

## 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.

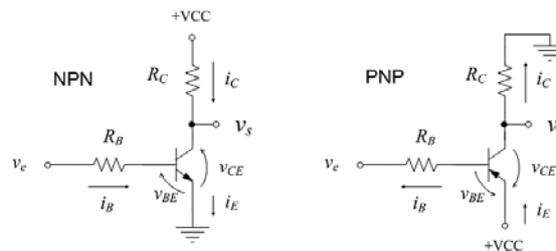


Fig. C.1 – Chaves transistorizadas: a) transistor NPN, b) transistor PNP.

O transistor é um dispositivo eletrônico, muitíssimo utilizado em eletrônica<sup>1</sup>. É comumente modelado como uma fonte de corrente controlada por corrente. A corrente de base controla a corrente de coletor, por um fator  $\beta$  (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.

<sup>1</sup> 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 ( $\beta_{\min}$ ), 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  $R_B$ :

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

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.

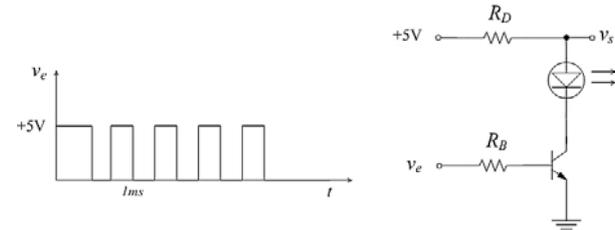


Fig. C.2 - Circuito para cálculo da chave transistorizada do exemplo C.1.

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  $R_D$ :

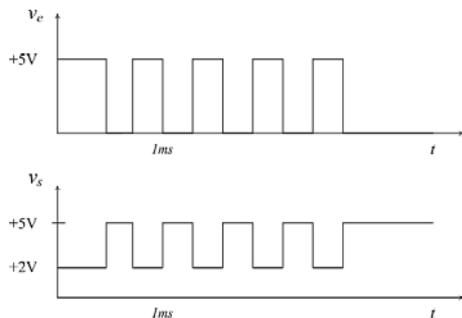
$$R_D = \frac{v_D}{i_{LED}} \rightarrow R_D = \frac{3}{0,02} = 150 \text{ } \Omega$$

Calculando  $i_B$  e  $R_B$ :

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

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

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.

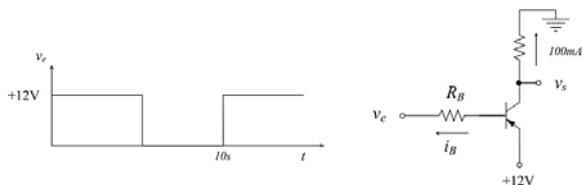


Fig. C.3 – Circuito para cálculo da chave transistorizada do exemplo C.2.

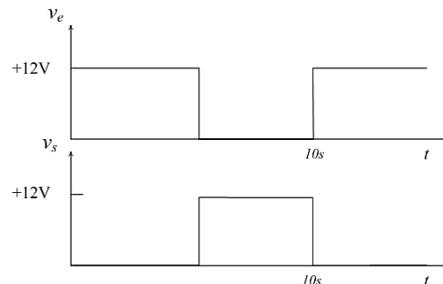
Apesar da inversão de polaridade na alimentação do 2N2907, a forma de cálculo da chave mantém-se igual, com a diferença que a chave é acionada com tensão zero.

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.4<sup>2</sup> 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  $R_B$ .

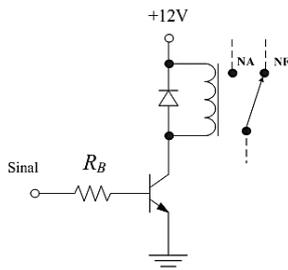


Fig. C.4 – Chave transistorizada para acionamento de um relé.

<sup>2</sup> 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.

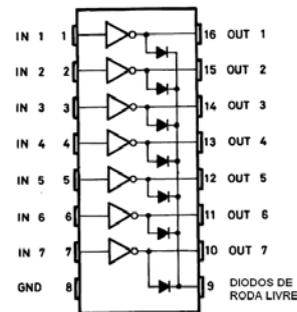


Fig. C.5 – Diagrama esquemático do ULN2003 (fonte ST microelectronics).



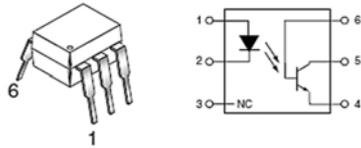


Fig. C.7 – Encapsulamento e diagrama esquemático de um optoacoplador TIL111 (fonte Fairchild).

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.

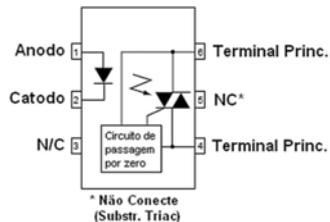
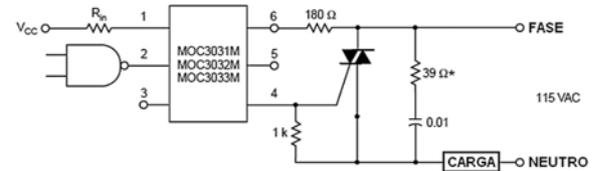
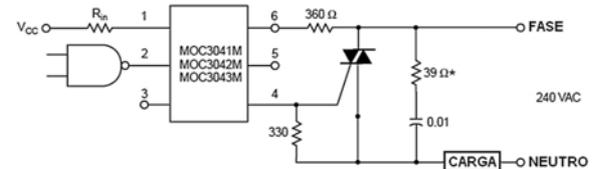


Fig. C.8 – Diagrama esquemático de um optoacoplador MOC3041 (fonte Fairchild).



\* 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