, na verdade, não existe com essas características, mas consegue-se implementar dispositivos que possuam uma elevada impedância de entrada, uma impedância de saída muito baixa e um ganho bastante alto. Os amplificadores operacionais podem então

ser utilizados tal como os dispositivos ideais, desde que se conheçam suas limitações e as limitações do circuito no qual serão utilizados.

Neste módulo, além de conhecer os amplificadores operacionais, você vai entender um pouco a respeito de uma medida de amplificação muito usada em eletrônica, os decibéis.

4.1 DECIBÉIS

É muito comum ouvirmos, em eletrônica, frases como: "O atenuador reduz de 5 dB", "Resposta plana de frequência dentro de 3 dB", "Amplificador com ganho de 10 dB", "Antena com ganho de 9 dB", etc. Mas quantos são os que realmente têm uma exata noção do valor destes valores? Você se familiarizará, a partir de agora com o termo decibel (dB).

O decibel é a décima parte do Bel, unidade usada para se fazer a comparação entre quantidades de energia, seja na forma de potência ou de som. Quando nos referirmos a decibel, entenderemos como sendo dez vezes o logaritmo¹ decimal da relação entre dois níveis de potência expressos em Watt.

$$N^{\circ} \text{ dB} = 10 \times \log (P_2: P_1)$$

Na expressão anterior, queremos dizer que o número de decibéis é igual a dez vezes o logaritmo decimal da divisão da potência P_2 pela potência P_1 , expressas em Watts.

Antes de prosseguirmos neste assunto, torna-se mister tecermos algumas considerações sobre a forma com que o ouvido humano reage aos diferentes estímulos sonoros.

Imaginemos um aparelho fornecendo-nos uma potência de 10 Watts e observemos a sensação auditiva. Se aumentamos a potência sonora, até os nossos ouvidos sentirem o dobro do nível sonoro anterior. Ao medirmos a potência, verificaremos que se trata de 100 W e não 20 W, como era de se supor.

Se aumentarmos ainda mais a potência até que dobre novamente, mediremos 1000 W, e assim, sucessivamente.

Isso mostra que o ouvido humano reage ao som, não de maneira linear, mas muito aproximadamente, de acordo com uma curva logarítmica, razão pela qual os engenheiros, ao estabelecerem uma fórmula para a comparação de duas intensidades sonoras, tiveram que fazer com que ela obedecesse à mesma curva matemática que os logaritmos.

Aplicações

Inicialmente a aplicação do decibel restringia-se somente ao áudio. Mais tarde generalizou-se pela simplificação que ele traz, passando a ser aplicado em antenas, amplificadores, linhas de transmissão, etc.

Vejam alguns exemplos de aplicação do dB:

a) Um amplificador requer 2 W de potência para excitá-lo na entrada. Sabendo-se que a potência de saída do amplificador é de 8 W, qual será o ganho do amplificador em dB?

Solução:

$$P_0 = 2 \text{ W} \quad P_1 = 8 \text{ W} \quad G(\text{dB}) = ?$$

$$G(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_1}{P_0}$$

$$G(\text{dB}) = 10 \log \frac{8}{2} = 10 \log 4$$

$$G(\text{dB}) = 10 (0,602) = 6,02$$

b) Um transmissor entrega uma potência de 500 W, mas na antena chegam apenas 455 W.

Qual é o ganho de potência em dB?

Solução:

$$P_0 = 500 \text{ W} \quad P_1 = 455 \text{ W} \quad G(\text{dB}) = ?$$

$$G(\text{dB}) = 10 \log \frac{455}{500}$$

$$G(\text{dB}) = 10 \log 0,91$$

$$G(\text{dB}) = -10(0,041) = -0,41$$

Façamos algumas considerações sobre os dois resultados obtidos nos exercícios anteriores.

O primeiro resultado significa que a potência de saída do amplificador está 6,02 dB acima do nível de potência de entrada.

No segundo resultado, observamos o aparecimento do sinal “-“ (menos). Este sinal indica que não se trata de ganho de potência, mas sim uma atenuação (perda de potência) e o resultado em si, significa que a potência que chega à antena está 0,41 dB abaixo do nível de potência entregue pelo transmissor.

4.2 RELAÇÕES DE TENSÃO E CORRENTE

A partir da definição de ganho em potência e do conhecimento de que: $P = E \times I = I^2 \times R = E^2 : R$, podemos deduzir o ganho de tensão e ganho de corrente, sobre impedâncias iguais.

$$G(\text{dB}) = 10 \log P_1 : P_0$$

Supondo $R_1 = R_0$ e substituindo-os pelos valores de P_0 e de P_1 pelos valores correspondentes em tensão e resistência, teremos:

$$G(\text{dB}) = \frac{10 \log (E_1^2 \cdot R_0)}{(E_0^2 \cdot R_1)}$$

$G(\text{dB}) = 10 \log (E_1^2 : E_0^2)$ que pode ser escrito como:

$$G(\text{dB}) = 20 \log (E_1 : E_0).$$

Da mesma forma podemos deduzir para o ganho de corrente:

$$G(\text{dB}) = 20 \log (I_1 : I_0)$$

4.3 NÍVEIS DE REFERÊNCIA

O decibel, sendo essencialmente uma relação, ou mais exatamente, dez vezes o logaritmo decimal da relação entre duas potências, exige que se explicita ou subentenda-se uma referência, de acordo com convenções existentes. Por exemplo, quando se diz que o ganho de um amplificador é de tantos dB, isto equivale a expressar em dB o sinal de saída, tomando-se como referência o sinal de entrada.

Existem também alguns níveis de tensão ou de potência padronizados, escolhidos como referência e frequentemente os níveis de tensão ou de potência são expressos em relação a tais referências.

Os níveis mais comuns são 1 miliwatt e 6 miliwatt. O nível de 0,006 W corresponde a zero dB, enquanto que o nível 0,001 W corresponde ao nível zero dBm. Em outras palavras: dBm significa, dB relativo a 1 miliwatt.

Alguns exemplos a seguir elucidarão o emprego do dB e do dBm no cálculo do ganho ou atenuação de um circuito ou equipamento:

a) Sabendo-se que a potência de saída de um amplificador é 5 miliwatt, calcular o nível de potência de saída do amplificador, em dB.

Solução:

$$P_0 = 1 \text{ mW}$$

$$P_1 = 5 \text{ mW}$$

$$G \text{ (dBm)} = ?$$

$$G \text{ (dBm)} = 10 \log (5 : 1) = 10 \log 5$$

$$G \text{ (dBm)} = 10 \times 0,6990$$

$$G \text{ (dBm)} = 6,99 = \sim 7$$

Então, o nível de potência de saída do amplificador, está a 7 dB acima do nível de referência de 0,001 W.

b) Sabendo-se que um amplificador tem uma potência de saída de 6 Watts, calcular o seu ganho em dB.

Solução:

$$P_1 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

$$P_0 = 6 \text{ W}$$

$$G \text{ (dB)} = ?$$

$$G \text{ (dB)} = 10 \log (6 : 6 \cdot 10^{-3}) = 10 \log 10^3$$

$$G \text{ (dB)} = 30 \log 10$$

$$G \text{ (dB)} = 30$$

Este resultado indica que a potência de saída do amplificador está a 30 dB acima do nível de potência de referência de 0,006 W.

4.4 MEDIDA DE POTÊNCIA

O dBm é usado para descrever níveis de potência em decibéis, com referência a potência de 1mW sobre 600 ohms. Um miliwatt é representado como zero dBm, 10 miliwatts como 10 dBm, e 100 miliwatts como 20 dBm.

As figuras 46 e 47 são úteis na conversão direta de Volts rms em dBm (46) ou mW para dBm (47). A diagonal de cada gráfico marca os valores de tensão (46) ou a junção de dBm e miliwatts (47)

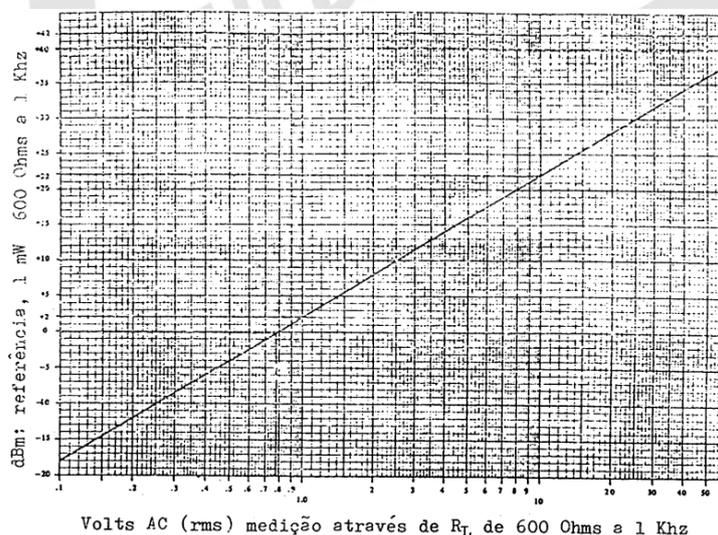
a) Para converter 10 volts rms em dBm, localize 10 volts na escala inferior da figura 46, movendo para cima (verticalmente) até encontrar a linha diagonal. Deste ponto mova horizontalmente para a esquerda, até encontrar +22 dBm.

b) Para converter 1000 mW em dBm, localize 1000 na parte inferior da figura 47. Siga a linha de 1000 mW até encontrar a linha diagonal. Deste ponto, mova horizontalmente até +30 dBm na margem esquerda do gráfico.

c) Para converter +15 dBm em mW, localize +15 dBm na margem esquerda do gráfico (figura 47), movendo horizontalmente até encontrar a linha diagonal. Deste ponto, mova verticalmente para baixo, até encontrar a linha inferior que corresponde ao ponto 33,3 mW da escala.

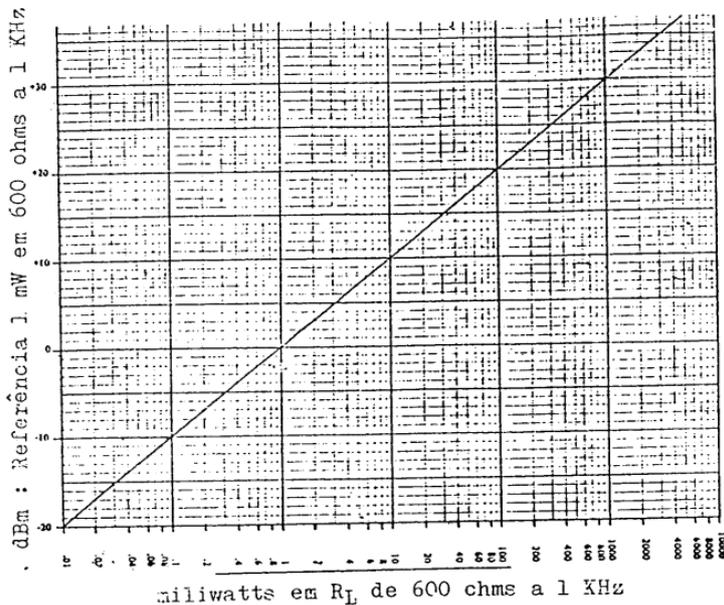
d) Para cargas diferentes de 600 ohms, um fator de correção, baseado na razão de 600 ohms para o atual valor de carga, deve ser somado ou subtraído dos valores encontrados para 600 ohms, com o auxílio do gráfico apropriado. A fórmula para encontrar o fator de correção é: $F.C. = 10 \log (600 : R_1)$, onde R_1 é a atual resistência de carga.

Como exemplo do uso do fator de correção, consideremos um amplificador com uma carga de 8 ohms que dissipa 1000 mW (1W).



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 46 Conversão de volts rms em dBm



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 47 Conversão de mW em dBm 15-3

A figura 47 nos mostra que corresponde a +30 dBm numa carga de 600 ohms. Para determinarmos o verdadeiro valor em dBm sobre a resistência de 8 ohms, devemos calcular primeiramente o fator de correção.

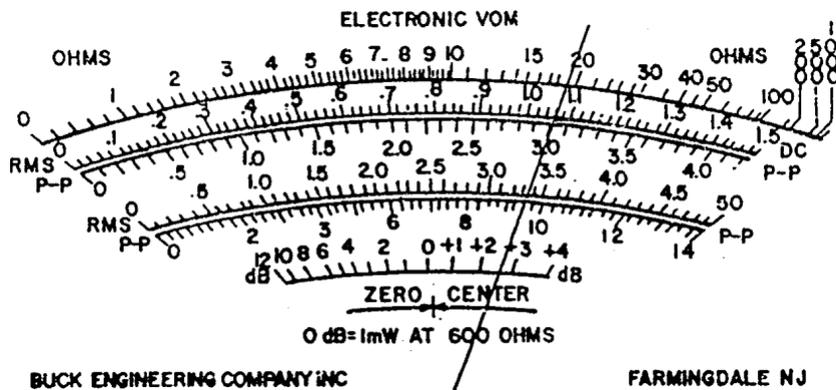
$$\begin{aligned} \text{F.C.} &= 10 \log (600 : 8) = 10 \log 75 = \\ &= 10 (1,875) = 18,75 \end{aligned}$$

Como a nossa impedância é inferior a 600 ohms, teríamos que, do valor encontrado no gráfico, subtrair o fator de correção.

4.5 MEDIDORES DE POTÊNCIA

Um medidor de dB, mede, na realidade, tensão de CA e inclui-se uma escala de decibéis no mostrador do medidor, de modo que a leitura possa fazer-se em decibéis, em lugar de volts de CA.

A figura 48 ilustra um volt ohmímetro eletrônico com a escala inferior graduada em dB.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 48 Mostrador de um volt ohmímetro eletrônico

4.6 RESUMO TEÓRICO DE LOGARITMOS

- Logaritmo de um número, real e positivo N , em uma base a positiva e diferente da unidade, é o expoente real x que se deve elevar essa base a para obter o número N .
- Somente números positivos têm logaritmos.
- O valor do logaritmo de um número pode ser obtido por calculadoras, softwares de computadores ou por tabelas pré-calculadas.
- Todas as vezes que nos defrontarmos com logaritmos negativos, devemos transformá-los em logaritmos preparados a fim de facilitar o cálculo.
- O decibel é muito usado em eletrônica, para comparação de níveis de tensão e de potência, sempre relacionados com um padrão de referência.
- Quando medirmos a potência dissipada sobre uma impedância diferente de 600 ohms, devemos calcular o fator de correção, que deve ser somado ou subtraído dos valores em dBm, encontrados nos gráficos "dBm x volts rms" e "dBm x mW".

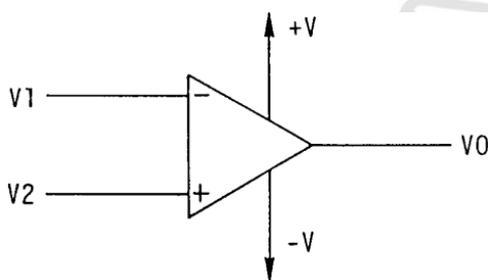
4.7 AMPLIADORES OPERACIONAIS

Um Amplificador Operacional, Amplificador Operacional ou simplesmente Amp OP é um amplificador de ganho muito elevado que pode ser empregado para realizar operações matemáticas, como multiplicação, integração, diferenciação e também para uma infinidade de funções.

Com esse dispositivo podem ser conseguidos amplificadores capazes de operar com sinais que vão desde corrente contínua até vários megaHertz.

Simbologia

Na figura 49 é mostrado o símbolo do amplificador operacional.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 49 Símbolo do amplificador operacional

O dispositivo amplia, na saída (V_0), a diferença dos sinais aplicados às entradas (V_1 e V_2). Os terminais de alimentação (+V e -V) recebem tensão externa para o funcionamento do Amp Op.

4.8 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

O amplificador operacional ideal apresenta as seguintes características:

- Impedância de entrada infinita;
- Impedância de saída nula;
- Ganho de tensão infinito;
- Atraso nulo;
- Tensão de saída nula de $V_2 = V_1$;
- Resposta em frequência infinita.

Os Amp Op reais são aproximações tão boas quanto possível do ideal que, na prática, produzem resultados satisfatórios.

4.9 ALIMENTAÇÃO

Na maioria das aplicações usa-se uma fonte simétrica ($\pm V$), porém há casos em que a fonte simples pode ser usada.

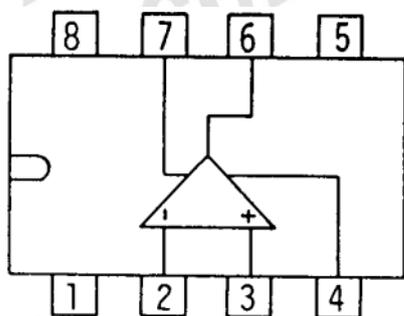
A alimentação pode ser obtida das seguintes maneiras:

- Duas fontes iguais, perfeitamente sincronizadas;
- Circuito divisor de tensão, com resistores exatamente iguais;
- Uma fonte simétrica, com valores típicos entre $\pm 10\text{ V}$ e $\pm 20\text{ V}$.

4.10 PINAGEM

O amplificador operacional mais difundido é o 741. É um circuito integrado monolítico construído numa única base de silício.

Caracteriza-se por apresentar um alto ganho e uma elevada impedância de entrada. Esse amplificador operacional é encontrado com diversas denominações: μA 741, LM 741, CA 741, MC 741 e TBA 221B.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 50 Pinagem do amplificador operacional 741

Pinos:

- 1 - Ajuste de offset;
- 2 - Entrada inversora (V_1);
- 3 - Entrada não inversora (V_2);
- 4 - Alimentação ($-V$);
- 5 - Ajuste de offset;

6 - Saída (V_o);

7 - Alimentação (+ V);

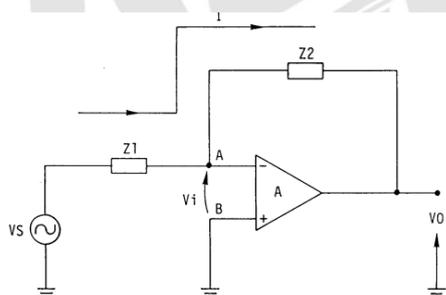
8 - Sem uso.

O ajuste de offset serve para compensar diferenças entre os dois sinais de entrada.

4.11 AMPLIADOR OPERACIONAL COMO AMPLIFICADOR

Aproveitando as características elétricas do Amp Op ideal descritas anteriormente, podemos realizar arranjos com outros dispositivos de forma a obtermos os mais variados resultados, tais como a amplificação de um sinal por um fator pré-determinado.

O amplificador operacional como amplificador é mostrado na figura 51.



Fonte: IAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 51 Amplificador operacional típico

Desejamos um sinal de saída V_o proporcional a diferença entre os sinais de entrada ($V_B - V_A$) ou V_{BA} . Como o Amp Op apresenta uma impedância de entrada infinita, a corrente I que passa em Z_1 é a mesma que passa em Z_2 , pois devido à grande impedância de entrada do dispositivo (impedância entre A e B), nenhuma parte da corrente é drenada de A para B, que está conectado ao terra. Então, pela lei de Ohm, podemos calcular a corrente em Z_1 e em Z_2 e então igualá-las, obtendo a relação entre as tensões. Lembre-se que a tensão em A, é igual a V_i . Daí podemos tirar a seguinte relação:

$$\frac{V_s - V_i}{Z_1} = \frac{V_o - V_i}{Z_2} \text{ ou seja:}$$

$$\frac{-Z_2}{Z_1} = \frac{V_o - V_i}{V_s - V_i} = (1)$$

Como o amplificador operacional ideal apresenta ganho infinito (∞) podemos dizer que a tensão de saída é muitíssimo maior que a diferença de tensões de entrada (V_i) e esta então pode ser desprezada na equação (1), que pode ser expressa como:

$$-\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{V_o}{V_s}$$

Como o ganho do circuito é a relação entre o sinal de saída e o de entrada, temos que o ganho A do circuito, é igual a:

$$A = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

O sinal negativo na fórmula deve-se ao fato do extremo de Z_2 estar aplicado no terminal inversor do amplificador operacional (ponto A).

Com essa demonstração chegamos a algumas conclusões importantes:

1) Podemos determinar o ganho em malha aberta (sem realimentação):

$$A = \frac{-V_o}{V_i}$$

2) O ganho do amplificador em malha fechada será $A = -(Z_2/Z_1) = -V_o/V_i$

3) A tensão de saída poderá ser negativa, dependendo da aplicação do sinal de entrada: $V_o = -A \cdot V_i$

4) Se $Z_1 = Z_2$, o circuito comporta-se como um simples inversor: $V_o = -V_s$

5) Se $Z_1 < Z_2$, o circuito amplifica e inverte

6) Se $Z_1 > Z_2$, o circuito atenua e inverte

7) Podemos implementar um amplificador com um ganho determinado escolhendo adequadamente Z_1 e Z_2 . Por exemplo, se quisermos dobrar a tensão, escolhemos Z_2 de valor correspondente ao dobro de Z_1 .

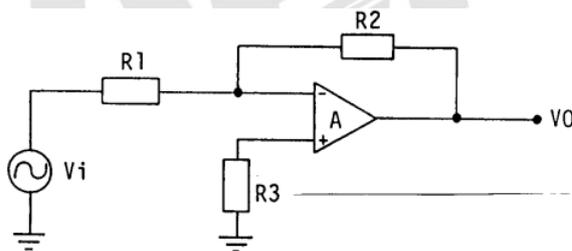
4.12 APLICAÇÕES DOS AMPLIADORES OPERACIONAIS

Aplicações Lineares

Circuitos analógicos ou lineares são os que processam ou manipulam sinais cujas amplitudes assumem valores que podem variar continuamente dentro de certo período. Nessa categoria encontram-se os osciladores, os ampliadores, os filtros ativos, os circuitos somadores e outros. Aplicações lineares de Amp Op são circuitos que exercem funções analógicas.

