

C. CIRCUITOS PARA O ACIONAMENTO DE CARGAS

A corrente de saída que os circuitos digitais podem fornecer para dispositivos externos, geralmente é insuficiente para a maioria das cargas, tais como: relés, motores e lâmpadas. Quando um microcontrolador é utilizado para o acionamento de alguma carga com corrente superior ao que seu pino pode suprir ou drenar, deve-se empregar um circuito específico para fazer a ligação entre o microcontrolador e a carga. Esses circuitos costumam ser designados em eletrônica como *buffers* de corrente ou *drivers* de corrente. Da mesma forma, pode ser necessário adequar ou isolar um sistema digital para o trabalho com níveis de tensões diferentes e, neste caso, empregam-se circuitos isoladores ou acopladores. A seguir serão apresentadas algumas possibilidades básicas de interfaces entre circuitos digitais e o mundo externo analógico.

C.1 A CHAVE TRANSISTORIZADA

A chave transistorizada é muito utilizada para acionamentos e inversão de sinais digitais. Seu projeto é fácil, bastando saber: a corrente de carga, o ganho do transistor e a tensão de acionamento. A Fig. C.1 ilustra duas chaves transistorizadas, uma com um transistor NPN e a outra com um PNP, devidamente polarizados.

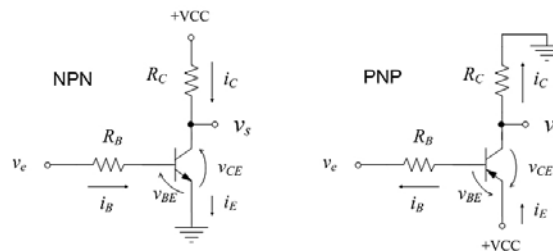


Fig. C.1 – Chaves transistorizadas: a) transistor NPN, b) transistor PNP.

O transistor é um dispositivo eletrônico, muitíssimo utilizado em eletrônica¹. É comumente modelado como uma fonte de corrente controlada por corrente. A corrente de base controla a corrente de coletor, por um fator β (ou h_{FE}), chamado ganho de corrente ($i_C = \beta \cdot i_B$). O transistor quando operando como amplificador deve trabalhar na região ativa, onde variações na corrente de base acarretam variações na corrente de coletor e a tensão entre coletor e emissor pode variar (v_{CE}).

Quando operando como chave, ou seja, quando a corrente de carga é limitada apenas por sua própria resistência, o transistor trabalha saturado e a relação entre a corrente de coletor e de base deixa de ser linear (se a corrente de base for aumentada, a corrente de coletor não se altera). Na saturação a corrente de base garante uma mínima tensão entre o coletor e o emissor (quase zero na prática) e a resistência do transistor se torna praticamente nula.

¹ O estudo detalhado do transistor está além do escopo deste livro. Para maiores detalhes ver: **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos** Robert L. Boylestad e Louis Nashelsky. Prentice Hall, 8 ed., 2005.

Considerando uma fonte assimétrica (Fig. C.1), o transistor trabalhará com tensão positiva em relação ao terra. Analisando a Fig. C.1a para o dimensionamento de uma chave transistorizada, as variáveis R_C , v_e e o ganho do transistor NPN são dados fixos do circuito, restando calcular apenas R_B . Para esse cálculo, deve-se empregar: o ganho mínimo do transistor (β_{\min}), a tensão entre base e emissor (v_{BE}) de aproximadamente 0,7 V - tensão de um diodo de silício diretamente polarizado, e a tensão entre coletor e emissor (v_{CE}) de aproximadamente 0 V (saturação). Além disso, se calcula a corrente de base empregando-se um coeficiente de segurança de 2 vezes para garantir a saturação. Assim, tem-se:

1° Cálculo da corrente de carga:

$$i_C = \frac{V_{CC} - v_{CE}}{R_C} \rightarrow i_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

2° Cálculo da corrente de base:

$$i_B = \frac{2i_C}{\beta_{\min}}$$

Multiplica-se a corrente de coletor por dois. Este é o fator de segurança que aliado ao ganho mínimo garante a saturação.