Amplificador com Inversão

O circuito da figura 52 mostra um amplificador com inversão.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 52 Amplificador com inversão

Suponhamos que os componentes do circuito da figura 52 assumam os seguintes valores: $R_1 = 20\text{K}$, $R_2 = 100\text{K}$ e $R_3 = 0$. Com isso tem-se que o ganho (A) será:

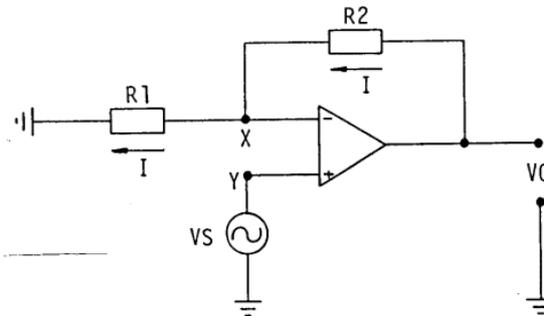
$$A = \frac{-R_2}{R_1} = -5$$

Se desejarmos usar R_3 , o seu valor deverá ser o equivalente ao circuito com R_1 e R_2 em paralelo:

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Portanto, se o sinal de entrada aplicado ao circuito for de 1V, a saída será de -5V. Esse circuito então executa também a função de multiplicador.

Amplificador sem Inversão



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 53 Amplificador sem inversão

Pelo circuito da figura 53 vemos que $I = \frac{V_s}{R_1}$, teremos, nesse circuito que:

$$V_O = V_{R_2} + V_s.$$

Porém, como $V_{R_2} = \frac{V_s}{R_1} \cdot R_2$ temos que:

$$V_s \cdot \frac{R_2}{R_1} + V_s = V_O \therefore V_O = V_s \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\text{Por outro lado: } \frac{V_O}{V_s} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

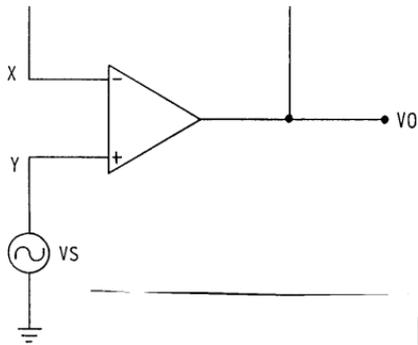
$$\text{Ou seja: } A = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Obs. Lembre-se de que a grande impedância de entrada do Amp Op faz com que a tensão em X seja praticamente igual a tensão em Y, que é V_s .

Amplificador com Ganho Unitário

A princípio, poderia se pensar que um amplificador de ganho unitário não teria utilidade. De fato, a tensão de saída é igual a de entrada, mas a grande vantagem desse dispositivo é que o amplificador com ganho unitário apresenta uma elevada impedância de entrada derivada do Amp Op e baixa impedância de saída, características que são relevantes em determinados circuitos.

O amplificador com ganho unitário é mostrado na figura 54.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 54 Amplificador com ganho unitário

$$\text{No circuito, } A = \frac{V_o}{V_s}$$

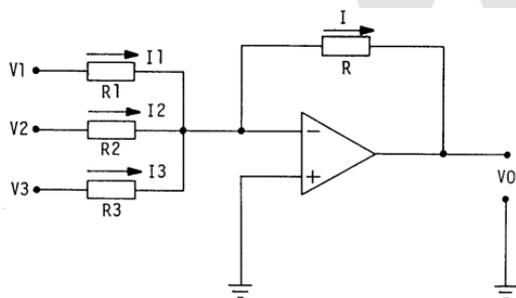
como $V_o = V_s$ temos $A = 1$

O amplificador nessa configuração é empregado como isolador ou "buffer". O circuito isolador permite que possamos medir tensões em circuitos de alta impedância utilizando um voltímetro de baixa impedância.

Circuito Somador

Como o nome indica, o circuito somador tem por objetivo fornecer na saída uma tensão cujo valor é igual a soma das tensões aplicadas à entrada.

Tal circuito é mostrado na figura 55.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 55 Circuito somador

Observando o circuito podemos escrever a equação da tensão de saída:

$$V_o = - I \times R = -(I_1 + I_2 + I_3) \times R$$

Ou ainda:

$$V_O = - \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) \times R$$

Se implementarmos o circuito com $R_1 = R_2 = R_3 = R$ teremos:

$$V_O = - (V_1 + V_2 + V_3)$$

Valores adequadamente escolhidos para os resistores podem ser utilizados para se implementar somas com peso. Por exemplo, se escolhermos $R_2 = R_3 = R$ e $R_1 = \frac{1}{2} R$, teremos $V_O = - (2.V_1 + V_2 + V_3)$.

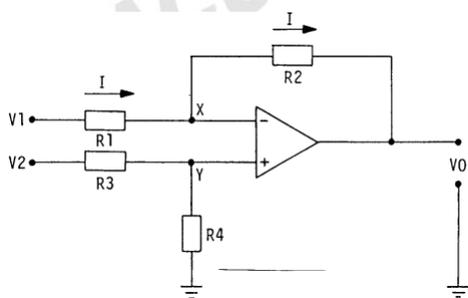
Circuito Subtrator

É o circuito projetado para fornecer na saída um valor de tensão igual a diferença entre as tensões de entrada.

Para que o circuito funcione como subtrator é necessário que a seguinte relação seja obedecida:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

O circuito subtrator é mostrado na figura 56.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 56 Circuito subtrator

Consideremos inicialmente todos os resistores iguais a "R".

$$I = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{V_{R2}}{R_2}$$

Temos então que:

Mas como $V_{R1} = V_1 - V_X$ e $V_{R2} = V_X - V_O$

A corrente "I" será: $I = \frac{V_1 - V_X}{R} = \frac{V_X - V_0}{R}$

Logo: $V_1 - V_X = V_X - V_0$

e $V_0 = 2 V_X - V_1$

Se $V_y = \frac{V_2}{2}$ e $V_0 = 2 \left(\frac{V_2}{2}\right) - V_1$

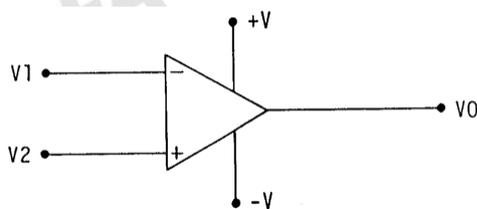
Finalmente tem-se que: $V_0 = V_2 - V_1$

Aplicações não Lineares

Circuitos não lineares são aqueles que nos fornecerem saídas não necessariamente proporcionais ou dependentes da forma de onda de entrada. Um exemplo de aplicação não linear é o circuito comparador. Este tipo de circuito não tem finalidade de utilizar os valores de entrada para amplificá-los, atenuá-los, somá-los ou subtraí-los, mas tão somente informar se são iguais ou diferentes.

Circuitos comparadores - São circuitos cuja função principal é comparar o sinal de entrada V_1 com um sinal de referência V_2 .

A figura 57 mostra um circuito comparador.

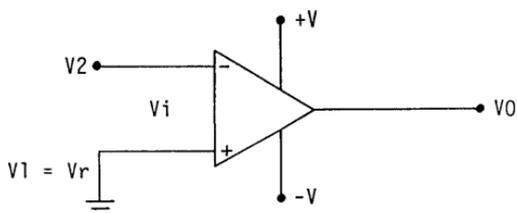


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 57 Circuito comparador

Num Amp Op ideal, o ganho é infinito, porém o Amp Op real só pode fornecer no máximo a tensão de alimentação +V. Se os sinais de entrada forem iguais, a diferença entre eles será zero, que amplificado resulta em zero na saída V_0 . No entanto, qualquer diferença entre os sinais de entrada, será amplificada “infinitamente”, dando como saída a tensão máxima que o Amp Op pode fornecer, ou seja + V. Assim, se na saída tivermos +V, sabemos que os sinais de entrada são diferentes, ao passo que se na saída tivermos 0, isto significa que os sinais de entrada são iguais.

Comparador com tensão de referência nula - Um circuito comparador com tensão de referência nula é mostrado na figura 58.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 58 Circuito comparador com tensão de referência nula

Este circuito é uma particularização do circuito comparador, no qual uma das entradas é ligada ao terra, sendo, portanto, sempre zero. Esta entrada, no exemplo V_1 , é tomada como referência para a avaliação de V_2 .

No circuito temos que quando a tensão V_2 for positiva a saída V_O será negativa.

E quando V_2 for negativa teremos uma V_O positiva.



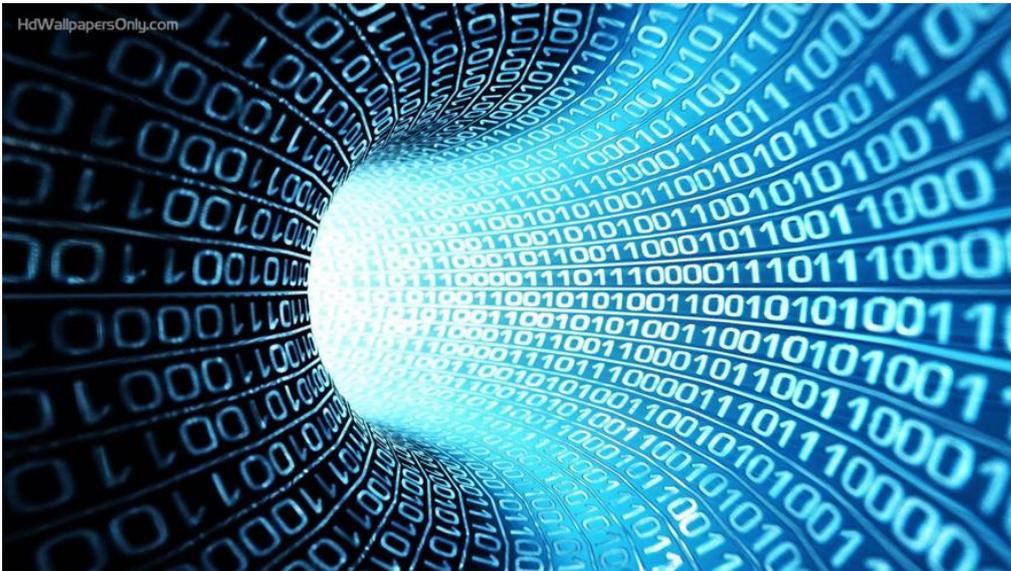
Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.



No Próximo Módulo

No próximo módulo começaremos a trabalhar com a eletrônica digital, aprendendo inicialmente a contagem dos computadores que se utiliza da base dois, ao invés da decimal.



Fonte: <http://www.hdwallpapersonly.com/matrix-wallpapers-hd.html>

MÓDULO V

TÉCNICAS DIGITAIS

INTRODUÇÃO

Caro aluno,

A eletrônica digital tem evoluído a passos largos e a medida em que vai adquirindo confiança e garantindo a segurança da operação, vai sendo implementada na aviação.

Não é raro hoje em dia aviões com verdadeiros computadores de bordo controlando as mais diversas funções.

Para entender o funcionamento desses computadores, inicialmente é necessário que se entenda a linguagem de que eles se utilizam para processar as informações. Essa linguagem é uma linguagem matemática que se relaciona com a nossa matemática convencional de uma forma simples, mas que requer especial atenção nas suas operações.

5.1 SISTEMAS DE NUMERAÇÃO

Os sistemas de numeração foram desenvolvidos na história da humanidade atendendo às crescentes necessidades de contagem e enumeração de objetos do dia a dia.

Por conveniência, o homem utilizou-se inicialmente dos dedos como auxiliares na contagem, criando o sistema decimal.

Com o advento do computador, outros sistemas vieram a ser criados, visando maior facilidade de representação interna codificada. Dentre os mais comuns podemos citar os sistemas: Binário, Octal e Hexadecimal, que adequam-se às necessidades ou funções internas de diversos equipamentos.

O sistema decimal, porém, sempre continuou sendo usado como forma de representação numérica convencional.

Sistema Decimal de Numeração

Genericamente, um sistema de numeração se utiliza de símbolos numéricos que, conforme a posição que ocupam na representação de um número, indicam quantas vezes o número contém determinada potência da base.

O sistema decimal é um sistema de base 10, no qual existem dez algarismos para representação de uma quantidade: 0, 1, 2, 3, 4, 5,, 9.

O menor algarismo de uma determinada base representa zero (0) e o maior representa o valor da base menos 1. No caso da base decimal, o maior algarismo representa nove (9), pois $(10 - 1 = 9)$.

No exemplo a seguir temos a representação de um número na sua base. O índice subscrito indica a base

Exemplo 1 $(583)_{10}$

Neste exemplo, os algarismos 5, 8 e 3 indicam quantas vezes a potência respectiva da base 10 correspondente a sua posição estão contidas no número representado. O valor mais à direita, ou seja 3, indica que o número possui 3 vezes 10 na potência 0, ou seja, 3×1 . O segundo valor, ou seja 8, indica que o número ainda possui 8 vezes 10 na potência 1, ou seja, 8×10 . E finalmente o terceiro valor, 5, indica que o número possui 5 vezes a base 10 na

potência 2, ou seja, 5×100 . Realizando essas contas, teremos o valor do número representado.

$$(5 \times 100) + (8 \times 10) + (3 \times 1) = 500 + 80 + 3 = 583$$

A princípio, parece bastante intuitivo para nós que estamos acostumados com esse sistema e já vemos 583 como “quinhentos e oitenta e três”, mas imagine que uma criança que acaba de aprender o valor dos números, pode ver esse mesmo símbolo e achar que vale 16 ($5+8+3$)! Lembre-se que ainda não foi falado a ela que, por convenção, se o número 5 está na terceira casa da direita para a esquerda vale 500 e não 5, nem 50, nem 5000. É importante você notar essa diferença, pois ao se deparar com outras bases numéricas, terá de fazer algumas contas para descobrir o valor do número representado, pelo menos até se habituar com eles.

Exemplo 2:

$$(1592)_{10}$$

Decompondo o mesmo teremos:

$$\begin{aligned} 1 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 2 \times 10^0 &= 1592 \\ 1000 + 500 + 90 + 2 &= 1592 \end{aligned}$$

Exemplo 3:

$$(583,142)^{10}$$

Notamos que no exemplo 3 temos um número com uma parte fracionária. Vejamos então sua decomposição em potência de dez:

$$\begin{aligned} 5 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2} \\ + 2 \times 10^{-3} \quad \text{ou} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 500 + 80 + 3 + 1/10 + 4/100 \\ + 2/1000 \quad \text{ou ainda} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 500 + 80 + 3 + 0,1 + 0,04 + 0,002 = \\ = 583,142 \end{aligned}$$

Sistema Binário de Numeração

No sistema binário a base é 2 ($b = 2$) e existem apenas dois algarismos para representar uma determinada quantidade: o algarismo 0 (zero) e o algarismo 1 (um).

Para representar a quantidade zero, utilizamos o algarismo 0, para representar a quantidade um, utilizamos o algarismo 1.

No sistema decimal, nós não possuímos o algarismo dez e representamos a quantidade de uma dezena utilizando o algarismo 1 (um) seguido do algarismo 0 (zero). Nesse caso, o algarismo 1 (um) significa que temos um grupo de uma dezena e o algarismo 0 (zero) nenhuma unidade, o que significa dez.

No sistema binário agimos da mesma forma, para representar a quantidade dois, utilizamos o algarismo 1 (um) seguido do algarismo 0 (zero). O algarismo 1 (um) significará que temos um grupo de dois elementos e o 0 (zero) um grupo de nenhuma unidade, representando assim o número dois.

Exemplo:

Seja o número $(1011)_2$ e façamos a sua decomposição em potência só que desta vez a base será dois:

$$1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 1 \times (8)_{10} + 0 \times (4)_{10} + 1 \times (2)_{10} + 1 \times (1)_{10} = (8 + 2 + 1)_{10} = (11)_{10} .$$

Assim, temos que 1011 na base 2 representa o mesmo valor que 11 na base 10.

Apenas para reforçar o conceito, verifique que, na contagem na base 10, você utiliza os algarismos na ordem de valor, até o de maior valor absoluto, ou seja, o 9. Após utilizar o 9, se o número é acrescentado de uma unidade, o que você faz? Isso mesmo! Acrescenta uma unidade na casa da esquerda e substitui o 9 por 0 reiniciando a contagem.

No sistema binário, o procedimento é o mesmo, sendo que o maior valor é 1. Assim, em cada posição você conta 0, 1 e então acrescenta uma unidade na posição imediatamente à esquerda e substitui o 1 por zero, reiniciando a contagem. Vamos contar de 0 até 11 dessa forma:

0, 1, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, 1001, 1010, 1011.

Observe que a representação obtida foi a mesma do exemplo anterior, o que era de se esperar.

Sistema Octal de Numeração

No sistema octal a base é oito e temos oito algarismos para representar qualquer quantidade.

Esses algarismos são: 0, 1, 2, 3, ...7.

Para a formação de um número, utilizam-se esses algarismos e toda vez que tivermos uma quantidade igual ao valor da base, soma-se um (1) ao algarismo de valor posicional imediatamente superior como fazemos no sistema decimal e binário.

Notamos também que, em qualquer base o maior algarismo é igual ao valor da base menos um e o número de algarismos é sempre igual ao da base.

Exemplo:

Decompondo o número $(361)_8$ em potência de base oito temos:

$$3 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 1 \times 8^0 = 3 \times (64)_{10} + 6 \times (8)_{10} + 1 \times (1)_{10} = (192 + 48 + 1)_{10} = (141)_{10}.$$

Podemos escrever que, na representação em uma determinada base, o número correspondente a base elevada a uma determinada potência é igual a um 1 seguido de tantos zeros quantos forem os valores das potências, assim temos:

$$2^3 = 1000 \quad 2^2 = 100 \quad 2^1 = 10 \quad \text{Na base 2}$$

$$10^3 = 1000 \quad 10^2 = 100 \quad 10^1 = 10 \quad \text{Na base 10}$$

$$8^3 = 1000 \quad 8^2 = 100 \quad 8^1 = 10 \quad \text{Na base 8}$$

No sistema decimal, o número 100 aparece após o número 99 na ordem crescente.

No sistema binário, o número 100 aparece após o número 11 na ordem crescente.

No sistema octal, o número 100 aparece após o número 77 na ordem crescente.

Sistema Hexadecimal de Numeração

No sistema hexadecimal de numeração, a base é dezesseis e dispomos de dezesseis algarismos para representação de uma determinada quantidade de coisas. Como no nosso sistema numérico usual, de base 10, temos apenas 10 algarismos, lançamos mão do recurso de usar

letras do alfabeto para representar quantidades maiores que 9 no sistema hexadecimal.

Portanto temos os seguintes algarismos:

0, 1, 2, 3,.....9, A, B, C, D, E e F.

Hex	Dec
A	10
B	11
C	12
D	13
E	14
F	15

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Exemplo:

Tomemos o número $(2C0A)_{16}$ e façamos sua decomposição.

$$2 \times 16^3 + C \times 16^2 + 0 \times 16^1 + A \times 16^0 \text{ ou}$$

$$2 \times 4096 + 12 \times 256 + 0 \times 16 + 10 \times 1 =$$

$$= 8192 + 3072 + 0 + 10 =$$

$$= (11274)_{10}$$

Complemento de um Número

O complemento de um número é o número que somado a ele resulta na próxima potência da base. Por exemplo, se tomarmos o número 7, na base 10, a próxima potência da base é $10^1 = 10$. O número que somado a 7 resulta em 10 é 3 ($10-7$), assim, 3 é o complemento de 7 na base 10.

Vejamus outro exemplo na base 10. Qual o complemento de 123? A próxima potência de 10 é 1000 (10^3), pois 100 (10^2) e 10 (10^1) são menores que 123. Pois bem, o número que somado a 123 resulta em 1000 é 877 ($1000-123$), assim, o complemento de 123 na base 10 é 877.

Vimos que na representação em uma base, suas potências são representadas pelo algarismo 1 seguido de tantos zeros quanto for o valor da potência. Logo, as potências de um número, representadas na base daquele número, serão do tipo 100, 10000, 1000, 1000000.

No caso do sistema binário, ou seja, base 2, temos 2, 4 e 8, que são respectivamente as potências 2^1 , 2^2 e 2^3 , são representadas por 10, 100 e 1000 respectivamente.

Lembre-se também de que, na contagem no sistema binário, ao acrescentarmos uma unidade ao valor 1 em uma posição, substituímos esse 1 por 0 e acrescentamos uma unidade à posição imediatamente à esquerda. Assim, se quisermos obter uma potência de 2 a partir de um número qualquer representado na base 2, podemos usar um processo bem mais fácil que determinar a próxima potência e fazer a subtração, tal como fizemos para encontrar o complemento na base 10.

O processo consiste em encontrar qual o número que somado ao número que temos, terá uma representação apenas de 1's. Isso porque, ao somarmos uma unidade a um número com essa representação, teremos a próxima potência de 2.

Vamos a um exemplo, que tornará as coisas mais claras.

Seja o número 1001 na base 2. Qual o número que somado a ele, nos dará um resultado representado apenas por 1's? Isso mesmo! 110, pois $1001 + 0110 = 1111$.

E para o número 111000010101? Quanto devemos somar para obter uma representação só de 1's? 000111101010. Você percebeu que basta inverter dígito a dígito? Isso porque nas posições nas quais já temos 1, somamos 0 e nas posições nas quais temos 0, somamos 1.

O próximo passo é acrescentar uma unidade ao valor encontrado e teremos uma potência de 2.

Vamos começar com um número pequeno.

Para encontrar o complemento de 101, devemos encontrar o número que somado a ele nos dá a próxima potência de 2. Somando 010 a 101 temos 111 e somando 1 a este valor temos 1000. Logo, se somarmos $010 + 1$ ao nosso 101, teremos a próxima potência de 2, que é 1000. Assim, o complemento de 101 é 11 ($010+1$).

Sistematizando:

Para encontrar o complemento de um número binário, invertemos cada dígito e acrescentamos 1 ao resultado obtido.

Qual o complemento de 1011?

$(0100 + 1) = 101$.

Veremos adiante que o complemento pode ser usado para realizar operações de subtração utilizando um somador. Assim, ao invés de implementar um sistema de soma e um de subtração, podemos usar um sistema de soma e um de complemento, que é significativamente mais simples se já possuímos um somador.