3° Cálculo de R_B :

$$R_B = \frac{v_e - v_{BE}}{i_B} \rightarrow R_B = \frac{v_e - 0,7}{i_B} [\Omega]$$

Quando houver necessidade do arredondamento dos números, sempre se deve favorecer o aumento da corrente de base.

Exemplo C.1: Deseja-se acionar o LED do circuito da Fig. C.2 com um sinal de 5 V. O LED deve operar com uma corrente de 20 mA (queda de 2 V). Será empregado o transistor NPN de chaveamento 2N2222 que tem um ganho mínimo de 50. Determinar R_D , R_B e a tensão v_s de acordo com a tensão de entrada.

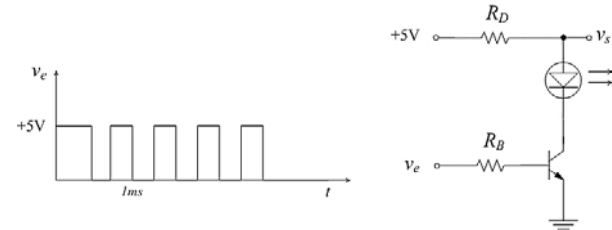


Fig. C.2 - Circuito para cálculo da chave transistorizada do exemplo C.1.

A tensão em R_D , com $v_{CE} \approx 0$ V e $v_{LED} = 2$ V, é:

$$v_D = 5 - 2 = 3 \text{ V}$$

Como a corrente no LED é a mesma de R_D , calculamos R_D :

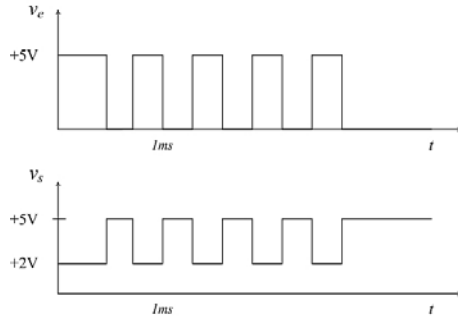
$$R_D = \frac{v_D}{i_{LED}} \rightarrow R_D = \frac{3}{0,02} = 150 \Omega$$

Calculando i_B e R_B :

$$i_B = \frac{2 \times 0,02}{50} \rightarrow i_B = 0,8 \text{ mA} \rightarrow i_B = 1 \text{ mA (com arredondamento)}$$

$$R_B = \frac{5 - 0,7}{0,001} = 4,3 \text{ k}\Omega \quad (\text{valor comercial de resistência})$$

A tensão v_s é:



A tensão v_e aplicada no transistor liga o LED. O resistor R_D é necessário para limitar a corrente no LED e impedir que ele queime.

Exemplo C.2: Deseja-se acionar uma carga que consome 100 mA quando ligada à chave transistorizada da Fig. C.3. É empregado o transistor PNP de chaveamento 2N2907 que têm um ganho mínimo de 50. Determinar R_B e a tensão v_s de acordo com a tensão de entrada.

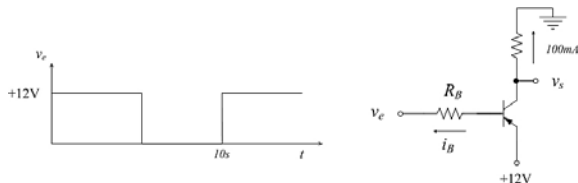


Fig. C.3 – Circuito para cálculo da chave transistorizada do exemplo C.2.

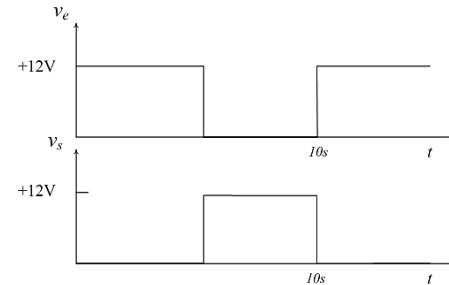
Apesar da inversão de polaridade na alimentação do 2N2907, a forma de cálculo da chave mantém-se igual, com a diferença que a chave é acionada com tensão zero.