Exemplo:

Complemento de $(7)_{10} - 7 = 3$

No sistema binário para chegar-se ao complemento, obtém-se primeiramente o falso complemento.

$(1011)_2$
 $0100 \longrightarrow$ Complemento falso

Complemento verdadeiro consiste em somar-se 1 (um) ao complemento falso.

0100
 $+ 1$
 \hline
 0101

Conversão de Bases

Conversão para base decimal - Para convertermos um número representado em qualquer sistema numérico, para o sistema decimal usamos a notação posicional e resolvemos a expressão como na base decimal. Já fizemos isso anteriormente, não fizemos?

Seja o número 1101 no sistema binário.

A notação posicional seria:

$$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 =$$

$$1 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 =$$

$$8 + 4 + 0 + 1 = (13)_{10}$$

Portanto $(1101)_2 = (13)_{10}$

Como segundo exemplo o número 107 do sistema octal. A notação posicional seria:

$$\begin{aligned}
 1 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 &= \\
 1 \times 64 + 0 \times 8 + 7 \times 1 &= \\
 64 + 0 + 7 &= (71)_{10} \\
 \text{Portanto } (107)_8 &= (71)_{10}
 \end{aligned}$$

Conversão do sistema decimal para outras bases - Para conversão da base 10 para outras bases, o método consiste em divisões sucessivas pela base desejada, até que o quociente seja nulo. Os restos das divisões indicarão o resultado da conversão, sendo o primeiro resto equivalente ao dígito menos significativo e o último ao mais significativo.

Exemplo 1

Façamos a conversão do número $(934)_{10}$ para base hexadecimal.

$$\begin{array}{r|l}
 \rightarrow & (10 \quad A) \\
 934 & \begin{array}{r|l}
 \hline 16 \\
 \hline 58 & \begin{array}{r|l}
 \hline 16 \\
 \hline 3 & \begin{array}{r|l}
 \hline 16 \\
 \hline 0 \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}$$

1º resto 6
 2º resto 10
 3º resto 3

Portanto $(934)_{10} = (3A6)_{16}$

Exemplo 2:

Conversão do número $(76)_{10}$ para a base 8.

$$\begin{array}{r|l}
 76 & \begin{array}{r|l}
 \hline 8 \\
 \hline 9 & \begin{array}{r|l}
 \hline 8 \\
 \hline 1 & \begin{array}{r|l}
 \hline 8 \\
 \hline 0 \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}$$

4
1
1

Portanto $(76)_{10} = (114)_8$

Exemplo 3:

Conversão do número $(12)_{10}$ para a base 2.

$$\begin{array}{r|l}
 12 & 2 \\
 \hline
 0 & 6 \\
 \hline
 & 0 \\
 & | \\
 & 2 \\
 & \hline
 & 3 \\
 & | \\
 & 1 \\
 & | \\
 & 2 \\
 & \hline
 & 1 \\
 & | \\
 & 1 \\
 & | \\
 & 2 \\
 & \hline
 & 0
 \end{array}$$

Portanto $(12)^{10} = (1100)^2$

Lembre-se que o resto da divisão por um número é sempre menor que este número e, de fato, se vamos representar um valor em uma determinada base, deveremos usar algarismos menores que essa base.

Uma outra observação importante é que ao converter um número da base decimal para a hexadecimal, podemos encontrar restos 15, 14, 13, 12, 11 e 10 que nesse caso deverão ser substituídos pelas letras F, E, D, C, B e A, respectivamente, pois elas representam os referidos valores na base 16.

Para converter números de uma base diferente de 10 para outra diferente de 10, aconselhamos a converter inicialmente o número na primeira base para a base 10 e depois fazer a conversão da base 10 para a segunda base.

Contagem nas Diversas Bases

Na tabela de contagem nos sistemas de base decimal, binária, octal e hexadecimal observa-se que um número expresso num sistema de base menor exige maior quantidade de algarismos do que outro, de base maior, para representar a mesma quantidade.

DECI-MAL	BINARIA	OCTAL	HEXA-DEC.
0	0	0	0
1	1	1	1
2	$10 = 2^1$	2	2
3	11	3	3
4	$100 = 2^2$	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	$1000 = 2^3$	$10 = 8^1$	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	$10000 = 2^4$	20	$10 = 16^1$
-	-	-	-
31	11111	37	1F
32	$100000 = 2^5$	40	20
-	-	-	-
63	111111	77	3F
64	$1000000 = 2^6$	$100 = 8^2$	40
-	-	-	-
99	1100011	143	63
100	1100100	144	64
-	-	-	-
127	1111111	177	7F
128	$10000000 = 2^7$	200	80
-	-	-	-
255	11111111	377	FF
256	$100000000 = 2^8$	400	$100 = 16^2$
-	-	-	-
-	-	$1000 = 8^3$.

Fonte: IAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Códigos

Códigos são convenções usadas para indicarmos uma mensagem por meio de uma sequência de dígitos. Em computação, uma das utilidades dos códigos é a representação de caracteres alfanuméricos. Assim, podemos representar uma letra por uma sequência de bits ou também podemos representar um número grande, que em binário seria enorme, por uma sequência de bits que convencionalmente representam algarismos do sistema decimal.

São vários os códigos existentes para esta finalidade, sendo que uns apresentam vantagens em relação a outros, de acordo com a aplicação ou funções internas do equipamento.

Código BCD 8421 - A sigla BCD representa as iniciais de "Binary Coded Decimal", que significa uma codificação no sistema decimal em binário. Os termos seguintes (8421) significam os pesos de cada coluna, isto é,

$$8 = 2^3, 4 = 2^2, 2 = 2^1 \text{ e } 1 = 2^0.$$

O valor corresponderá à soma dos pesos onde na coluna houver o "bit" um (1).

DECIMAL	BCD 8	4	2	1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

O número de "bits" de um código é o número de dígitos binários que este possui.

O código BCD 8421 é um código de 4 "bits".

Utilizando este código, podemos representar, por exemplo, o número 98 por 1001 1000 ao invés de 1100010 que apesar de utilizar menor número de bits é mais difícil de visualizar, além de ser pouco prático em determinadas aplicações, tal como a representação em um painel numérico, por exemplo.

Código excesso 3 - Consiste na transformação do número decimal, no binário correspondente, somando-se a ele três unidades.

Exemplo:

$$(0)_{10} = (0000)_2$$

Somando-se três unidades, teremos 0011

DECIMAL	EXCESSO 3
0	0 0 1 1
1	0 1 0 0
2	0 1 0 1
3	0 1 1 0
4	0 1 1 1
5	1 0 0 0
6	1 0 0 1
7	1 0 1 0
8	1 0 1 1
9	1 1 0 0

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

O código Excesso 3 é utilizado em circuitos aritméticos.

Código Johnson - Baseia-se no deslocamento de "bits" e é utilizado na construção do Contador Johnson.

DECIMAL	JOHNSON
0	0 0 0 0 0
1	0 0 0 0 1
2	0 0 0 1 1
3	0 0 1 1 1
4	0 1 1 1 1
5	1 1 1 1 1
6	1 1 1 1 0
7	1 1 1 0 0
8	1 1 0 0 0
9	1 0 0 0 0

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Código Gray ou sistema de numeração refletido - Sua principal característica é que, em contagens sucessivas, apenas um "bit" varia.

A codificação Gray é mostrada na tabela a seguir, onde os campos em destaque representam um "espelho" a ser refletido para a contagem seguinte, acrescentando-se um "bit" 1 (um) imediatamente à esquerda.

DECIM.	BINÁRIO	GRAY
0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0
1	0 0 0 0 1	0 0 0 0 1
2	0 0 0 1 0	0 0 0 1 1
3	0 0 0 1 1	0 0 0 1 0
4	0 0 1 0 0	0 0 1 1 0
5	0 0 1 0 1	0 0 1 1 1
6	0 0 1 1 0	0 0 1 0 1
7	0 0 1 1 1	0 0 1 0 0
8	0 1 0 0 0	0 1 1 0 0
9	0 1 0 0 1	0 1 1 0 1
10	0 1 0 1 0	0 1 1 1 1
11	0 1 0 1 1	0 1 1 1 0
12	0 1 1 0 0	0 1 0 1 0
13	0 1 1 0 1	0 1 0 1 1
14	0 1 1 1 0	0 1 0 0 1
15	0 1 1 1 1	0 1 0 0 0
16	1 0 0 0 0	1 1 0 0 0

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

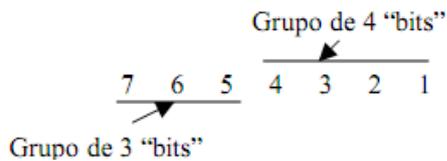
Este tipo de codificação garante que, com a variação de apenas um "bit" de uma contagem para outra, reduzam-se as consequências negativas geradas pela mudança de estado simultânea de registradores.

Código ASCII - O código ASCII é um tipo de codificação BCD, largamente utilizado em computadores digitais e em equipamentos de comunicação de dados. A sigla ASCII é formada pelas iniciais de American Standard Code for Information Interchange (Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informações).

Consiste de um código binário de sete "bits" para transferir informações entre computadores e seus periféricos e em comunicação de dados a distância.

Com um total de sete "bits", podemos representar $2^7 = 128$ estados diferentes ou caracteres, que são usados para representar os números decimais de 0 a 9, letras do alfabeto e alguns caracteres especiais de controle.

É formado por dois grupos de "bits", sendo um de 4 "bits" e outro de 3 "bits".



Formato do caráter no Código ASCII

CARACTER	ASCII						
	7	6	5	4	3	2	1
0	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	1
2	0	1	1	0	0	1	0
-							
9	0	1	1	1	0	0	1
-							
A	1	0	0	0	0	0	1
B	1	0	0	0	0	1	0
-							
Z	1	0	1	1	0	1	0
-							
a	1	1	0	0	0	0	1
b	1	1	0	0	0	1	0
-							
z	1	1	1	1	0	1	0

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Exemplos de representações no código ASCII

5.2 OPERAÇÕES BINÁRIAS

A eletrônica em seus primórdios tinha seus cálculos baseados em álgebra convencional, através de sistemas analógicos ou lineares. Máquinas registradoras com sistemas de engrenagens são exemplos desses dispositivos.

Com o advento das portas lógicas e processadores eletrônicos, bem como de sistemas de comunicação e controle digitais, os problemas vieram a ser resolvidos baseados em uma álgebra especial, não linear, mas binária, isto é, baseada em dois valores lógicos V ou F, 0 ou 1, etc.

Aritmética Binária

As regras utilizadas em operações binárias no sistema decimal são também seguidas nas mesmas operações em outros sistemas de numeração. Neste capítulo trataremos de algumas técnicas que tornam mais simples a efetuação destas operações.

Adição no sistema binário - Para efetuarmos a adição no sistema binário, devemos agir como uma adição no sistema decimal, lembrando que no sistema binário temos apenas dois algarismos.

$$\begin{array}{r}
 1\ 0\ 0\ 1\ a \\
 + \\
 1\ 0\ 1\ 0\ b \\
 \hline
 0\ 0\ 1\ 1\ \text{soma} \\
 \leftarrow \text{vai um} \\
 1\ 0\ 0\ 0\ \text{transporte ou} \\
 \text{carreamento}
 \end{array}$$

A tabela mostra a operação soma e o transporte em separado. O símbolo + é o operador soma.

Como $1 + 1 = 10$ no sistema binário, o resultado é 0 (zero) e o transporte para a coluna imediatamente à esquerda é 1 (um). Esse transporte é idêntico ao do sistema decimal, pois quando tivermos uma soma igual ou maior que a base, haverá um "vai um" que será somado ao dígito de valor posicional imediatamente superior.

Exemplo 1:

$$\begin{array}{r}
 a + b \\
 (11)_2 + (10)_2 = (101)_2 \\
 3 + 2 = 5 \\
 + \\
 1\ 1\ a \\
 \hline
 1\ 0\ 1\ \text{soma} \\
 \leftarrow \text{vai um}
 \end{array}$$

Exemplo 2:

$$\begin{array}{r}
 a + b \\
 (110)_2 + (111)_2 = (1101)_2 + \\
 6 + 7 = 13
 \end{array}$$

Exemplo 3

$$\begin{array}{r}
 a + b \\
 11001 + 1011 = 100100 + \\
 25 + 11 = 36
 \end{array}$$

Subtração no sistema binário- O método de resolução é análogo a uma subtração no sistema decimal:

$$\begin{array}{r}
 0\ 0\ 0\ 1 \text{ empréstimo} \\
 \swarrow \\
 0\ 1\ 1\ 0 \text{ a} \\
 - 0\ 1\ 0\ 1 \text{ b} \\
 \hline
 0\ 0\ 0\ 1 \text{ diferença}
 \end{array}$$

Exemplo 1

$$\begin{array}{r}
 a - b \\
 111 - 100 = 011 \\
 7 - 4 = 3
 \end{array}$$

Exemplo 2

$$\begin{array}{r}
 a - b \\
 1000 - 111 = 1 \\
 8 - 7 = 1
 \end{array}$$

Nos exemplos acima foram utilizados números tais que $a > b$. Consideremos agora um caso com $a < b$.

$$\begin{array}{r}
 a - b \\
 10110 - 11001 = -00011 \\
 22 - 25 = -3
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 1\ 0\ 1\ 1\ 0 \text{ a} \\
 -1\ -1\ -1\ \text{ empréstimo} \\
 \hline
 1\ 1\ 0\ 0\ 1 \text{ b} \\
 \hline
 1\ 1\ 1\ 0\ 1 \text{ resultado parcial}
 \end{array}$$

Neste exemplo, seguindo-se as regras anteriores, observa-se que houve um empréstimo de uma posição que não havia no minuendo. Usou-se o algarismo 1 da próxima potência de 2. Nesta situação efetua-se a operação “complemento”, que consiste em inverterem-se os bits "0" por "1" e vice-versa, somando-se "1" em seguida. O resultado obtido é considerado “negativo”.

$$\begin{array}{r}
 1\ 1\ 1\ 0\ 1 \text{ resultado parcial} \\
 +\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0 \text{ resultado invertido} \\
 \quad \quad \quad 1 \text{ (complemento)} \\
 \hline
 0\ 0\ 0\ 1\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 1\ 1 \text{ resultado final}
 \end{array}$$

Multiplicação no sistema binário - Procede-se como em multiplicações no sistema decimal, tendo-se como regra básica:

$$\begin{array}{l}
 0 \times 0 = 0 \\
 0 \times 1 = 0 \\
 1 \times 0 = 0 \\
 1 \times 1 = 1
 \end{array}$$

Exemplo 1

$$\begin{array}{r}
 a \times b \qquad \qquad 1\ 0\ 0\ 0\ a \\
 1000 \times 1 = 1000 \quad \times \underline{\qquad\qquad\qquad 1\ b} \\
 8 \times 1 = 8 \qquad \quad 1\ 0\ 0\ 0 \text{ produto}
 \end{array}$$

Exemplo 2

$$\begin{array}{r}
 a \times b \qquad \qquad \qquad 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ a \\
 10101 \times 10 = 101010 \quad \times \underline{\qquad\qquad\qquad 1\ 0\ b} \\
 21 \times 2 = 42 \qquad \quad 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\
 \text{produto } 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0 \quad \underline{\qquad\qquad\qquad 1\ 0\ 1\ 0\ 1}
 \end{array}$$

Divisão no sistema binário - Procede-se como em divisões no sistema decimal.

Exemplo:

$$\begin{array}{l} a : b \\ 111100 : 1100 = 101 \\ 60 : 12 = 5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r|l} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & & 1 & 1 & 0 & 0 \\ - & 1 & 1 & 0 & 0 & & & 1 & 0 & 1 & \\ \hline 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & & & & & & \\ - & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & & \\ \hline 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & & & & & & \\ - & 1 & 1 & 0 & 0 & & & & & & \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & & \text{resto} \end{array}$$

5.3 ÁLGEBRA DE BOOLE

Em meados do século passado G. Boole desenvolveu um sistema matemático de análise lógica. Esse sistema é conhecido como Álgebra de Boole.

A álgebra booleana é baseada em apenas dois estados. Estes estados poderiam, por exemplo, ser representados por tensão alta e tensão baixa ou tensão positiva e tensão negativa.

Assim como na álgebra linear, encontramos vários tipos de funções, como veremos a seguir. Essas funções, basicamente têm como entrada dois valores, sendo que cada um deles pode ser 0 ou 1, e fornecem como saída um valor, também 0 ou 1. A definição da função irá determinar qual deve ser a saída de acordo com a entrada dada. Por exemplo, uma determinada função pode fornecer saída 1 caso as entradas sejam 0 e 1, mas uma outra função, para essas mesmas entradas, pode fornecer saída 0. É importante lembrar que a mesma função irá sempre fornecer a mesma saída para os mesmos conjuntos de entradas. Ou seja, se uma determinada função fornece saída 1 para as entradas 0 e 1, sempre que se der como entrada 0 e 1, a saída será 1.

Nesse contexto, temos algumas funções que são chamadas de básicas. As funções básicas são as mais simples e das quais se pode obter outras funções por associação. Podemos ter funções compostas, que são formadas pela associação de outras funções. Ainda existe a classe de funções universais que tem a característica de poderem implementar quaisquer das outras funções com apenas um tipo delas. As funções universais são importantes na indústria de componentes, pois pode-se fazer um chip com apenas um tipo de função e o usuário a associa conforme a sua necessidade, criando as funções de que necessita.

Funções Básicas

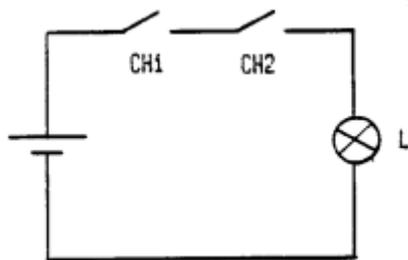
Função "E" ou "AND" -

É aquela que fornece saída 1 somente se ambas as entradas forem 1, caso contrário, a saída é 0.

A função "E" equivale à multiplicação das duas variáveis de entrada.

$S = A \cdot B$ (onde se lê A e B)

Para melhor entendimento veja a figura 59.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 59 Circuito da função E ou AND

Convenções:

Chave aberta = 0

Chave fechada = 1

Lâmpada apagada = 0

Lâmpada acesa = 1

Situações possíveis:

Ch 1 aberta e Ch 2 aberta = lâmpada apagada
 $0 * 0 = 0$

Ch 1 aberta e Ch 2 fechada = lâmpada apagada
 $0 * 1 = 0$

Ch 1 fechada e Ch 2 aberta = lâmpada apagada
 $1 * 0 = 0$

Ch 1 fechada e Ch 2 fechada = lâmpada acesa
 $1 * 1 = 1$

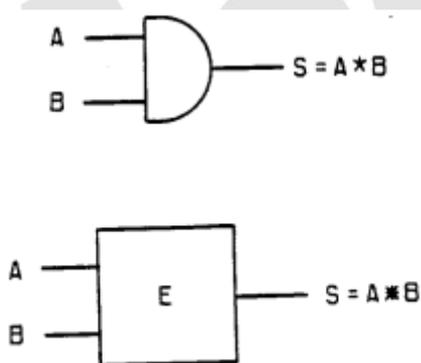
Concluimos que a lâmpada só acenderá quando a Ch 1 e a Ch 2 estiverem fechadas, correspondendo a equação $A \cdot B = S$

Podemos sintetizar o resultado da aplicação de diversas combinações de entrada em uma função através de uma tabela, na qual listamos todas as situações possíveis de entrada e as respectivas saídas.

A	B	S = A . B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabela Verdade da função E ou AND

Costumamos também representar as funções através de simbologia própria. São as chamadas “portas lógicas”.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

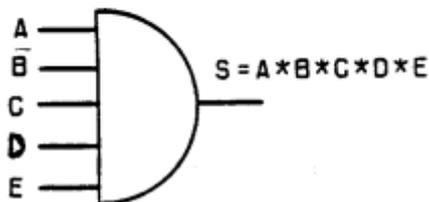
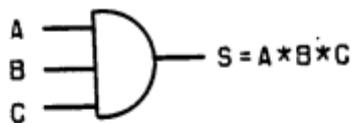
Figura 60 Simbologia da função E ou AND

O número de situações possíveis constante na tabela verdade é igual a 2^n , onde N é o número de variáveis de entrada.

Uma porta "E" com duas entradas tem $2^n = 2^2 = 4$ situações possíveis.

Podemos encontrar portas lógicas com três ou mais entradas como mostrado na figura 61.

Essas portas são obtidas pela associação de portas de duas entradas.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 61 Portas E ou AND de três e de cinco entradas.

Repare que no caso das portas lógicas “E” com múltiplas entradas, a regra de formação da saída permanece a mesma: “a saída será 1 somente se TODAS as entradas forem 1, caso contrário, a saída será 0”.

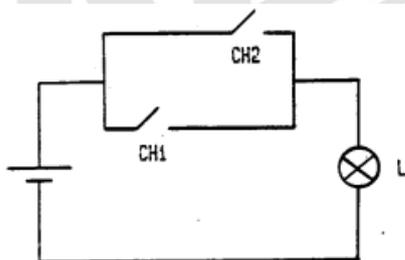
Função “OU” ou “OR” -

É aquela que assume o valor 1 na saída, quando uma ou mais variáveis na entrada forem iguais a 1, e assume o valor 0 se, e somente se, todas as entradas forem iguais a 0.

A saída da função “OU” equivale a soma das variáveis de entrada, considerando que só teremos soma 0 se ambas as parcelas forem 0. No caso de ambas serem 1, teríamos resultado 10, que nesse tipo de análise, é considerado como 1.

$$S = A + B \text{ (S igual a A ou B)}$$

Para melhor compreensão veja a figura 17-4



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 62 Circuito da função OU ou OR

Convenções:

Chave aberta = 0

Chave fechada = 1

Lâmpada apagada = 0

Lâmpada acesa = 1

Situações possíveis:

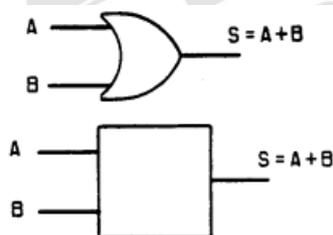
Ch 1 aberta e Ch 2 aberta = lâmpada apagada
 $0 + 0 = 0$

Ch 1 aberta e Ch 2 fechada = lâmpada acesa
 $0 + 1 = 1$

Ch 1 fechada e Ch 2 aberta = lâmpada acesa
 $1 + 0 = 1$

Ch 1 fechada e Ch 2 fechada = lâmpada acesa
 $1 + 1 = 1$

Concluimos que a lâmpada acenderá quando pelo menos uma das chaves estiver ligada, correspondendo à equação $A + B = S$.



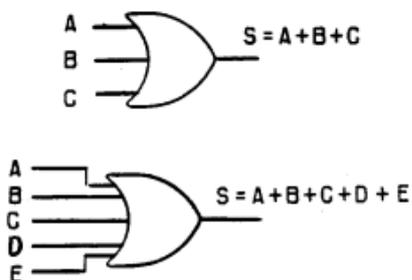
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 63 Simbologia da função OU ou OR

Tabela Verdade da função OU ou OR

A	B	S = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Portas OR também podem ser encontradas com 3 ou mais entradas.

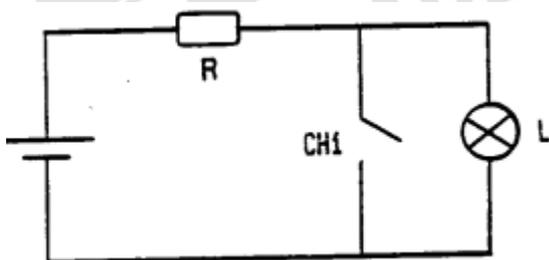


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 64 Exemplos de portas OR

Função “NÃO” ou “NOT” -

A função NÃO, complemento ou inversão, é aquela que inverte o estado da variável, isto é, "0" inverte para "1" e "1" inverte para "0". Esta função tem exclusivamente apenas uma entrada. Veja a figura 65.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 65 Circuito da função NOT ou NÃO

Convenções:

- Chave aberta = 0
- Chave fechada = 1
- Lâmpada apagada = 0
- Lâmpada acesa = 1

Situações possíveis:

Chave 1 aberta = lâmpada acesa
0 = 1

Chave 1 fechada = Lâmpada apagada
1 = 0

Tabela verdade da função NOT ou NÃO

A	\bar{A}
0	1
1	0

Onde \bar{A} representa o inverso de A

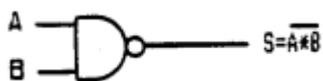
Funções Universais

Função “NÃO E” ou “NAND” -

A função “NÃO E” fornece saída 0 somente se ambas as entradas forem 1, e saída 1 em qualquer outro caso.

É uma combinação das funções "E" e "NÃO", que é representada da seguinte forma:

$S = \overline{A * B}$ (S igual a A e B barrados, ou A e B "not").



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 66 Simbologia NAND

Tabela Verdade da função NAND

A	B	$\overline{A*B}$ (S)
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Função "NÃO OU" ou "NOR" -

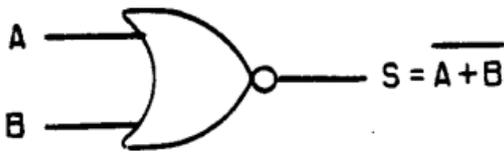
A função "NÃO OU" fornece saída 1 somente se a ambas as entradas forem 0, caso contrário, a saída será 1.

É a combinação das funções OU e NÃO, que é representada da seguinte forma:

$$S = \overline{A + B} \text{ (S igual a A ou B barrado, ou A ou B "not").}$$

Tabela Verdade NOR

A	B	S = A + B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 67 Simbologia NOR

Funções XOR ou XNOR - As portas NAND e NOR são ditas portas universais, porque vários circuitos podem ser derivados, utilizando apenas estes tipos de portas.

Podemos criar diversas funções combinando os vários tipos de portas lógicas, dentre elas as denominadas XOR e XNOR.

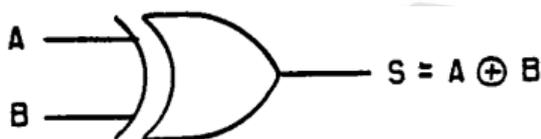
Funções Compostas

Função "OU EXCLUSIVO" ou "XOR"-

A função XOR é chamada de função comparadora de desigualdade, pois terá saída 1 se as entradas forem diferentes e saída 0 se as entradas forem iguais.

Tabela Verdade e Simbologia

A	B	$S = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

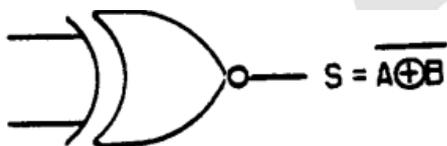
Figura 68 Simbologia XOR

Função “NÃO OU EXCLUSIVO” ou “XNOR”-

A função XNOR identifica a igualdade nas entradas, ou seja, gera saída 1 se as entradas forem iguais e saída 0 se forem diferentes.

Tabela Verdade e Simbologia

A	B	$S = \overline{A + B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 69 Simbologia XNOR

As portas XOR e XNOR são denominadas portas COMPARADORAS.

A porta XOR é denominada comparadora de desigualdade e a porta XNOR comparadora de igualdade.

Formas Canônicas

As portas lógicas apresentadas podem ser associadas para produzirem uma ou mais saídas derivadas de uma ou mais entradas que não sigam necessariamente os padrões estabelecidos pelos circuitos padrão dessas portas. Associando adequadamente os diversos tipos de portas lógicas, pode-se implementar praticamente qualquer circuito que tenha uma representação na forma de tabela verdade. Estes circuitos poderão ser representados através de FORMAS CANÔNICAS, que são fórmulas matemáticas representativas da tabela verdade. Através da forma canônica de um circuito, pode-se facilmente descobrir que portas lógicas usar para implementá-lo na prática.

Pode-se representar a tabela verdade por um produto de somas (forma canônica conjuntiva) ou por uma soma de produtos (forma canônica disjuntiva). Existem técnicas regras básicas para se obter as formas canônicas, mas para nossa finalidade de estudo, basta verificar um exemplo.

Seja a tabela verdade a seguir:

ENTRADAS			SAÍDA	
A	B	C	f	
0	1	0	1	$\overline{A} * B * \overline{C}$
0	1	1	1	$A * B * C$
1	0	0	1	$A * \overline{B} * \overline{C}$
1	1	0	1	$A * B * \overline{C}$

Existem 8 entradas possíveis: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 e 111. Dessas entradas, podemos perceber pela tabela que algumas devem produzir saída 1, são elas: 010, 011, 100 e 110. Como descobrir qual o circuito implementa esta saída?

Sabemos que a porta E, representada matematicamente pelo produto, fornece saída 1 se todas as entradas forem 1. Então, invertemos as entradas que são 0 em cada linha e as multiplicamos. Assim, temos quatro situações nas quais a saída será 1. Mas desejamos que a saída seja 1 se qualquer uma dessas situações ocorrerem, ou seja, se ocorrer uma OU outra. A função OU é representada pela soma matemática. Assim, temos a implementação do circuito pela soma dos produtos anteriormente encontrados.

$$f = \overline{A}BC + A\overline{B}C + ABC + \overline{A}\overline{B}\overline{C} \quad \text{Forma Canônica}$$

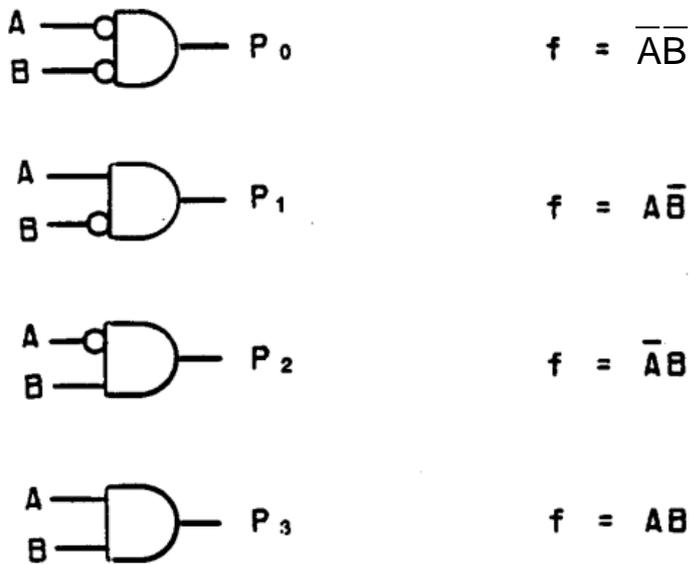
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Na função f acima, vemos que se qualquer dos produtos de três entradas for 1, a saída será 1. Mas cada produto corresponde a uma linha da tabela. Verifiquemos a primeira linha, pois o raciocínio para as demais é análogo. Na primeira linha temos que a saída é 1 se as entradas forem $A=0$, $B=1$ e $C=0$. Ou seja, se o complemento ou inversão de A for 1, B for 1 e complemento de C for 1. Logo, concluímos que a saída será o produto $\overline{A}B\overline{C}$. Onde a letra com a barra em cima representa o complemento ou inverso dela, ou seja, se A é 1, A com barra é 0. Vemos pela fórmula apresentada que quando $A=0$, $B=1$ e $C=0$, o resultado será 1 e que se qualquer dessas variáveis for alterada, o resultado será 0. Isso é a representação da primeira linha da tabela verdade. Mas se qualquer das linhas for 1, o resultado deve ser 1, então, somamos todas as fórmulas correspondentes a cada linha. A soma só será 0 se todos os resultados forem 0.

Circuitos geradores de produtos canônicos- São circuitos que geram as formas canônicas básicas, onde são estabelecidas e combinadas as entradas para todas as variações.

Estabelecida a forma canônica de um circuito por fórmula matemática, basta implementar os complementos ou inversos com portas inversoras, os produtos com portas E e as somas com portas OU.

Se quisermos gerar os produtos canônicos possíveis com " n " variáveis, necessitaremos de 2^n portas de " n " entradas.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 70 Exemplos com duas variáveis

5.4 CIRCUITOS DE COMUTAÇÃO

Os circuitos lógicos de um equipamento precisam ser compatíveis às necessidades do projeto. Na execução de funções lógicas, as entradas e saídas são variáveis, requisitando padrões de comutação.

Dentre as características dos circuitos de comutação, podemos citar as tensões de referência para os valores 0 e 1, o tempo de propagação do sinal, a potência dissipada pelo dispositivo, a imunidade à ruídos e a quantidade de saídas suportada pelo dispositivo.

Níveis Lógicos

Os níveis lógicos são as tensões designadas como estado "1" e estado "0" binários, para certo tipo de circuito digital.

Os valores nominais para os dois níveis são bem determinados mas, na prática, os valores obtidos podem variar, devido à tolerância dos componentes internos do circuito integrado, variações da fonte de alimentação, temperatura e outros fatores. Geralmente os fabricantes fornecem os valores máximos e mínimos admitidos para cada um dos níveis lógicos.

Por exemplo, pode ser definido que 5 Volts sejam interpretados como nível lógico 1 e 0 Volt como 0. Mas e se o circuito anterior, por questões de perdas não conseguir suportar 5 V e der uma entrada de 4,7 V? Essa entrada ainda será interpretada como 1?

É muito importante conhecer os níveis lógicos de um determinado tipo de circuito integrado pois, deste modo, ao trabalhar com equipamentos digitais, será fácil identificar os estados lógicos das entradas e saídas.

Tempo de Propagação

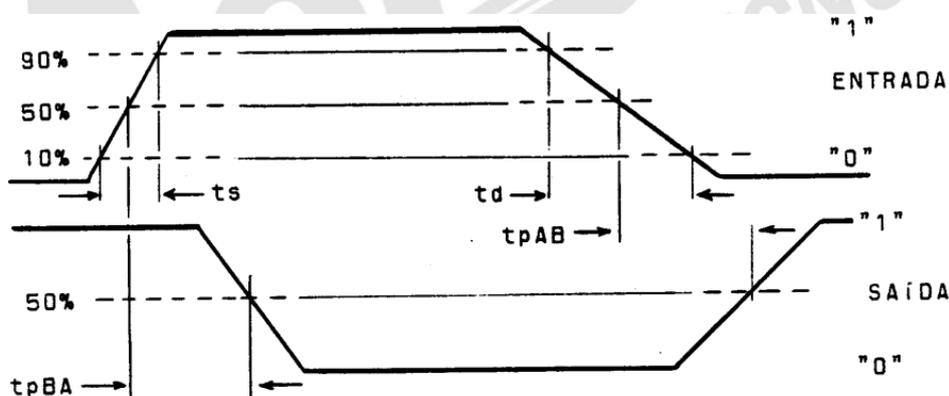
O tempo de propagação (Propagation Delay) é a medida do tempo de operação de um circuito lógico. A velocidade de operação é uma das características mais importantes e, para a maior parte das aplicações digitais, uma alta velocidade de operação, ou seja, um baixo tempo de propagação é desejável.

O tempo de propagação exprime o espaço de tempo necessário para que a saída de um circuito digital responda a uma mudança de nível de entrada. É composto pelo acúmulo de tempos de transição e retardo associados a qualquer circuito lógico.

Quando a tensão de entrada de um circuito digital muda de "0" para "1", ou vice-versa, a saída deste circuito responderá após certo período de tempo.

A figura 71 dá um exemplo de tempo de propagação. Temos aí representada a entrada de um circuito digital e, logo abaixo, a saída correspondente.

Veja que a transição de "0" para "1" na entrada ocasiona uma transição de "1" para "0" na saída e que a transição de saída ocorre certo tempo após a transição de entrada. Isto é que chamamos de tempo de propagação.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 71 Tempo de propagação

O tempo de propagação (t_p) é medido geralmente entre os pontos de 50% de amplitude, da transição inicial da entrada para a transição inicial da saída ou da transição final da entrada para a transição final da saída.

Observe ainda que existem dois tipos de tempo de propagação: um deles ocorre quando a entrada passa do nível baixo para o nível alto (t_{pBA}), e o outro quando a entrada passa de alto para baixo (t_{pAB}). Os dois tipos de tempos de propagação são geralmente diferentes, devido às características dos circuitos lógicos.

Os tempos de subida e descida dos pulsos de entrada e saída também são importantes. Define-se tempo de subida (t_s), como o período de tempo tomado pelo pulso para subir de 10% a 90% de sua amplitude máxima. O tempo de descida (t_d) é o necessário para o pulso descer de 90% a 10% dessa mesma amplitude.

Para a maioria dos circuitos integrados digitais, os tempos de subida e descida são bastante reduzidos. Podem ser conseguidos tempos de transição de 1 nanosegundo. Alguns tipos de circuitos digitais modernos apresentam tempos de propagação que chegam a apenas algumas dezenas de nanosegundos. Os tempos de transição são normalmente menores que os tempos de propagação.

Os tempos de propagação podem variar consideravelmente devido a tolerâncias de fabricação, fiação, etc. e são cumulativos. Quando portas e outros circuitos lógicos combinacionais são ligados uns aos outros, os tempos de propagação se somam.

Potência Dissipada

É a potência consumida por um circuito lógico operando em tempos iguais nos estados "0" e "1" isto é, num ciclo de carga de 50%.

A potência total dissipada por um circuito é uma consideração importante no projeto de um equipamento digital, pois uma elevada dissipação em potência significa um grande consumo de energia, o que irá determinar o tamanho e o custo da fonte de alimentação.

O calor liberado pelos circuitos também está relacionado à potência dissipada pelos mesmos e às vezes torna-se necessário o uso de sistemas de refrigeração, para garantir o bom funcionamento dos dispositivos.

A potência dissipada por uma porta pode variar da ordem de alguns microwatts até 100 miliwatts.

Compromisso Velocidade-Potência

As duas características descritas, velocidade potência dissipada, são diretamente interdependentes em todos os tipos de circuitos lógicos digitais. A relação entre elas é tal que a velocidade se apresenta proporcional à potência dissipada, ou seja, quanto mais rápida a comutação de um circuito lógico, maior será a potência dissipada.

Os circuitos lógicos de alta velocidade empregam transistores bipolares não saturados que, associados a resistências internas de baixos valores, produzem um alto consumo de potência. Os circuitos integrados do tipo MOS (Metal-Oxide-Semiconductor), consomem um mínimo de potência devido as altas impedâncias inerentes a esses componentes. No entanto, refletem em velocidades de comutação muito baixas, limitando sua operação a frequências também baixas. Pelo seu consumo bastante reduzido, adequam-se perfeitamente aos equipamentos portáteis operados a bateria, nos quais a alta velocidade não seja fator relevante.

Imunidade a Ruídos

A imunidade a ruídos é uma medida da característica do funcionamento do circuito não ser influenciado por sinais externos. Considera-se ruído qualquer sinal estranho, gerado externamente ou pelo próprio equipamento e que é acrescentado ou superposto aos sinais padrão do sistema.

Esse ruído pode ser um nível de tensão variando lentamente, picos de tensão, ou sinais de alta frequência e pequena duração. O ruído pode provocar uma comutação no circuito lógico, para um estado indesejável num momento impróprio.

A imunidade da maioria dos circuitos lógicos é de aproximadamente 10% a 50% do valor da tensão de alimentação. Isto significa que um pico será rejeitado, caso sua amplitude seja inferior a 10% ou 50% da tensão de alimentação.

A imunidade a ruídos é uma consideração de grande importância, porque a maioria dos sistemas digitais gera uma quantidade considerável de ruído em comutações de alta velocidade. Além disso, muitos equipamentos digitais são utilizados em ambientes industriais de ruído intenso, onde interferências provenientes das linhas de força e de outros equipamentos elétricos podem causar falsas comutações nos circuitos lógicos.

"Fan-out"

"Fan-out" é uma característica que indica o quanto de carga pode ser ligado à saída de um circuito digital. É geralmente expresso em termos de número de cargas padrão que a saída de uma porta lógica aceita, sem afetar o nível lógico nominal, velocidade, temperatura ou outras características.

Uma porta lógica pode, por exemplo, apresentar um "Fan-out" igual a 10, o que indica que até dez entradas de portas poderiam ser ligadas à saída deste circuito lógico, sem afetar a sua operação.

5.5 FAMÍLIAS DE CIRCUITOS LÓGICOS

Como podem ser notados, os circuitos lógicos possuem características que deverão ser observadas durante o projeto, para que o mesmo utilize os componentes adequados à aplicação do equipamento. De acordo com estas características, os circuitos lógicos são agrupados em famílias.

Entende-se por famílias de circuitos lógicos, os tipos de estruturas internas que permitem a confecção dos blocos lógicos em circuitos integrados.

Dentre as famílias podemos destacar:

- RTL (Resistor-Transistor Logic).
- DTL (Diode-Transistor Logic).
- HTL (High Threshold Logic).
- TTL (Transistor-Transistor Logic).
- ECL (Emitter-Coupled Logic).
- C-MOS (Complementary MOS).

Tecnologia MOS

A família MOS (Metal Oxide Semiconductor) compõe-se de circuitos formados por MOSFETS, que são transistores de efeito de campo construídos a partir da tecnologia MOS,

apresentando como características o baixo consumo e uma alta capacidade de integração, isto é, a colocação de uma grande quantidade de componentes lógicos num mesmo encapsulamento.

Comparação entre Famílias

Família RTL (Resistor-Transistor Logic)

Utiliza transistores e resistores, sendo das primeiras famílias utilizadas, formando portas NOR como principal bloco lógico.

Suas principais características são:

- Possui boa imunidade a ruídos;
- Tempo de propagação da ordem de 12 ns;
- Potência dissipada por bloco lógico, da ordem de 10 mW;
- Alimentação $3V \pm 10\%$.

Família DTL (Diode-Transistor Logic)

Utiliza diodos e transistores, sendo um desenvolvimento da lógica de diodos, permitindo a formação de blocos "E", "OU", "NAND" e "NOR".

Suas principais características são:

- Imunidade a ruídos da ordem de 0,8V;
- Tempo de propagação da ordem de 30ns;
- Potência dissipada da ordem de 10 mW por bloco lógico;
- Alimentação $5V \pm 10\%$.

Família HTL (High Threshold Logic)

Utiliza diodos e transistores como a DTL, acrescentando um diodo Zener, para aumento do nível de entrada, estabelecendo alta imunidade à ruídos.

Suas principais características são:

- Alta imunidade a ruídos;
- Alto tempo de propagação;
- Alta potência dissipada, da ordem de 60 mW.

Família TTL (Transistor-Transistor Logic)

É oriunda da família DTL, porém utilizando transistores multiemissores, que permitem a eliminação dos diodos e resistores de entrada, trazendo maior velocidade e menor custo, tornando-a das mais difundidas.

Suas principais características são:

- Boa imunidade a ruídos;
- Tempo de propagação da ordem de 10 ns;
- Potência dissipada da ordem de 20 mW por bloco lógico;
- Faixa de temperatura de 0° a 75° C.

* Identificação Comercial - série 74

Família ECL (Emitter Coupled Logic)

Utiliza nos circuitos, acoplamento pelo emissor dos transistores, o que os faz operar em regime de não saturação, permitindo a mais alta velocidade de comutação dentre as famílias.

Suas principais características são:

- Boa imunidade a ruídos;
- Muito baixo tempo de propagação, da ordem de 3 ns;
- Potência dissipada da ordem de 25 mW por bloco;
- Alimentação 5,2 V \pm 20%.

Família C-MOS (Complementary MOS)

É uma variação da família MOS, consistindo basicamente de pares de canais MOS complementares. Esta técnica tem como vantagem em relação ao MOS convencional, uma maior velocidade de comutação, da ordem de 80 ns, contra 300 ns.

Suas principais características são:

- Baixa dissipação de potência, da ordem de $10\mu\text{w}$;
- Alto índice de integração;
- Alta imunidade a ruídos;
- Ainda elevado tempo de propagação, da ordem de 60 a 70 ns;
- Larga faixa de alimentação de 3 a 18 V.