Calculando i_B e R_B :

$$i_B = \frac{2 \times 0,1}{50} \rightarrow i_B = 4 \text{ mA}$$

$$R_B = \frac{12 - 0,7}{0,004} = 2825 \Omega \rightarrow R_B = 2,7 \text{ k}\Omega \text{ (valor comercial de resistência)}$$

A tensão v_s é:



Quando a tensão de entrada é 0 V a chave é ligada por 10 s e a carga consome 100 mA. A tensão na carga será aproximadamente 12 V (na prática existe uma pequena tensão entre coletor e emissor, especificada no catálogo do fabricante do transistor).

Exercício

C.1 - Deseja-se acionar o relé do circuito da Fig. C.4² com um sinal de 5 V. O relé deve operar com uma corrente de 150 mA. Será empregado o transistor NPN BC548 que têm um ganho mínimo de 110. Determinar R_B .

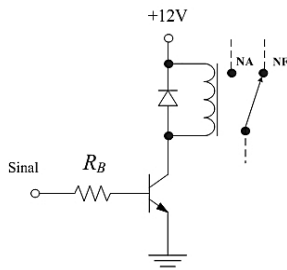


Fig. C.4 – Chave transistorizada para acionamento de um relé.

² Deve ser empregado um diodo, denominado diodo de roda livre, paralelo à bobina do relé, para evitar a queima do transistor durante o seu desligamento. Isto é necessário porque no corte da corrente de uma bobina existe uma força contra-eletromotriz que induz uma tensão na bobina. Essa tensão possui polaridade oposta à de alimentação e sua magnitude pode ser elevada. Desta forma, o diodo de roda livre curto circuita a bobina, anulando a tensão induzida.

C.2 CIRCUITOS INTEGRADOS PARA O SUPRIMENTO DE CORRENTES

Dependendo do tamanho da placa de circuito impresso, muitas vezes é interessante empregar circuitos integrados dedicados para o suprimento de correntes, ou mesmo, para simplificação do circuito. Por exemplo, o ULN2003 é utilizado para alimentar cargas que consomem até 500 mA, sendo acionado com tensões de 5 V e correntes de 1,35 mA; possui saídas em coletor aberto que suportam tensões de até 50 V e dispõe de diodos adequadamente conectados para permitir a conexão direta de cargas indutivas nas suas 7 saídas, como mostrado na Fig. C.5. Na Fig. C.6 é apresentado um circuito exemplo para o acionamento de um motor de passo bipolar e três motores DC, alimentados com 12 V.

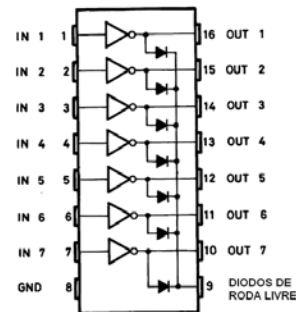


Fig. C.5 – Diagrama esquemático do ULN2003 (fonte ST microeletronics).

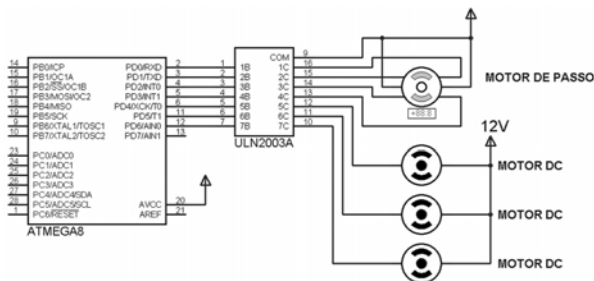


Fig. C.6 – Exemplo do emprego do ULN2003 para o acionamento de motores.

A família de CIs ULN possui outros componentes com diferentes características: o ULN2803, por exemplo, possui 8 saídas, sendo adequado para o trabalho com 1 byte de informação.

Quando a exigência de corrente não é grande, pode-se empregar circuitos digitais como o *buffer tri-state* 74244, que, dependendo do fabricante, pode fornecer até 25 mA.

Dependendo das exigências do projeto, outros CIs podem ser empregados. O mercado disponibiliza uma infinidade dos chamados *drivers* ou *buffers* de corrente.