Métodos de Fabricação

Existem três formas básicas de se fabricar circuitos integrados. O método mais difundido é o chamado monolítico. Os outros são: o de película fina, ou de película espessa e o híbrido.

Método Monolítico - O circuito integrado monolítico é construído inteiramente de um único pedaço de silício semiconductor, chamado pastilha ou "chip". Materiais semicondutores são difundidos sobre esta base, dando origem a diodos, transistores e resistores. Como resultado, o circuito inteiro, com todos os componentes e interligações, forma-se sobre uma base única, dando origem ao termo "monolítico".

Os circuitos integrados monolíticos digitais se subdividem em dois tipos básicos: os Bipolares e os do tipo MOS, diferindo fundamentalmente no tipo de transistor utilizado. Os circuitos MOS, são mais fáceis de obter e ocupam menos espaço, desta forma é possível incluir muito mais circuitos num "chip" apresentando uma maior densidade de componentes e custo menor.

Método de película fina ou espessa - Neste método, os circuitos são obtidos depositando-se os materiais sobre uma base não condutora, como a cerâmica, formando resistores, capacitores e indutores. Normalmente os dispositivos semicondutores não são obtidos por este processo.

Método Híbrido - O circuito integrado híbrido é formado pela combinação de circuitos monolíticos e circuitos de película. Os híbridos oferecem uma grande variedade de

combinações entre circuitos integrados e componentes, resultando em várias funções que não poderiam ser obtidas com circuitos integrados específicos.

Classificação dos Circuitos Integrados Digitais

Os circuitos integrados digitais podem ser classificados basicamente em três grupos:

SSI - Small Scale Integration (Integração em Pequena Escala);

MSI - Médium Scale Integration (Integração em Média Escala);

LSI - Large Scale Integration (Integração em Grande Escala).

Os circuitos SSI representam a forma mais básica e simples dos circuitos integrados: são amplificadores ou portas, que realizam uma função elementar, devendo ser interligados externamente, caso queiramos formar circuitos funcionais completos.

Os circuitos MSI são mais complexos, formados por várias portas interligadas, compondo circuitos funcionais completos, a maioria contendo doze ou mais circuitos, desempenhando funções como um decodificador, um contador, um multiplexador.

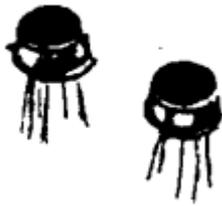
Os circuitos LSI contêm 100 ou mais portas ou dispositivos equivalentes, formando grandes circuitos funcionais, equivalentes a vários circuitos MSI. Seu maior campo de aplicação é o das memórias e microprocessadores.

Encapsulamento de Integrados

Atualmente há três tipos de encapsulamento para acomodar "chips":

- TO5 ou "caneca".
- FLAT PACK ou invólucro chato.
- DIP (Dual In-line Pack) ou em linha dupla.

Encapsulamento TO5 - Esta foi a primeira versão de encapsulamento usada em circuitos integrados, a partir de um invólucro padrão para transistores. Sua principal vantagem reside em seu grande poder de dissipação de calor, e por esta razão encontra maior aplicação nos circuitos lineares.

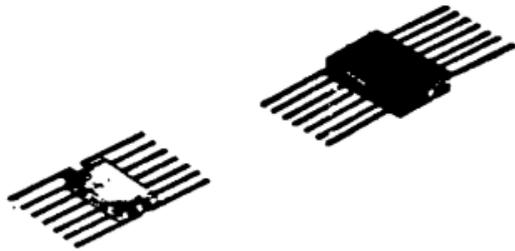


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 72 Encapsulamento tipo caneca(TO5)

Encapsulamento chato (Flat Pack) - Apresenta o menor tamanho entre todos eles, sendo assim empregado onde se deseja uma elevada densidade de componentes na placa. Os invólucros têm um formato achatado e são apropriados para soldagem sobre circuitos impressos, podendo ficar muito próximos um dos outros.

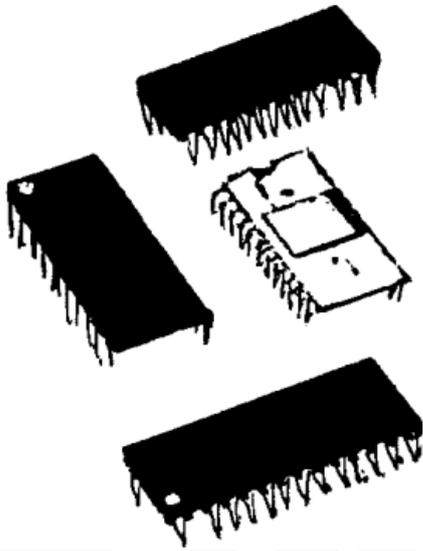
Encontram aplicações onde o espaço é crítico, como por exemplo, em aviação, sistemas militares de alta confiabilidade e equipamentos industriais especiais.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 73 Encapsulamento " chato" (Flat Pack)

Encapsulamento DIP (Dual In-Line Package) - O DIP ou encapsulamento em linha dupla, é assim chamado porque exibe duas fileiras paralelas de terminais, tendo sido projetado para adaptar-se às máquinas de inserção automática de componentes em placas de circuitos impressos.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 74 Encapsulamento em linha dupla (DIP)

Pode ser encontrado desde o MINI-DIP de oito pinos, ao gigante de quarenta pinos. A maioria dos SSI apresenta-se em encapsulamentos de 8, 14 ou 16 pinos, enquanto o MSI com 14, 16 ou 24 pinos. Finalmente os LSI são encontrados mais frequentemente com 24, 28 ou 40 pinos.

5.6 CIRCUITOS COMBINACIONAIS

Conceitos

Circuitos digitais são circuitos que recebem entradas, processam os sinais da entrada por intermédio de portas lógicas e outros dispositivos e fornecem saídas, também em sinais digitais como produto. Os circuitos digitais podem ser combinacionais ou sequenciais.

Circuito lógico combinacional, ou simplesmente circuito combinacional, é aquele cujo estado de saída é uma função exclusiva das combinações possíveis das variáveis de entrada. Os circuitos lógicos combinacionais que iremos estudar são constituídos pelas portas lógicas básicas, universais e comparadoras, associadas adequadamente para fornecer na saída o resultado do processamento desejado das variáveis de entrada.

Codificadores e Decodificadores

Um Codificador tem a função de "tradutor" de um código (linguagem) conhecido ou comum, para um código desconhecido ou incomum.

Um Decodificador tem a função de "tradutor" de um código (linguagem) desconhecido ou incomum, para um código conhecido ou comum.

Da relação dos "bits" 0 e 1 do sistema binário, com os estados lógicos 0 e 1, surgiu a aplicação de circuitos lógicos em calculadoras, com operações realizadas no sistema binário. Cabe aqui uma pergunta. Por que não empregar nas calculadoras eletrônicas circuitos que realizem operações diretamente no sistema decimal?

A resposta é simples: os circuitos teriam que discernir 1 entre 10 níveis diferentes, contra 1 entre 2, o que os tornaria complicados, caros e volumosos.

A máquina irá operar mais facilmente no sistema binário, mas para facilitar sua operação, a entrada dos dados a serem calculados e o resultado das operações, devem estar na forma decimal, que é o código comum aos humanos.

Vê-se, então, a necessidade de componentes lógicos conversores, dotados de circuitos codificadores e decodificadores que realizem as conversões decimal-binário ou binário-decimal.

Estes codificadores e decodificadores são na verdade circuitos lógicos combinacionais cujas saídas dependem dos estados lógicos das entradas.

Um número decimal pode ser codificado de tal maneira que a operação digital possa ser desempenhada utilizando-se números binários. A conversão de um sistema para o outro é realizada por circuitos codificadores. O circuito que tem a função inversa é denominado decodificador.

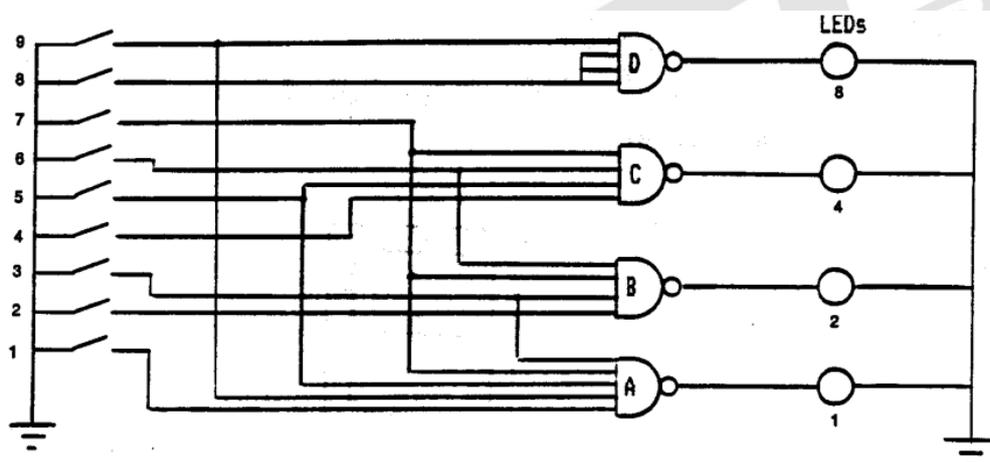


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 75 Diagrama bloco básico de uma calculadora

Circuito Codificador - Um codificador binário consiste de um sistema de portas lógicas que convertem um número decimal em binário.

Na figura 76 a seguir, temos um circuito codificando um grupo de chaves que representam números decimais, para fornecimento de um código binário de 4 "bits".



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 76 Circuito codificador

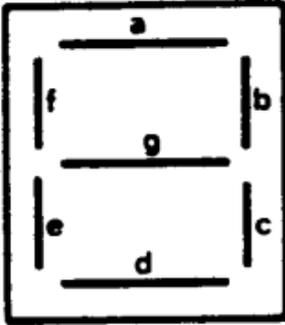
Quando todas as chaves estiverem abertas, teremos nível "1" (alto) na entrada de todas as portas NAND, ocasionando todas as saídas em nível "0" (baixo), gerando o binário "0000". Ao pressionarmos a chave "1", um nível baixo na entrada da porta "A", ocasionará um alto em sua saída, indicando o binário "0001".

Pressionando a chave "2", teremos um nível alto da saída da porta "B", acendendo o Led correspondente, indicando o binário "0010".

Aacionando a chave "6", as portas B e C terão saída alta, ocasionando a indicação binária "0110".

"Display" de segmentos - A apresentação do resultado no sistema binário, não é propriamente adequada para o uso comum, pois nem todos compreendem esta representação. São necessários então, componentes que nos proporcionem uma forma simples de representação.

Os "displays" de sete segmentos são componentes mais comuns para representação numérica. Estes "displays" possibilitam representarmos números decimais e alguns outros símbolos. São compostos por segmentos que podem ser ativados individualmente, permitindo combinações.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 77 "Display" de sete segmentos

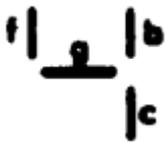
Para formação do algarismo zero (0), necessitamos ativar os segmentos "a", "b", "c", "d", "e" e "f", desativando o segmento "g".



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 78 Representação do zero (0)

A representação do algarismo quatro (4) requer a ativação dos segmentos "b", "c", "f" e "g".



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 79 Representação do quatro (4)

Circuito Decodificador - Como o código interno normalmente utilizado é o binário, torna-se necessário um decodificador que permita a ativação individual dos segmentos. Este decodificador possui a seguinte tabela verdade:

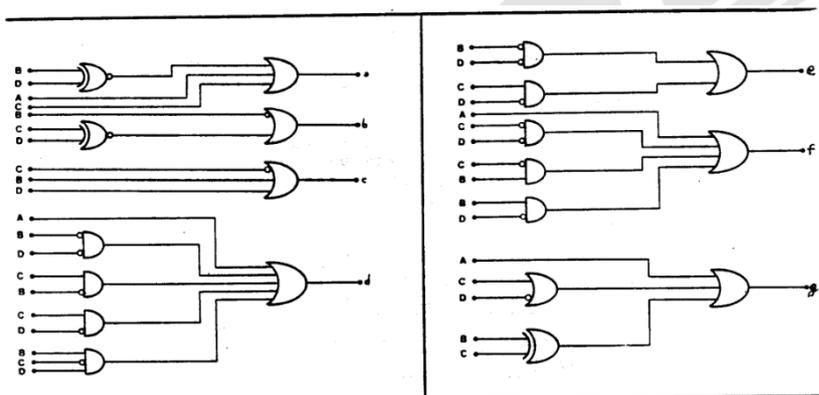
DECIMAL	BCD 8421				CÓDIGO DE 7 SEGMENTOS						
	A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g
	8	4	2	1							
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Você pode perceber aí dois conceitos já estudados: códigos e funções lógicas.

O código é a representação do número no sistema binário em uma cadeia de zeros e uns que irá acender o display de forma a desenhar o número decimal. Para fazer essa transformação, usamos uma função lógica para cada bit de saída que depende de todo o conjunto de bits de entrada. Ao implementarmos essa função com portas lógicas, temos um circuito decodificador.

As funções da tabela poderão ser obtidas através do circuito da figura 80.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 80 Decodificador para "Display" de sete segmentos

Somadores e Subtratores

Tal como os codificadores e os decodificadores, os circuitos somadores e subtratores também fornecem resultados que dependem unicamente das variáveis de entrada.

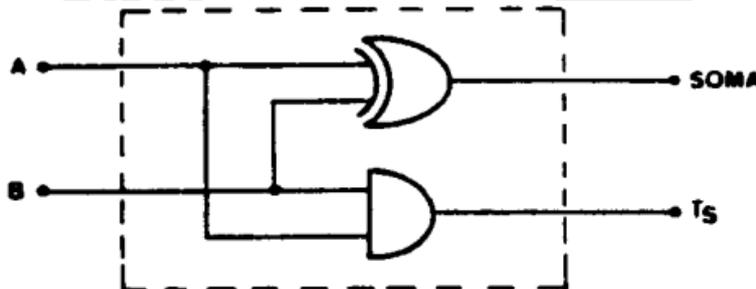
Somador - Se quisermos somar dois dígitos binários, teremos duas entradas para o circuito de soma, havendo quatro combinações para estas entradas: (0 + 0), (0 + 1), (1 + 0) e (1 + 1).

Na aritmética binária, "1" mais "1" (1+1) é igual a 0 (zero) e um dígito 1 é transportado para a coluna da esquerda.

A + B = S	T
0 + 0 = 0	0
0 + 1 = 1	0
1 + 0 = 1	0
1 + 1 = 0	1

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

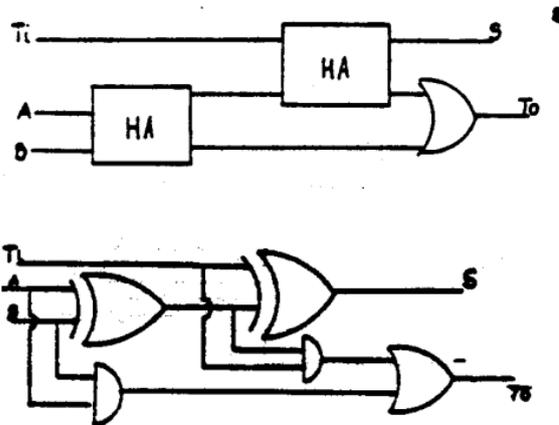
De acordo com a tabela verdade, a função soma (S) pode ser executada por uma porta XOR (OU EXCLUSIVA), e a função transporte (T) por uma porta AND.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 81 Meio Somador (Half Adder)

Para somar as colunas menos significativas, será suficiente o circuito acima, com duas entradas, que é denominado Meio Somador (Half Adder), porém ao somarmos as demais colunas teremos que considerar uma terceira entrada, o transporte da coluna anterior.

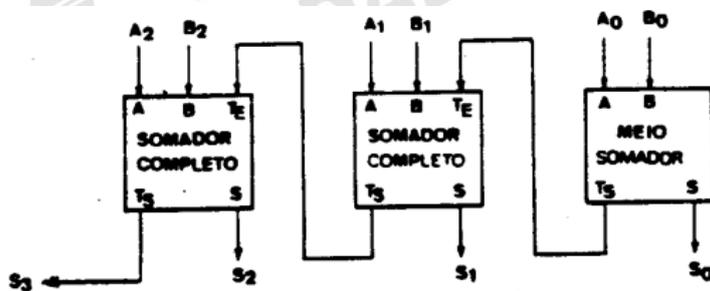


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 82 Somador Completo (Full Adder)

O somador que executa a soma dos dígitos mais significativos e que possui uma terceira entrada para o transporte, é denominado Somador Completo (Full Adder), sendo formado por dois "Half Adders" (HÁ) e uma porta OR.

Um somador será composto de vários "Full Adder" (HÁ), para a coluna menos significativa.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 83 Somador para dois dígitos de três "bits"

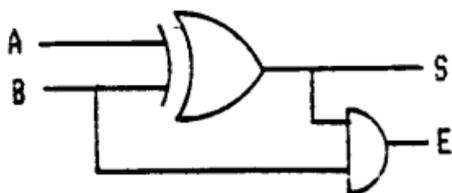
Subtrator - Na aritmética binária, "0" menos "1" (0 - 1) é igual a "1" e um dígito 1 é tomado emprestado da coluna da esquerda.

A	B	S	E
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

Toma 1
emprestado

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

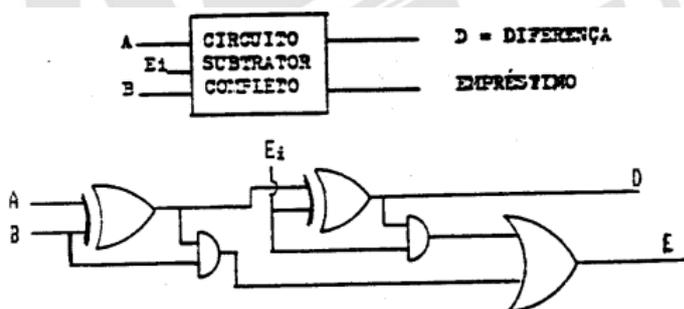
Analogamente ao somador, para subtrairmos dígitos na coluna menos significativa, fazemos uso de um Meio Subtrator (Half Subtractor) e, para as demais colunas, utilizamos o Subtrator Completo (Full Subtractor).



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

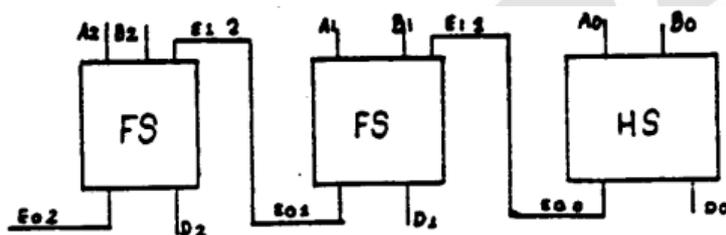
Figura 84 Meio Subtrator (Half Subtractor)

Um subtrator será composto de vários "Full Subtractors" (FS), para as colunas mais significativas e um "Half Subtractor" (HS), para a coluna menos significativa.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 85 Subtrator Completo (Full Subtractor)



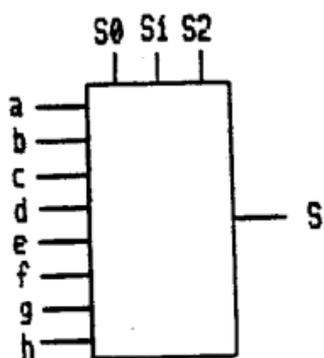
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 86 Subtrator para dois dígitos de três "Bits"

A subtração também pode ser realizada utilizando-se o somador e um circuito que calcule o complemento do subtraendo. Essa modalidade de subtração é particularmente útil quando o subtraendo é maior que o minuendo e o resultado é negativo.

Multiplexadores e Demultiplexadores

Os Multiplexadores são componentes que permitem selecionar um dado, dentre diversas fontes, como uma chave seletora de várias posições.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 87 Multiplexador



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

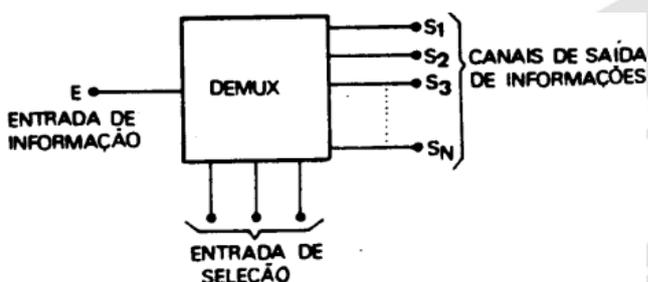
Figura 88 Circuito equivalente de um multiplexador

Através do circuito equivalente verificamos que a saída poderá estar ligada a qualquer das entradas, bastando posicionar a chave. No multiplexador, a seleção é feita de acordo com o valor digital das entradas de seleção (S_0), (S_1) e (S_2), com pesos binários 1, 2 e 4, respectivamente. As entradas de "A" a "H", corresponderão a valores decimais de 0 a 7. Na saída, teremos o nível da entrada, cujo valor decimal corresponde ao valor binário das entradas seletoras.

Podemos exemplificar a aplicação de um multiplexador em um sistema de áudio que recebe sinais de duas ou três frequências de comunicação externa, um sistema fechado de

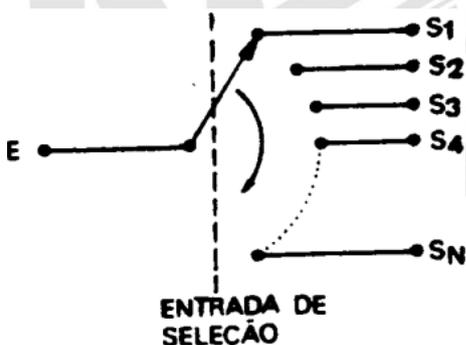
comunicação interna e de mais dois ou três aparelhos de navegação, por exemplo. O piloto irá selecionar apenas um de cada vez para ouvir nos fones ou autofalantes.

Os Demultiplexadores são componentes que distribuem o nível de uma única entrada, para uma, dentre as várias saídas, de acordo com o valor binário das entradas seletoras.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 89 Demultiplexador



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 90 Circuito equivalente de um demultiplexador

Analogamente ao exemplo dado para o multiplexador, o demultiplexador poderá ser usado para direcionar o sinal de voz que o piloto emite em seu microfone para a transmissão por dois ou mais rádios comunicadores, para o interfone ou para os autofalantes da cabine de passageiros.

É interessante notar que os circuitos equivalentes foram apresentados para mostrar a mecânica de funcionamento dos multiplexadores e demultiplexadores (também conhecidos como mux e demux). Os circuitos, de fato, são implementados com portas lógicas.

Você seria capaz de escrever as funções canônicas de um multiplexador de duas entradas, um controle e uma saída? As entradas podem assumir qualquer valor e a saída assumirá o valor da primeira entrada caso o controle seja 0 e o valor da segunda entrada caso o controle seja 1. Vamos lá!

5.7 CIRCUITOS SEQUENCIAIS

Os circuitos combinacionais vistos anteriormente apresentam as saídas dependentes unicamente das variáveis de entrada.

Os circuitos sequenciais têm as saídas dependentes de variáveis de entrada e de seus estados anteriores que foram armazenados. Logo, necessitaremos de dispositivos que tenham a capacidade de armazenar dados para podermos implementar circuitos sequenciais.

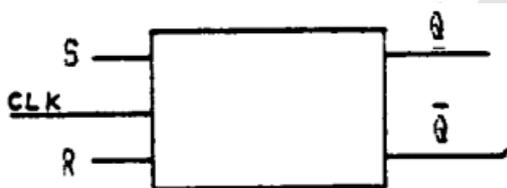
Outra característica dos circuitos sequenciais é que eles são normalmente sistemas pulsados, isto é, operam sob o comando de pulsos denominados "Clock". A cada mudança de nível do clock os estados do circuito mudam.

Dentre os componentes utilizados em circuitos sequenciais, o "Flip-Flop" é um dispositivo fundamental, que permite, por suas características, o armazenamento de estados lógicos anterior.

Flip-Flop

Flip-Flop é um dispositivo que possui dois estados estáveis. Um pulso em suas entradas poderá ser armazenado, e transformado em nível lógico estável.

Há vários tipos de Flip-Flop, que podem ser representados basicamente conforme a figura 17-36.



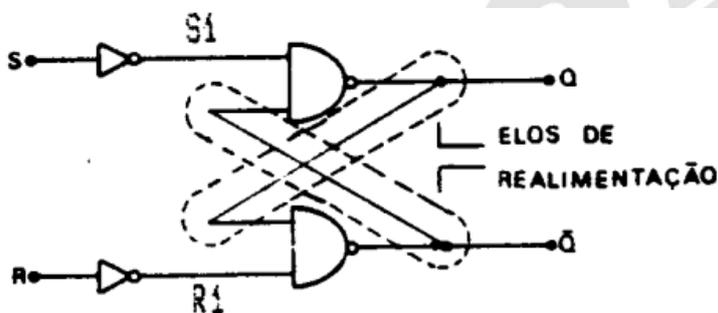
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 91 Flip-Flop

Um pulso na entrada "S" será armazenado, tornando "Q" verdadeiro e "Q" falso. Um pulso na entrada " R", será armazenado, tornando "Q falso e "Q" verdadeiro. A mudança só ocorrerá quando houver a mudança de nível do clock.

Flip-Flop tipo "RS" (Latch)

	S	R	S1	R1	Q,	\bar{Q}
A	1	0	0	1	1	0
B	0	0	1	1	1	0
C	0	1	1	0	0	1
D	0	0	1	1	0	1
E	1	1	ilegal			

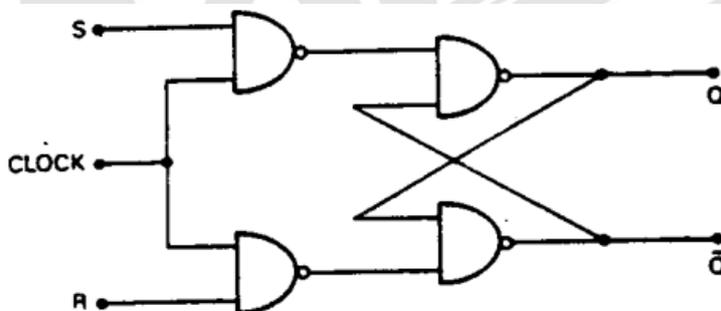


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 92 Flip-Flop tipo "RS"

Flip-Flop "RS" comandado por Clock - Substituem-se os inversores na entrada do RS básico, por portas NAND.

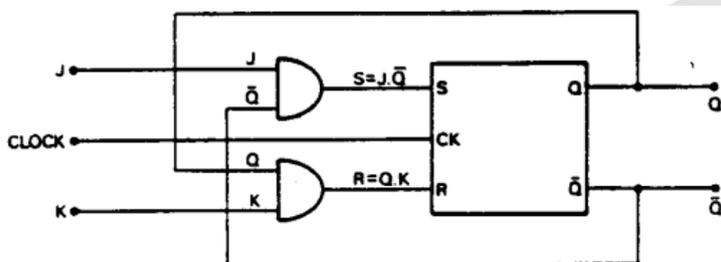
	S	R	CLK	S1	R1	Q	\bar{Q}
A	1	0	0	1	1	0	0
B	1	0	1	0	1	1	0
C	0	0	0	1	1	1	0
D	1	1	1	ilegal			



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 93 Flip-Flop "RS" comandado por CLOCK

Flip-Flop JK - Os Flip-Flop "RS" possuem um estado não permitido, quando as entradas "R" e "S" são iguais a "1" acarretando uma saída indeterminada. O Flip-Flop "JK" resolve este problema, utilizando um "RS" realimentado.



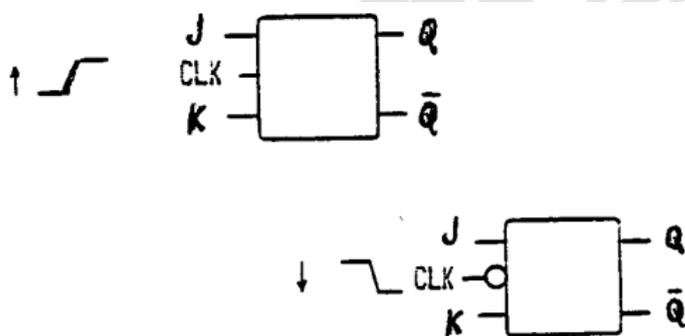
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 94 Flip-Flop "JK"

De acordo com o circuito, o FF JK, com as entradas J e K no estado "1", terá seu estado complementado a cada "clock", isto é, se estiver "setado" (saída Q = 1), complementar-se-á (Q -> 0 e Q -> 1), se estiver "ressetado" (saída Q = 0), complementar-se-á (Q -> 1 e Q -> 0).

Flip-Flop "JK" Mestre-Escravo - No FF JK, no momento em que o Clock for igual a "1", o circuito funcionará como um combinacional, passando o estado das entradas J e K diretamente para a saída.

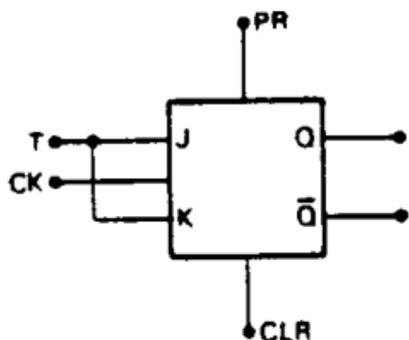
Para evitar este inconveniente, criou-se o Flip-Flop JK Mestre-Escravo (Master-Slave), que consiste basicamente de dois FF JK, permitindo a comutação do FF, apenas na transição positiva ou negativa do Clock. 1



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 95 Flip-Flop JK Mestre-Escravo

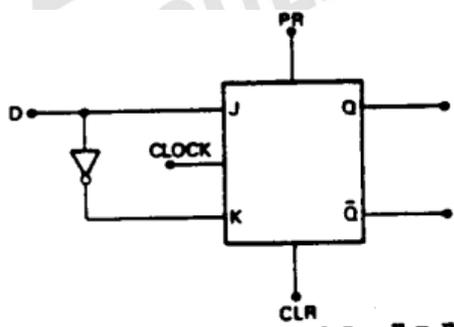
Flip-Flop tipo "T" - Consiste de um FF JK com as entradas J e K interligadas. Sua característica é de complementar-se toda vez que a entrada estiver igual a "1", mantendo-se no último estado quando a entrada for igual a "0".



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 96 Flip-Flop tipo "T"

Flip-Flop tipo "D" - Consiste de um FF JK com as entradas interligadas através de um inversor, permitindo que seja "setado" (colocado no estado "1") quando, no momento do Clock a entrada estiver igual a "1", e que seja "ressetado" (colocado no estado "0"), quando, no momento do Clock a entrada estiver igual a "0".



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

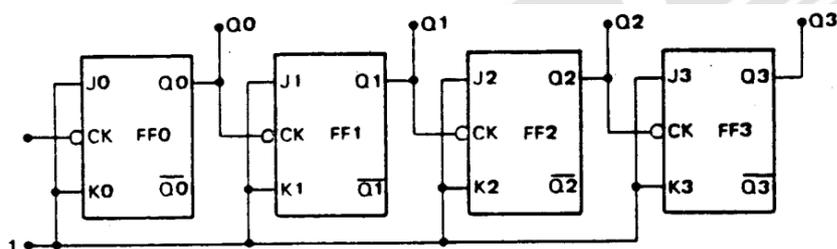
Figura 97 Flip-Flop tipo "D"

Contadores

São circuitos digitais compostos de FlipFlops, que variam seus estados, sob comando de um Clock, de acordo com uma sequência pré-determinada. Assim, se a sequência pré-determinada for a sequência de contagem em binário, o contador estará contando a quantidade de pulsos do clock.

O que determinará a capacidade de um contador, será o número de Flip-Flop utilizados.

Contador de pulsos - Consiste de um grupo de FF Master-Slave de comutação na transição negativa do Clock, configurados em série, de tal modo que a saída de cada estágio terá a metade da frequência do estágio anterior. Essa relação determina a sequência de números binários.

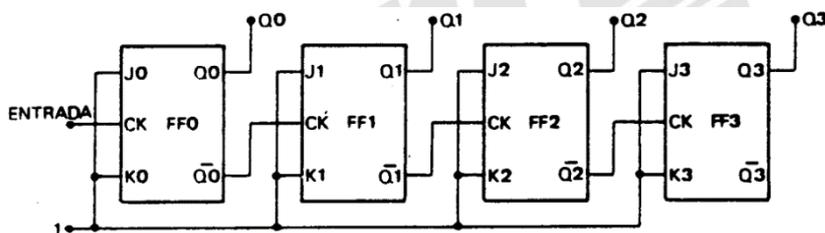


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 98 Contador de pulsos

Contadores Decrescentes

O circuito que efetua a contagem crescente é o mesmo para contagem decrescente, com a diferença de utilizar as saídas "Q" dos FFs. A tabela verdade de um contador crescente corresponderá ao complemento da tabela de um contador decrescente.

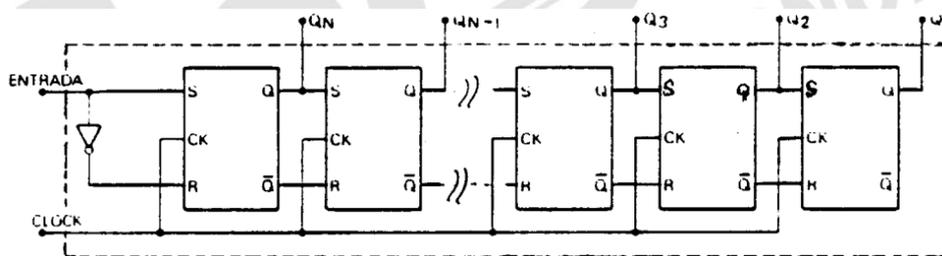


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 99 Contador decrescente

Registadores (Shift Registers)

O flip-Flop tem a característica de armazenar o valor de um "bit", mesmo que sua entrada não esteja mais presente. Se necessitarmos guardar informações com uma quantidade de "bits" maior que um, o FlipFlop será insuficiente. Para isso utilizamo-nos de um componente denominado Registrador de Deslocamento (Shift Register), que compõe-se de um certo número de Flip-Flops, de forma que as saídas de um alimentem as entradas do FF seguinte. Cada estágio do registrador armazenará o sinal de entrada no momento do Clock. Serão necessários tantos "Clocks", quantos forem os "bits" a serem armazenados.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 100 Registrador de Deslocamento (Shift Register)

Este tipo de registrador é bastante utilizado nas conversões de sistemas seriais para sistemas paralelos, onde a entrada recebe os sinais serialmente, recebendo ao final a informação completa paralela.

5.8 MEMÓRIAS

Memórias são dispositivos que armazenam informações. Essas informações poderão ser números, letras, ou caracteres quaisquer.

Tipos de Memórias

Podemos classificar as memórias quanto a:

- Acesso;
- Volatilidade;

c) Possibilidade de regravação;

d) Retenção.

Acesso - Se refere a forma como os dados são acessados segundo os endereços na memória. Endereços são a localização dos dados armazenados. Dependendo da codificação utilizada, cada endereço conterá um conjunto de "bits", ao qual chamamos "palavra". Cada endereço conterá uma palavra de memória.

Podemos acessar palavras de memória de duas maneiras:

- Acesso Sequencial;
- Acesso Aleatório.

No acesso Sequencial, o endereçamento será feito em sequência, isto é, para uma dada posição de memória todos os endereços precisam ser acessados desde o primeiro endereço. Em virtude disto, o tempo de acesso dependerá do lugar onde a informação estiver armazenada.

No acesso Aleatório, o endereçamento é feito diretamente na palavra desejada, sem necessidade de passar-se pelas posições intermediárias. Estas memórias são conhecidas por RAM (Random Access Memory). Como principal vantagem tem o tempo de acesso, que é reduzido e idêntico para qualquer endereço.

Volatilidade - As memórias podem ser voláteis e não voláteis. As memórias voláteis são aquelas que perdem a informação armazenada quando da interrupção da sua alimentação.

As memórias não voláteis são aquelas que mantêm armazenadas as informações, mesmo na ausência de alimentação.

Possibilidade de regravação - As memórias RW (Read/Write) de leitura e escrita, permitem o acesso a qualquer endereço, para consulta da informação ou para alteração da informação.

São utilizadas em processos onde é necessária a constante alteração das informações. São normalmente identificadas como RAM (Random Access Memory).

As memórias apenas de Leitura (Read Only Memory ou ROM) são aquelas cuja informação uma vez gravada somente estará disponível para Leitura e não mais para alteração.

São utilizadas em processos onde a informação é necessária para consulta ou inicialização de uma rotina. Possuem capacidade de armazenamento, isto é, quantidade de endereços, inferior às RAM's.

Quanto a esta classificação podemos citar:

- a) PROM (Programmable Read Only Memory) - São memórias apenas para leitura, que permitem que a sua programação, isto é, a gravação inicial seja feita pelo usuário. Esta gravação é permanente, não permitindo alterações, passando ela a operar como uma ROM.
- b) EPROM (Erasable / Programmable Read Only Memory) - São memórias que funcionam como PROM's, que permitem, porém o seu apagamento e posterior regravação. O processo de apagamento é possível por meio de um "banho" ultravioleta, através de janelas no seu encapsulamento.
- c) EEPROM - São EPROM's que permitem sua regravação por meios elétricos, sem necessidade de banhos Ultravioleta.

É conveniente lembrar que, embora as EEPROM's permitam regravações, a sua aplicação é diferente das RAM's. As EEPROM's, assim como as EPROM's, PROM's e ROM's, são utilizadas para armazenamento de informações que durante um processo são apenas consultadas, como as instruções para sequência de um programa. A característica de regravação em alguns tipos de ROM tem por finalidade permitir alterações nestas instruções, sem a necessidade de substituição de componentes.

Retenção - Classificam-se em Estáticas e Dinâmicas.

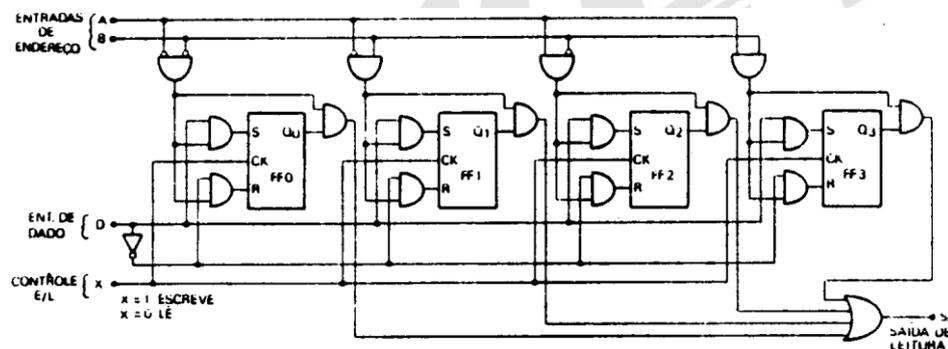
As memórias de armazenamento Estático, retêm os dados inseridos enquanto a alimentação estiver presente.

As memórias Dinâmicas, por outro lado, possuem um efeito capacitivo, isto é, perdem as informações carregadas, após um determinado tempo, necessitando de ciclos periódicos de "recarga" (Refresh Cycle). As memórias Estáticas são mais caras e de menor capacidade.

Endereçamento

Como já foi visto anteriormente, cada posição de memória, é acessada através de um endereço, logo teremos tantos endereços quantas forem as posições de memória. A capacidade de memória corresponderá à quantidade de endereços possíveis.

Com dois "bits" como variáveis, obtemos quatro combinações, que nos permitem acessar quatro endereços: posições 00, 01, 10 e 11. Com "n" bits variáveis podemos obter 2^n endereços.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 101 Memória RAM de quatro "bits"

Palavra de memória - Cada endereço de memória corresponderá a quantidade mínima de informações que poderá ser acessada. Esta informação poderá compor-se de um ou mais "bits".

Esta quantidade de "bits" por endereço, chamada de "palavra de memória", dependerá dos circuitos associados a ela e ao código interno utilizado.

As palavras mais comuns compõem-se de 8, 16 ou mesmo 32 "bits". A cada posição acessada, serão lidos paralelamente 8, 16 ou 32 "bits".

Byte - É o nome dado ao agrupamento de "bits" que represente um tipo de informação identificável e dependerá da filosofia do fabricante do equipamento.

Normalmente um "byte" é composto por 8 "bits".

Qualquer caractere significativo será representado na forma de um "BYTE". Uma memória com 1 kilobytes (1 kB), indica uma capacidade de armazenamento de aproximadamente 1000 caracteres.

Aplicação

Memórias são aplicadas de formas diversas, mas sempre que for necessário o armazenamento temporário ou permanente de informações.

Uma informação poderá ser um valor a ser processado, o resultado de uma operação, ou mesmo a própria sequência com as instruções da operação.

Valores fixos ou variáveis, em processamento, são chamados "DADOS". Sequências de instruções de operação são chamadas de "PROGRAMAS".

As instruções de um programa são normalmente armazenadas em memórias do tipo "ROM", pois são informações fixas. Dados são armazenados normalmente em memórias do tipo "RAM".

5.9 CONVERSÃO DE SINAIS

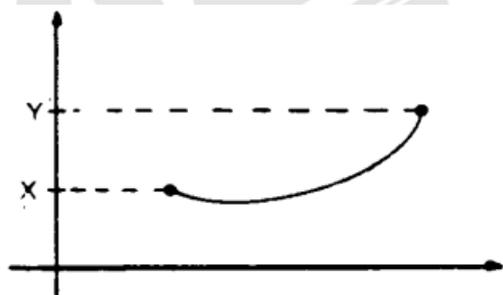
Existem basicamente dois tipos de sinais: Analógicos e Digitais

Sistemas digitais e analógicos não são compatíveis entre si, necessitando de conversores.

Os conversores têm por finalidade transformar sinais digitais em analógicos e vice-versa.

Sistemas Analógicos e Digitais

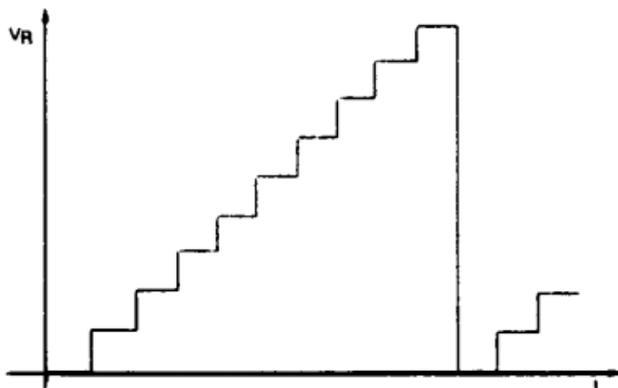
Entende-se por ANALÓGICA, toda variação linear ou contínua de um sinal. Entre dois valores distintos, podemos encontrar um valor intermediário. Grandezas físicas como temperatura, pressão, tensão, resistência, variam de forma analógica.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 102 Gráfico de variação Analógica

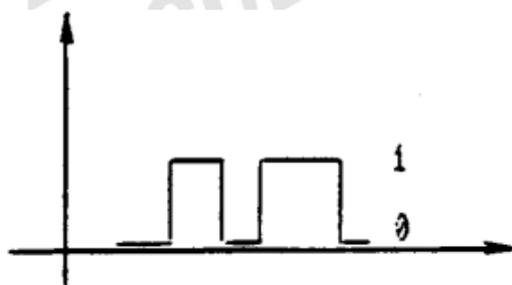
Entende-se por DIGITAL, toda variação discreta, isto é, em degraus definidos ou "steps".