C.3 OPTOACOPLADORES

Em muitas aplicações existe a necessidade de uma interface de isolamento entre o sistema digital de controle e o sistema a ser controlado (isolamento entre o sistema digital e o sistema analógico). Essa necessidade se deve ao ruído que pode ser induzido através das conexões elétricas entre os dois circuitos, prejudicando o funcionamento dos mesmos, ou da necessidade de isolamento elétrico entre circuitos com tensões diferentes. Esse isolamento pode ser feito com relés ou através de chaves ópticas especialmente projetadas (circuitos integrados especiais). A desvantagem dos relés está no tempo de fechamento dos seus contatos, no seu tamanho e na existência de partes mecânicas (que sofrem desgaste). Os circuitos integrados são mais rápidos e menores; por outro lado, os relés trabalham com tensões e correntes superiores. Trabalhar com relés é relativamente fácil; com circuitos integrados são necessário alguns cuidados especiais no dimensionamento dos componentes externos.

Para o isolamento entre circuitos de corrente contínua pode ser empregado, por exemplo, os CIs 4N25 ou TIL111 (o diagrama esquemático e o encapsulamento do TIL111 é apresentado na Fig. C.7). Esses CIs são compostos por um LED e um foto-transistor, quando o LED é acionado, o foto-transistor funcionará como chave digital. Desse modo, a corrente do LED deve ser suficiente para saturar o foto-transistor. O projetista dimensiona o resistor para limitar a corrente do LED de acordo com a tensão de controle do componente.

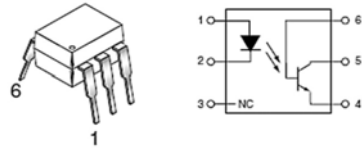


Fig. C.7 – Encapsulamento e diagrama esquemático de um optoacoplador TIL111 (fonte Fairchild).

Quando se projeta um circuito opto-acoplado, deve-se ter o cuidado de isolar fisicamente o terra da parte de controle do terra da parte controlada, conforme as necessidades do projeto.

Em corrente alternada, o acionamento de cargas por um circuito digital é bem mais delicado que o acionamento em corrente continua devido às altas tensões envolvidas (da rede elétrica). Para tal, existem optoacopladores dedicados, como o MOC3041, visto na Fig. C.8. O MOC3041 possui um LED que aciona um foto-triac, de acordo com o valor da corrente de carga, além do MOC, emprega-se um triac no acionamento. A Fig. C.9 apresenta circuitos exemplos para acionamento de cargas em 115 VAC e 240 VAC, conforme manual do fabricante.

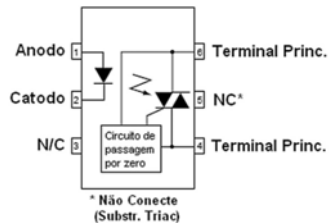
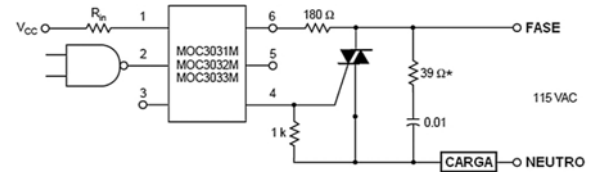
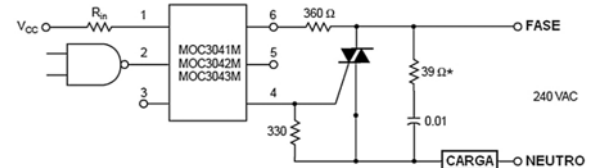


Fig. C.8 – Diagrama esquemático de um optoacoplador MOC3041 (fonte Fairchild).



* Para cargas altamente indutivas (fator de pot. < 0,5), mudar este valor para 360 ohms.



* Para cargas altamente indutivas (fator de pot. < 0,5), mudar este valor para 360 ohms.

Fig. C.9 – Exemplos circuitos para o emprego do MOC3041 (fonte Fairchild).

BIBLIOGRAFIA



Lima, Charles Borges de. **Técnicas de Projetos Eletrônicos com os Microcontroladores AVR.**
Edição do autor - Clube de Autores, 1ª ed. Nov/2010.

ISBN 978-85-911400-0-8