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 103 Gráfico de variação Digital

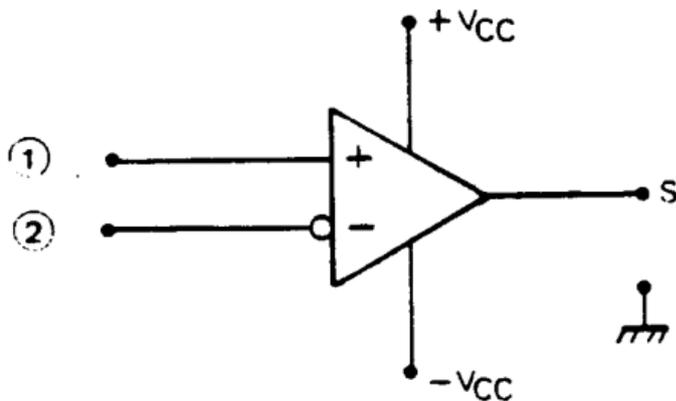
Os sistemas digitais, como internamente se utilizam de valores binários, somente reconhecem duas variações discretas, o zero (0) e o um (1). Não se concebe nesse sistema um valor que esteja entre 0 e 1. Aos sinais utilizados por estes sistemas chamamos digitais binários.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 104 Gráfico de variação digital binária

Amplificadores operacionais- São componentes lineares cuja finalidade é amplificar uma diferença entre dois sinais, possuindo ganho controlável. Diferenças de amplitude entre dois sinais são amplificadas gerando uma saída proporcional a entrada.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

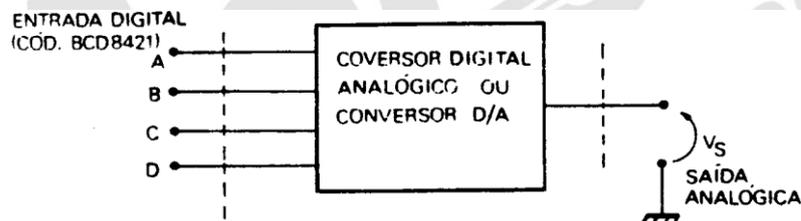
Figura 105 Amplificador operacional

A existência de duas entradas, sendo uma inversora e a outra não inversora permite que, dependendo de sua utilização, o sinal de saída seja normal ou invertido.

O limite de amplificação, isto é, o valor máximo de amplitude de saída, dependerá das alimentações do amplificador, limitando-se aos seus valores. A partir daí, o amplificador estará saturado, mantendo a saída fixa até que a diferença entre as entradas seja reduzida.

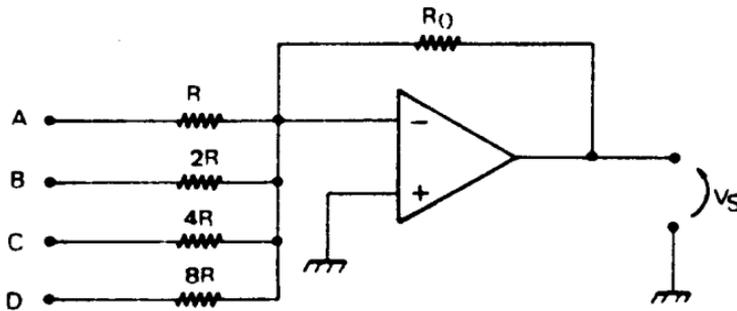
Conversor Digital-Analógico

É utilizado quando for necessária a conversão de uma variável digital em variável analógica. A variável digital é normalmente codificada em BCD 8421. A saída analógica assumirá valores de grandeza correspondentes às variações digitais da entrada.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 106 Conversor D / A



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 107 Circuito básico

O circuito da figura 107 amplifica diferencialmente os valores dos bits do sinal de entrada. O sinal na entrada D é amplificado 8 vezes, o da C, 4 vezes, o da B, 2 vezes e o da A, apenas 1 vez. Esses valores correspondem ao peso de cada posição na representação binária. Assim, o sinal de 1 V em D e 0 V nas outras posições representa o número 1000, que é 8 em binário. Mas como o sinal de D é amplificado 8 vezes, na saída teremos 8 V. Se o sinal 1 V estiver em B, por exemplo, com os outros em zero, teríamos a representação de 0010, que é 2 em binário e como o sinal de B é amplificado 2 vezes, teremos 2 V na saída. Verifique outros valores de entrada e a saída correspondente.

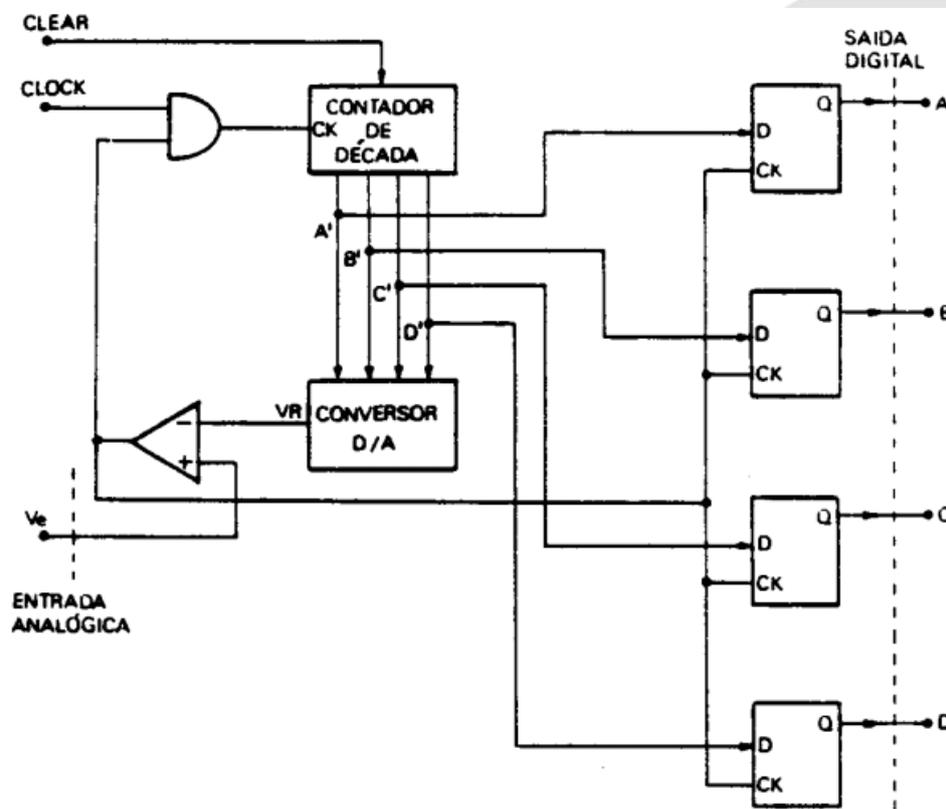
Sistemas de computação digital, não são capazes de gerar sinais analógicos linearmente, mas dependendo da precisão desejada, poderão ser utilizados mais "bits", que gerando mais "steps", darão condições de geração de sinais bastante próximos dos analógicos.

Conversor Analógico-Digital

É utilizado quando for necessária a conversão de uma variável analógica em variável digital. O conversor efetua vários passos até a conversão final, utilizando-se de um contador, um conversor D/A, um amplificador operacional atuando como comparador e Flip-Flops.

O circuito é basicamente constituído por um contador cuja saída é aplicada ao conversor D/A. Assim, o valor do contador é transformado em sinal analógico. Este sinal analógico, da saída do contador, é comparado com o sinal de entrada, aquele que se deseja transformar em digital. Se o sinal proveniente do contador é menor que o sinal de entrada, o contador é incrementado e a comparação é feita novamente. Isso se repete até que o contador atinge o

valor do sinal de entrada, quando então o contador para de ser incrementado e o seu valor digital (antes de ser transformado em analógico) é fornecido como saída.



Fonte: IAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 108 Conversor A / D



Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.



Fonte: <http://dc96.4shared.com/doc/9kocAS7f/preview.html>

MÓDULO VI

INTRODUÇÃO AOS COMPUTADORES

APRESENTAÇÃO

Caro aluno,

Hoje em dia vemos computadores por todos os lados. A visão do empresário da área de informática que queria colocar um microcomputador em cada residência se expandiu para um ou mais computadores para cada pessoa. Usamos os computadores no trabalho, no entretenimento, na comunicação e nas transações bancárias. E, como não podia deixar de ser, na aviação.

Para o técnico em manutenção aeronáutica, não basta apenas saber utilizar o computador como usuário final, tal como faz o correntista de um banco ao operar o terminal de autoatendimento. Mesmo que não vá fazer reparos a nível de hardware ou software, o conhecimento dos princípios de funcionamento de um computador, no que se refere a transmissão e processamento de dados, é fundamental para que o mecânico de voo possa fazer julgamentos adequados e até mesmo saber o que necessita para o seu trabalho.

Neste módulo final, vamos ver como um microprocessador faz uso dos dados que nele são inseridos para gerar informação útil de acordo com a programação que foi anteriormente feita.

Vamos lá!?

HISTÓRICO

Um microprocessador é um circuito eletrônico muito complexo. Consiste em milhares de transistores microscópicos compactados em uma minúscula pastilha de silício, que na maioria das vezes não ocupa mais que um oitavo de polegada quadrada. A pastilha é colocada num invólucro contendo dezenas de pinos.

Os milhares de transistores que compõem o microprocessador são arranjados para formar muitos circuitos diferentes dentro da pastilha. Do ponto de vista de aprendizagem de como o micro processador opera, os circuitos mais importantes são os registradores, contadores e decodificadores.

Um microprocessador, cujo nome pode ser abreviado por " μ p" é uma das partes de um computador, a porção responsável pelo controle e processamento dentro de um sistema. Para implementar um computador, é necessário acrescentar memória para o programa de controle e circuitos de entrada e saída (I/O) para a comunicação com equipamentos periféricos.

Desde a construção dos primeiros computadores a válvula, como o UNIVAC I (1950) o desenvolvimento de sistemas de processamento de dados tem sofrido uma evolução acelerada. Enquanto esses computadores primitivos só podiam ser justificados como objeto de pesquisa (sem questionar a validade econômica), os modernos sistemas revolucionaram praticamente todos os campos de atividade do homem moderno. Isto se deveu, unicamente, à evolução da tecnologia eletrônica do estado-sólido, que reduziu o tamanho e o custo dos sistemas de computação, entre inúmeros equipamentos.

Em 1960, o baixo preço dos computadores justificava o aparecimento dos computadores de propósito geral, para processamento de dados.

Atualmente, o advento de microprocessadores permite a aplicação de métodos computacionais de custo extremamente baixo ao controle e processamento de sistemas em

geral. Isto representa um passo decisivo em direção a uma disseminação extensiva do processamento de dados nos aspectos mais triviais da vida moderna.

6.1 APLICAÇÕES

Computador de Escritório

O baixo custo de um microcomputador permite a sua utilização em escritórios comerciais de pequeno porte. O sistema básico compreende, geralmente, um console de processamento, um monitor de vídeo, um teclado, uma unidade de disco rígido e impressora. Aumentando-se o número destes periféricos, pode-se acompanhar o crescimento das exigências da automação.

A finalidade deste equipamento é controlar as folhas de pagamento, fazer controle de estoque, manipular informações de contabilidade, fazer processamento de texto, tudo isto aliado à possibilidade de se disseminar a informação simultaneamente através de diversos terminais.

Atualmente esses sistemas estão ligados em rede com outros computadores da empresa e na rede mundial de computadores, de onde podem receber e transmitir informações.

Computador Pessoal

Atualmente em fase de rápida expansão, esta aplicação possibilita trazer a revolução da informática para o lar e os dispositivos portáteis permitem que o usuário tenha acesso aos serviços praticamente em qualquer lugar. Além de usar o microcomputador, para jogos eletrônicos, pode-se fazer o controle conexão à rede mundial, o computador pessoal pode ter acesso a informações tais como cotação de ações na Bolsa, jornais ou bancos de dados. Já podemos fazer encomendas num supermercado pelo microcomputador, por tablets ou smartphones, consultando os preços dos artigos em estoque e até mesmo trabalhar em casa, enviando e recebendo informações do computador da empresa.

Computador de Bordo

Microcomputadores são empregados em sistemas de computação para automóveis, barcos e aeronaves.

Além de fornecerem informações sobre navegação, consumo, condições do veículo etc, poderão receber dados de outros computadores. Isto permitirá que um piloto receba instruções de controle para pouso ou decolagem através de um monitor de vídeo situado no painel, agilizando e aumentando a capacidade do controle de tráfego aéreo.

Equipamentos Automáticos de Teste

Para o controle de qualidade é possível elaborar sistemas capazes de fazer o teste de equipamentos, numa rapidez e precisão impossível para o ser humano, a um custo reduzido.

Máquinas com "Inteligência"

O uso de processadores em equipamentos de uso geral permite sofisticá-los com funções até então inviáveis economicamente. Balanças e Caixas Eletrônicas, por exemplo, são aplicações recentes de microprocessadores. Deve-se lembrar também que a manutenção desses equipamentos é simplificada por programas de diagnóstico e até de calibração automática.

Robôs

Recentemente, a indústria japonesa desenvolveu uma variedade de máquinas capazes de executar tarefas repetitivas, como robôs industriais. Este é um dos campos mais promissores e polêmicos de aplicação de microprocessadores.

Armamento - Míssil Auto Dirigido

O primeiro passo de Neil Armstrong na superfície da Lua foi possível, em grande parte, em decorrência dos sistemas de orientação computadorizados.

Evidentemente, a engenharia de foguetes interplanetários apoia-se em uma tecnologia muito precisa, mas, sem o "hardware" e o "software" de computadores, jamais seria possível executar cálculos de posição com rapidez e exatidão suficientes para permitir o acoplamento de dois objetos a uma grande distância, mesmo que um desses objetos tenha o tamanho da Lua.

Quando se levam em conta as técnicas militares modernas, que exigem a colocação de ogivas com limite de erro de poucos metros após um voo transcontinental, é enorme a capacidade de processamento de dados necessária para os cálculos.

As primeiras experiências militares mostraram que o problema fundamental da tecnologia de mísseis estava no fato de que eram impossíveis correções no seu trajeto após ter sido feito o lançamento. A primeira grande conquista deu-se com o desenvolvimento de sistemas de orientação capazes de calcular a posição do foguete em relação a um ponto na superfície (local de lançamento) pela dedução da distância percorrida e de sua direção. Mas até mesmo os equipamentos modernos de alta qualidade estão sujeitos a erros graves. Outro método mais preciso utiliza satélite em órbita geoestacionária como ponto de referência. A principal desvantagem desses sistemas é que a linha de voo do míssil - e provavelmente seu alvo - pode ser calculada pelo inimigo imediatamente após o lançamento, dada a capacidade dos modernos radares de longo alcance. Para eliminar essa vulnerabilidade, projetou-se um míssil capaz de voar a baixa altura, provido de radar de varredura horizontal, que avalia dados para o cálculo do percurso até o alvo. Assim nasceu o míssil "Cruise".

6.2 TERMOS E CONVENÇÕES

Um microprocessador é um dispositivo lógico que é usado em sistemas eletrônicos digitais. Também é usado como passatempo, como computador de uso geral de baixo custo, para técnicos e grupos de pesquisa com baixo nível orçamentário. Mas, uma distinção deverá ser feita entre o microprocessador e o microcomputador.

Um microcomputador contém um microprocessador, mas também contém outros circuitos como um dispositivo de memória para armazenar informação e adaptadores de interface para conectá-lo com o mundo externo.

A figura 109 mostra um microcomputador típico no qual esses circuitos adicionais são acrescentados. As setas representam condutores nos quais seguem as informações binárias.

As setas largas representam vários condutores conectados em paralelo. Um grupo de condutores paralelos, que transportam informação, é chamado barramento (bus).

O computador possui dois barramentos principais: o "ADDRESS BUS" (ADD BUS) e o "DATA BUS". O ADD BUS é unidirecional, isto é, possui um único sentido para o fluxo. O DATA BUS é bidirecional permitindo, por exemplo, o fluxo de dados da CPU para a unidade de entrada e saída (I/O) ou desta para a memória.



Fonte: <http://dc401.4shared.com/doc/XEIZsGM6/preview.html> e <http://marco-bruno.com.br/ads-unip/conceitos-basicos-perifericos/>

Figura 109 Computador básico

O programa do computador é um conjunto ordenado de instruções que são executadas uma a uma, sequencialmente, na ordem estipulada. Instrução é uma palavra chave (ordem) que diz ao computador qual a tarefa específica que deve executar.

O microcomputador é composto por tudo o que está dentro da linha pontilhada na figura 109. Tudo o que está fora da linha pontilhada refere-se ao mundo externo e todos os microcomputadores precisam ter alguns meios de comunicação com ele.

A informação recebida do mundo externo pelo microcomputador é chamada de entrada de dados. A informação que transmite do microcomputador para o mundo externo é chamada de saída de dados.

O computador pode ser definido como um sistema complexo capaz de receber informações, processá-las e fornecer resultados. A entrada de informações poderá ser gerada de dispositivos de memória (disco rígido, cartão de memória, pendrive) ou de outros computadores via rede.

A saída de informações poderá ser enviada aos monitores, memórias, impressoras ou outros computadores. O ponto no qual o dispositivo de I/O conecta-se ao microcomputador é chamado de "porta".

6.3 MEMÓRIA

O conjunto de dados e de instruções necessários à operação de um computador fica localizado numa unidade chamada memória.

Podemos imaginar a memória como sendo um conjunto de escaninhos, cada qual com um endereço e contendo uma unidade de informações.

Existem diversos tipos de memória, classificados segundo suas características. De um modo geral, temos memórias voláteis ou não voláteis. A memória volátil é aquela cuja informação se perde quando a alimentação é interrompida. As memórias RAM são um exemplo deste tipo. Memórias não voláteis, por outro lado, retêm a informação mesmo após interrupção da alimentação. Um exemplo deste tipo é a memória ROM.

- ROM ("Read Only Memory") - Como o nome indica, este tipo de memória não permite realizar operações de escrita, apenas de leitura. Também chamada de memória morta, é gravada durante a fabricação, retendo sempre esta informação.
- RAM ("Random Access Memory") - Esta memória se caracteriza por permitir tanto a leitura como a escrita, sendo, entretanto volátil.

Memórias Magnéticas

Devido às suas propriedades este tipo de memória é sempre não-volátil. Além disso, geralmente são capazes de armazenar grandes quantidades de dados, embora a velocidade de leitura/escrita seja baixa. Por isso são mais usadas como memória de massa, isto é, uma espécie de armazém de programas e de dados, de onde a CPU os retira para processamento em RAM.

Os tipos mais comuns são discos magnéticos e fitas magnéticas.

6.4 ENTRADA E SAÍDA

São unidades que permitem ao microcomputador comunicar-se com o mundo externo. É através de operações de entrada e saída que um operador utiliza um terminal de vídeo-teclado para "conversar" com um computador.

O elemento que serve de ligação entre o microcomputador e o periférico é chamado "interface".

A transferência pode ser feita de vários modos, segundo as necessidades ou limitações do sistema. Transmissões por via telefônica, por exemplo, são feitas no modo serial, isto é, um "bit" por vez.

Por outro lado, entre um teclado e a CPU, a transmissão pode ser em paralelo, com 7 ou 8 "bits" transmitidos de uma só vez.

6.5 PALAVRAS DO COMPUTADOR

Na terminologia de computação, a palavra é um conjunto de dígitos binários que pode ocupar um local de armazenamento. Embora a palavra seja constituída de vários dígitos binários, o computador manipula cada palavra como se ela fosse uma simples unidade. Portanto, a palavra é a unidade fundamental de informação usada no computador.

Uma palavra pode ser um número binário que está sendo manipulado como um dado. Ou, a palavra pode ser uma instrução que diz ao computador que operação deve executar. A palavra poderá representar, também, um endereço.

Tamanho da Palavra

Nos últimos anos, uma ampla variedade de microcomputadores tem sido desenvolvida. Seu custo e sua capacidade variam grandemente. Uma das mais importantes características de um microprocessador é o tamanho da palavra que ele pode manipular que se refere ao tamanho em "bits" da maior unidade fundamental de informação.

Um tamanho da palavra comum para o microprocessador há alguns anos era o de 8 "bits". Números, endereços, instruções e dados são representados por números binários de 8 "bits". O menor número binário de 8 "bits" é 0000 0000₂ ou 00₁₆. O maior é 1111 1111₂ ou 11₁₆. Em decimal, o alcance é de 0 a 255₁₀. Então, um número binário de 8 "bits" pode ter algum dos 255₁₀ possíveis valores.

Uma palavra de 8 "bits" pode especificar números positivos ou negativos.

6.6 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO

Código de Máquina

O código de máquina é a linguagem entendida pelo microprocessador (a CPU), que constitui o cerne do computador e pode apenas executar funções muito simples (adiciona dois dígitos a um número, por exemplo, mas não os multiplica). Faz isso, no entanto, a velocidades muito altas. Cada operação do microprocessador é especificada de acordo com o número de "ciclos de relógio" empregados. Se a CPU em seu computador funcionar a 1 MHz, o "ciclo de relógio" será de 1 microssegundo e uma operação que requer quatro "ciclos de relógio" será realizada em 4 milionésimos de segundo, pois a $F = 1 / T$.

Como consequência, um programa desenvolvido em código de máquina vai requerer grande quantidade de instruções e qualquer função deverá ser elaborada "à mão", a partir de operações simples. Toda a programação consistirá na manipulação de "bits" (unidade de informação) ou "bytes" (conjunto de 8 bits) isolados de memória, empregando-se funções lógicas simples como AND, OR e NOT, além de aritmética elementar.

Esse é um dos motivos por que o desenvolvimento de programas nessa linguagem se torna uma tarefa lenta. O outro reside no fato de o programador ser obrigado a saber a localização de tudo que está armazenado na memória.

Ao iniciar a programação em código de máquina, você descobre que tem de especificar um endereço (uma posição de memória) para cada conjunto de dados a armazenar. E cabe também a você garantir que não haja superposição acidental com outros conjuntos de dados. Examinemos em que consiste o código de máquina. Todos os exemplos a seguir serão relacionados a CPUs de 8 "bits" de capacidade, como a do Z80 e do 6502. O microprocessador conecta-se à memória do computador por meio de dois "buses" (vias): o

"bus" de endereços e o de dados. Há também um elemento denominado "bus" de controle que fornece apenas sinais de cronometragem à CPU e não é utilizado pelo programador.

O "bus" de endereços tem capacidade de 16 "bits" e a atribuição de um padrão de "bits" a esse "bus" possibilita à CPU selecionar qualquer dos 65.536 "bytes" em seu "mapa de memória". Em microcomputadores comuns, algumas dessas posições estarão na RAM, outras na ROM, algumas nos "chips" especiais de entrada-saída e ainda existirão as que não serão utilizadas.

Se a CPU quiser ler determinada posição de memória (uma das linhas no "bus" de controle indica se deve haver leitura ou registro), o "byte" selecionado coloca seus conteúdos no "bus" de dados, na forma de um padrão de 8 "bits". De modo semelhante, a CPU pode registrar um padrão de 8 "bit" em qualquer posição escolhida. A CPU não sabe quais as partes da memória em que estão a ROM e a RAM. Desse modo, determinar o endereço correto é outra responsabilidade importante do programador.

No interior do microprocessador, há talvez meia dúzia de "registros", semelhantes a posições individuais de memória, utilizados para o armazenamento de resultados temporários e execução de funções aritméticas, lógicas e binárias. A maior parte desses registros corresponde a 1 "byte" de memória, embora algumas tenham 02 "bytes" de capacidade.

Outro registro muito importante (mas, agora, com apenas 8 "bits" de extensão) é o "acumulador". Como o nome indica, esse registro acumula totais, isto é, "bytes" que podem se somar ou subtrair. Na verdade, esse é, em geral, o único registro que pode executar qualquer tipo de procedimento aritmético.

O motivo comum para o emprego do código de máquina é a velocidade: ao endereçar diretamente o processador, o programa não precisa ser traduzido ou interpretado. Com a eliminação desse estágio intermediário, reduz-se bastante o tempo de execução do programa. No entanto, o processo de codificação, teste, depuração, modificação e manutenção de um código de máquina exigirá, com certeza, duas vezes mais tempo do que levaria num programa em linguagem de alto nível (BASIC, por exemplo).

A falta de interação com o programador e a dificuldade de se lidar com o código de máquina foi o principal estímulo para a criação das linguagens de alto nível, como COBOL e BASIC. Vimos que o conjunto de instruções em código de máquina equivale ao conjunto de operações do processador.

Execução do Programa Mnemônico

É a forma de representação de tal modo que haja facilidade de retenção na memória, isto é, que haja memória.

Como exemplos de mnemônicos no nosso cotidiano, podemos considerar os termos: "SAMPA", "BELZONTE", etc.

Em se tratando de computação e programação em linguagem de máquina, os mnemônicos mais usados são:

- LDA (LOAD ACCUMULATOR) - Carregar Acumulador;
- STA (STORAGE ACCUMULATOR) - Armazenar acumulador;
- ADC (ADD WITH CARRY) - Somar com transporte.

Consideremos que o programa já tenha sido adequadamente escrito no computador pelo processo tradicional: o programador lê o programa, no papel e introduz, via teclado, no computador.

O programa é armazenado, em linguagem de máquina, numa área de memória, embora os dados que ele opera possam estar em alguma outra posição.

Observe que os operandos, por exemplo, \$3F80 estão armazenados em dois "bytes", com o "byte" menor (\$80) situado antes do maior (\$3F).

O símbolo Dólar (\$), usado na frente de uma sequência, indica que a representação está no sistema de base hexadecimal.

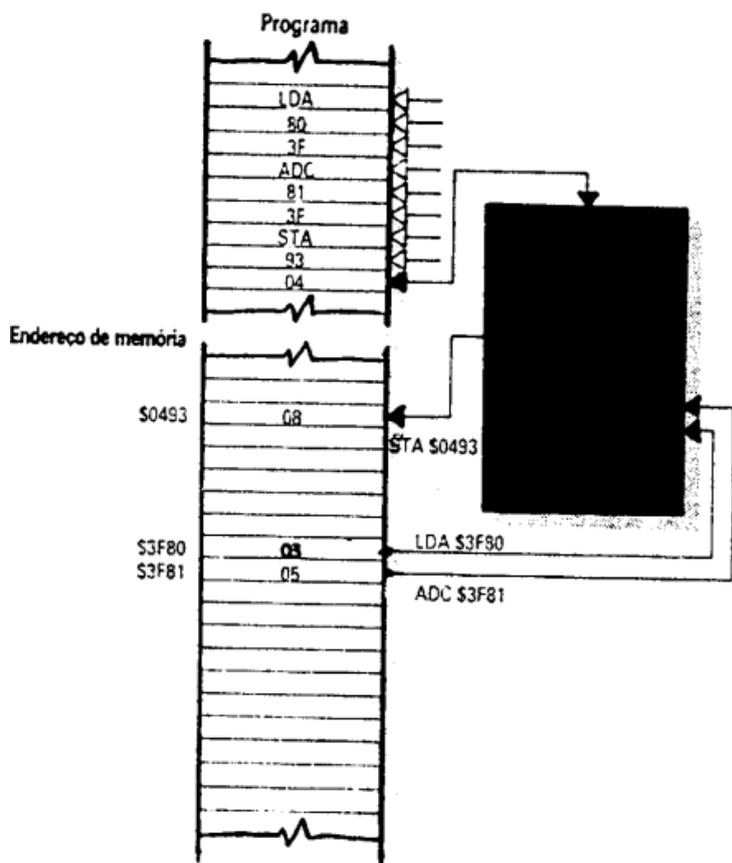
Todos os programas em código de máquina são constituídos por operações simples que transportam "bytes" de memória para os registros internos da CPU, realiza seu processamento e, a seguir, os remetem de novo a uma posição de memória.

A figura 110 apresenta o programa necessário para somar os conteúdos de duas posições de memória e armazenar o resultado de uma terceira.

O contador do programa (PC) é um registro no interior da CPU que indica a instrução que está sendo executada.

A primeira instrução fornece os conteúdos da posição \$3F80, isto é, o valor "5" ao acumulador.

O terceiro armazena o conteúdo do acumulador, agora o "08", na posição de memória \$0493.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 110 Execução de um programa

Funcionamento com o Programa

O conteúdo das posições de memória \$00, \$01 e \$02 (LDA, \$3F80), é colocado na CPU.



A CPU decodifica essa instrução e a interpreta como: carregar o acumulador com o conteúdo da posição de memória \$3F80.



Após a execução dessa operação, o contador de programa (PC) será incrementado (PC + 1, PC + 2 e PC + 3) acessando os conteúdos das próximas posições de memória (endereços): \$03, \$04 e \$05. Esses conteúdos são enviados para a unidade central de processamento.



Em seguida a CPU interpreta os códigos e conclui que deverá "somar" o conteúdo atual do Acumulador com o conteúdo da posição de memória \$3F81.



Nota: Como o próprio nome indica o Registrador acumulador "acumula" resultados das operações lógicas ou aritméticas. Em consequência o resultado das operações será enviado para esse registrador.

Como a operação anterior já foi completada, o PC é devidamente incrementado (PC + 1, PC + 2 e PC + 3), e os conteúdos das posições subsequentes serão enviados à CPU e devidamente interpretados como: armazenar o conteúdo do acumulador na posição de memória \$0493.



Nota: O efeito real desta transferência é de cópia onde o conteúdo origem não é apagado. Daí conclui-se que o conteúdo final do registrador acumulador será o último obtido.

Com isso chega-se ao objetivo final do programa proposto que foi: somar os conteúdos de duas posições de memória e colocar o resultado em uma terceira. Pelo exposto, também podemos escrever:

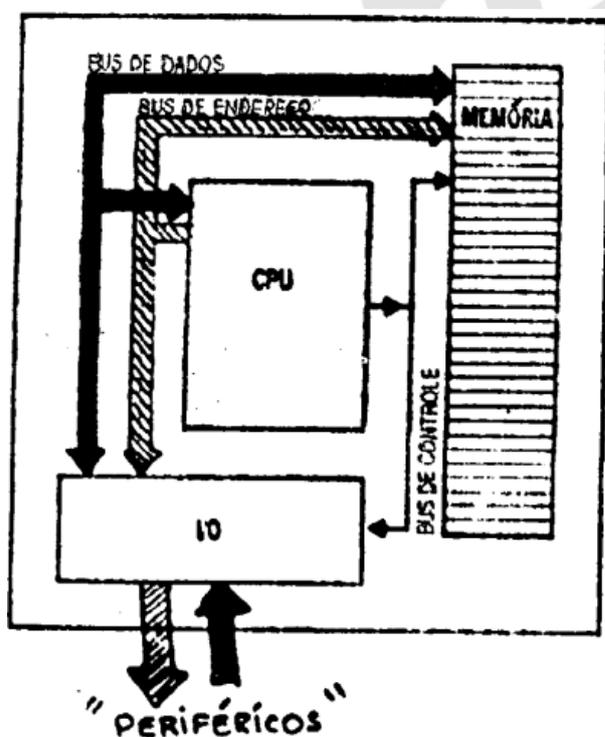
M → CPU; M → ACC; M → CPU; ACC +
M → ACC; ACC → M

6.7 UNIDADE CENTRAL DE PROCESSAMENTO (CPU)

Em termos simples, a CPU ("Central Processing Unit", ou Unidade Central de Processamento) do computador não passa de um interruptor que controla o fluxo de corrente num sistema de computação. Compõe esse sistema a ALU ("Arithmetic and Logic Unit", ou Unidade Aritmética e Lógica), o PC (Contador de Programa), ACC (Acumulador) e outros registradores.

Ao acionar uma tecla, você introduz alguma informação na máquina por meio de uma configuração de voltagem gerada na unidade de teclado. A CPU transfere essa configuração de voltagem para uma posição da memória. Em seguida, transfere uma configuração correspondente, proveniente de algum outro lugar da memória, para a tela, de modo a gerar um determinado padrão de caracteres.

Esse processo é semelhante ao funcionamento de uma máquina de escrever, mas com a diferença de que nesta há uma conexão mecânica entre o acionamento de uma tecla e a impressão do caractere, enquanto num computador essa ligação ocorre porque a CPU transfere configurações corretas de voltagem de um lugar para outro.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 111 O Centro do Sistema

Nem sempre o acionamento de uma tecla faz aparecer um caractere no vídeo: pode também destruir um asteroide, gravar um programa, apagar um arquivo em disco, ou imprimir uma carta. O resultado da operação depende do modo e da finalidade com que a CPU transfere a corrente elétrica.

Modo de Funcionamento da CPU

Os procedimentos executados pela CPU classificam-se, para nossos objetivos, nas operações: **aritméticas**, **lógicas**, de **memória** e de **controle**. Todas resultam de transferência de informações através de diferentes trajetos, no sistema e na CPU, ou seja, para esta todas as operações se assemelham.

Operações **aritméticas**, como adição e subtração constituem a característica mais importante da máquina. Ela subtrai por meio da representação negativa de um dos números e sua subsequente adição com o outro.

Por exemplo,

$7 + 5 = 12$ significa:

$+ 7$ somado a $+ 5$ é igual a $+ 12$;

enquanto $7 - 5 = 2$ equivale a:

$+ 7$ somado a $- 5$ é igual a $+ 2$.

A multiplicação e a divisão são consideradas adições ou subtrações repetidas, de modo que também é possível programar a CPU para simular essas operações. Se a CPU consegue realizar as quatro operações aritméticas, então pode efetuar qualquer outro cálculo matemático. No entanto, lembre-se de que todo o seu potencial matemático depende simplesmente da capacidade de somar dois números.

As operações **lógicas** efetuam a comparação de dois números não apenas em termos de quantidades relativas, mas também em termos da configuração de seus dígitos. É fácil ver que sete é maior que cinco porque extraímos cinco de sete e obtemos um resultado positivo. Além de fazer esse tipo de comparação, a CPU também verifica que, por exemplo, 189 e 102 têm o mesmo dígito na coluna das centenas.

As operações de **memória** envolvem tanto a cópia de informações de uma posição qualquer da memória externa para sua própria memória (registro), como de seu registro para outra posição da RAM.

Executando essas operações em sequência, a CPU transfere informações de uma parte qualquer da memória para outra. Para que a memória do computador tenha alguma utilidade, é absolutamente necessário que a CPU seja capaz de realizar essas duas operações. Só assim torna-se possível um controle completo da memória.

As operações de **controle** consistem, na verdade, em decisões quanto à sequência pela qual a CPU executa as outras operações descritas. Por enquanto, tudo o que precisamos saber sobre as operações de controle é que a CPU pode tomar determinadas decisões a respeito de sua própria atividade.

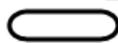
Portanto, a CPU executa operações aritméticas, compara números, desloca informações na memória e decide sobre sua própria sequência de operações. Essa lista de procedimentos é suficiente para definir uma máquina de computação ideal.

6.8 CONCEITOS DE FLUXOGRAMA

O fluxograma é uma representação gráfica das tarefas de um programa, por meio de símbolos que fornecem uma visualização imediata do significado da tarefa.

Definição dos Elementos de Fluxograma

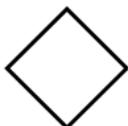
Abaixo se seguem os símbolos mais usados nas representações gráficas.



Terminal: Início, término ou interrupção de um programa.



Processamento: Uma ação que deve ser tomada.



Decisão: Desvio para diversos pontos do programa de acordo com uma situação testada.



Entrada / Saída: Qualquer função relacionada com dispositivos de entrada ou saída em geral.



Monitor: Terminal de vídeo ou Display.



Cartão: Entrada ou saída através de cartão.



Teclado: Entrada de informação através do teclado.



Impressora: Saída de informações através da impressão em papel.

Exemplos do Uso de Fluxograma

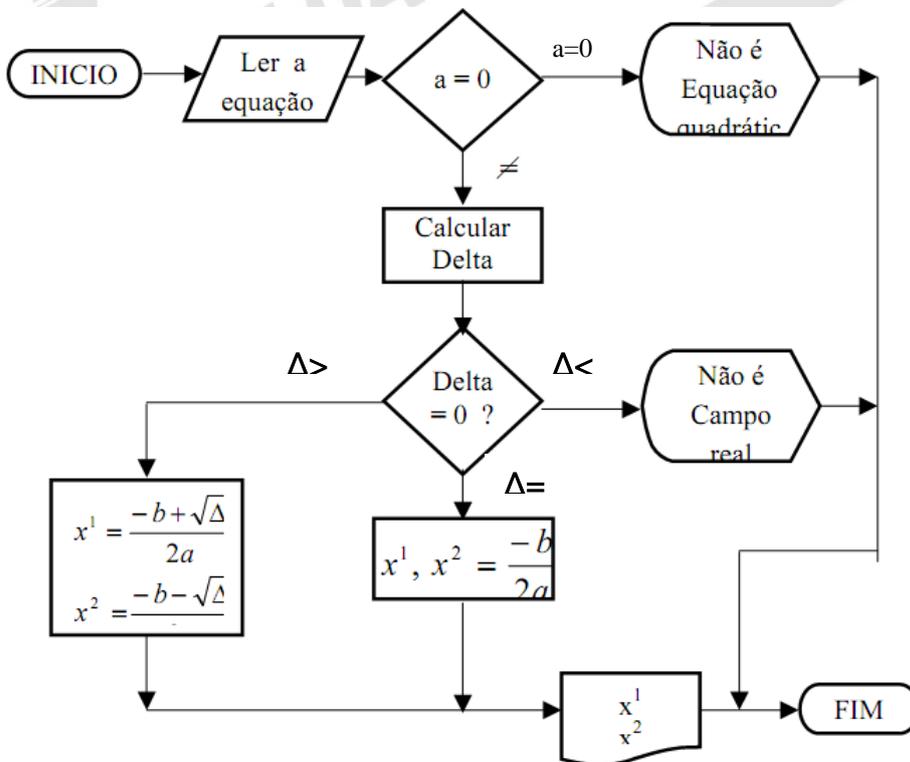
Equação Quadrática - Vamos examinar alguns exemplos simples, para termos uma visualização de fluxograma.

O passo inicial é examinar um fluxograma genérico que represente os passos do programa para calcular as raízes da equação quadrática: $ax^2 + bx + c = 0$

Também podemos escrever que:

$$x^1, x^2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$

A solução deste problema pode ser representada como no fluxograma da figura 112.



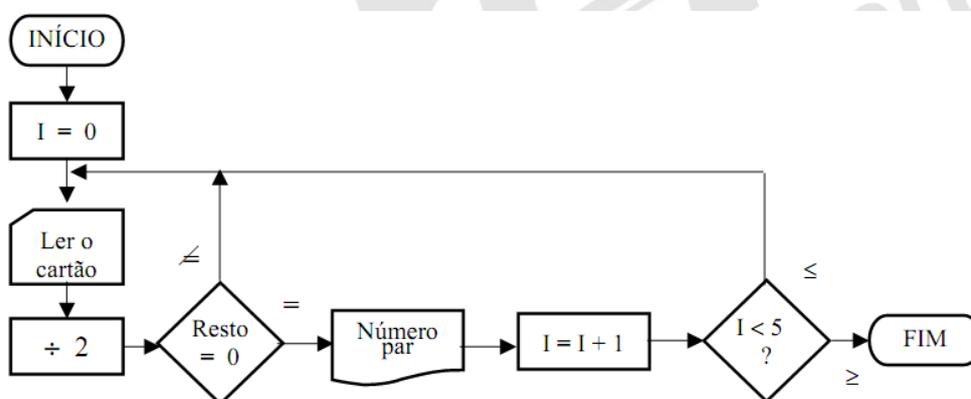
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 112 Fluxograma de Equação Quadrática

Impressão de Números

O fluxograma da figura 113 é um programa para imprimir cinco números pares lidos de um cartão de memória.

Observe que a instrução $I = I + 1$, não significa que I seja igual a $I + 1$, o que seria um absurdo, mas que a variável I passa a assumir o valor que ela tinha acrescido de 1, ou seja, se I era igual a 2, passa a ser 3 e assim por diante. Assim, a variável I , que iniciou com o valor 0, é incrementada de 1 sempre que um número par é impresso, até que atinja um valor que não seja menor que 5, quando o programa é instruído a parar.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 113 Fluxograma dos números pares

6.9 LINGUAGEM DO COMPUTADOR

Desde o princípio da era do computador, a principal preocupação foi de como poderia ser feita a comunicação entre o homem e a máquina.

Como se pode notar, tanto o computador como a máquina, utilizam-se apenas de níveis de tensão, chamados níveis lógicos.

A grande preocupação do homem é utilizar o computador em todas as áreas e, para isso, necessita de uma comunicação de fácil acesso com o meio externo. Isto, em outras palavras, significa transformar níveis de tensão em informações, com o tipo de linguagem empregada pela maioria dos homens.

Uma das primeiras comunicações com o computador foi a linguagem de máquina ou objeto. Esta linguagem é muito cansativa por lidar diretamente com códigos binários, isto é, níveis lógicos "zero" e "um".

Em função da dificuldade apresentada por esta linguagem, surgiu a linguagem "Assembly", que transforma códigos binários em mnemônicos, isto é, nomeia cada código para que este possa ser utilizado mais facilmente.

Com o surgimento desta linguagem, houve a necessidade de transformar os mnemônicos em códigos binários. Esta transformação é chamada de "Compilador Assembler".

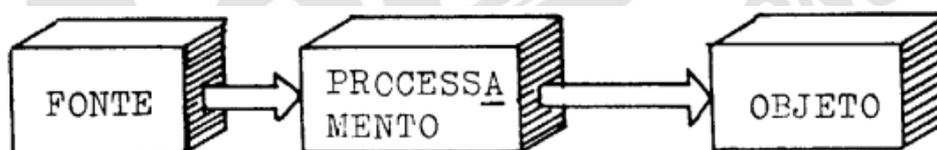
Mesmo com o surgimento da linguagem Assembly, o operador continuava encontrando muitas dificuldades para manusear este grupo de instruções. Mediante estas dificuldades, outras linguagens foram sendo desenvolvidas.

Com o aparecimento de outras linguagens, houve uma divisão entre as linguagens de baixo nível e as de alto nível. As de alto nível surgiram especificamente para cada área, como "Fortran" para a área científica, "Cobol" para a área comercial e outras linguagens para cada finalidade como "Basic", "Pascal", "PL/1", etc.

As linguagens de alto nível deram margem ao surgimento dos programas tradutores. Como o próprio nome está dizendo, o computador necessita de um programa que traduza tais linguagens para que tenha condições de executar as instruções a ele designadas.

A linguagem de máquina pode ser escrita em octal, hexadecimal ou binária. O programa fonte recebe a denominação de linguagem de programação e o programa resultante da conversão em linguagem de máquina recebe a denominação de programa objeto.

Programa de processamento é aquele que traduz a linguagem de programação para linguagem de máquina.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 114 Representação em blocos do fluxo das linguagens.

Programa	Fonte	Processamento	Observações
Maqui- na	Máquina	Não há necessidade	Este programa é escrito na linguagem binária
	Hexadecimal	Hexadecimal loader	É usado o carregador hexadecimal
	Assembly	Assembler	É a linguagem de programação escrita em Mnemônicos
Proces- samen- -to	Alto nível (Compiler)	Tradutor- Interpretador/Compilador	Converte linha a linha e a tradução é feita de uma só vez
	Hand Assembly	Hexadecimal Loader	O operador faz a tradução do Assembly para o Hexa, isto é, age como programa de processamento

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 115 Quadro geral de linguagens.



Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.



Encerrando a Disciplina

Caro aluno,

Chegamos ao final de nossos estudos com o entendimento de como funciona um sistema computacional completo. Esperamos que toda informação fornecida seja útil para sua carreira de técnico em aviônicos e que você possa contribuir com eficiência, conforto e segurança nos voos.

Sucesso!

Prof. Hélio Luis Camões de Abreu