

7 – Electrónica em aplicações reais

Objectivos – Integrar os conhecimentos adquiridos nos trabalhos anteriores em pequenos projectos que ilustram aplicações concretas de circuitos electrónicos.

Introdução

Neste trabalho chegamos, finalmente, aos circuitos electrónicos que fazem alguma coisa visivelmente útil. É aqui que a electrónica se torna verdadeiramente estimulante e até divertida. Pelo menos, assim o esperamos!...

No que se segue são apresentados dois pequenos projectos que envolvem quase todos os componentes electrónicos que estudou: amplificadores operacionais, vários tipos de díodos (LED, Zener e foto-díodo) e transístores MOS. Deve montar e testar o circuito correspondente a apenas um dos projectos.

7.1 – Projecto 1: Detector de luminosidade

Este projecto utiliza um sensor que fornece informação sobre o nível de luminosidade ambiente, permitindo que um circuito possa ligar automaticamente a iluminação quando fica mais escuro. É uma ideia que está presente, por exemplo, nos sistemas de iluminação pública, que ligam e desligam os pontos de iluminação nos momentos certos consoante as variações da duração da noite ao longo do ano, ou nos automóveis de fabrico recente que permitem que as luzes se liguem automaticamente durante a noite ou ao entrar em túneis ou garagens fechadas.

7.1.1 – Princípio de funcionamento

O sistema a montar é composto pelos quatro blocos funcionais ilustrados na fig. 7.1.

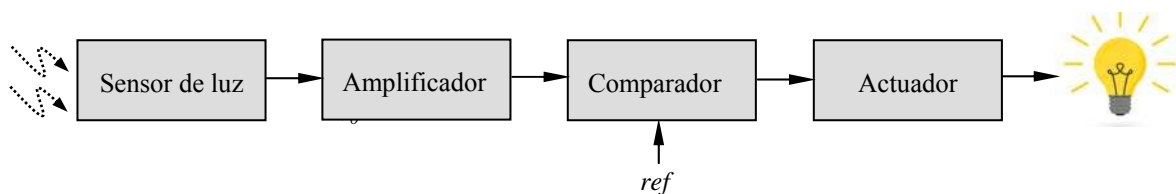


Fig. 7.1

O *Sensor de Luz* produz uma saída que depende da intensidade da luz incidente. O *Amplificador* amplia o sinal de pequena amplitude produzido pelo sensor para que este possa ser usado no bloco subsequente. Este último é um *Comparador* analógico que compara a tensão na saída do amplificador com um nível predefinido de referência (*ref*) ou decisão. Desta comparação resulta uma resposta binária, um *sim* ou um *não*, que é usada pelo bloco final, o *Actuador*, para ligar ou desligar a iluminação.

7.1.2 – Sensor de luz

O sensor de luz que iremos usar é um foto-díodo (fig. 7.2). Quando polarizado em modo inverso este dispositivo produz uma corrente, i_R , proporcional à intensidade luminosa que atinge a sua área sensível.

Para o foto-díodo que iremos usar – do tipo SFH213 – o valor de i_R pode chegar aos $100\mu A$, quando este é exposto a grandes intensidades luminosas (ver *data-sheet* no elearning da UC).

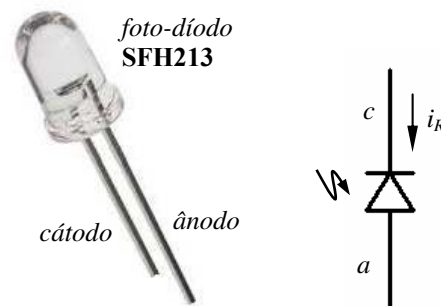


Fig. 7.2

7.1.3 – Amplificador

Para amplificar o sinal de corrente proveniente do foto-díodo vamos usar um amplificador baseado no já conhecido TL081, tal como mostra a fig. 7.3.

Costuma dizer-se que este é um amplificador de *transresistência* porque tem como entrada uma corrente (i_R), gerando na saída um sinal de tensão (v_{o1}).

Como na entrada inversora temos um curto-circuito virtual podemos concluir que

$$v_{o1} = R_1 i_R$$

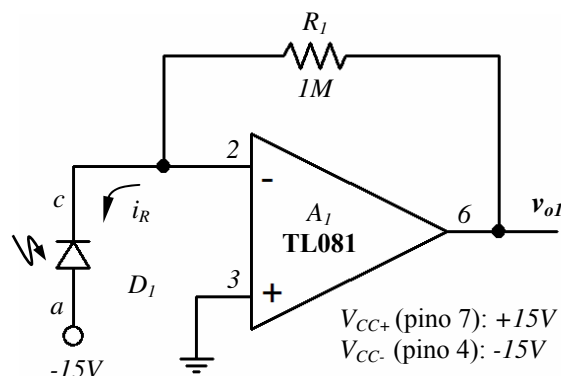


Fig. 7.3

a) Monte o circuito da fig. 7.3 e verifique a variação de v_{o1} com vários níveis de luminosidade aplicados ao foto-díodo (cubra o foto-díodo com as mãos e depois incida sobre ele a luz da lanterna do seu telemóvel).

b) Com base nos valores de tensão medidos em **a)** deduza a gama de correntes produzidas pelo foto-díodo.

Mantenha este circuito montado e passe ao seguinte.

7.1.4 – Comparador

A fig. 7.4 mostra o comparador que iremos usar, baseado em mais um OpAmp TL081.

Trata-se de um comparador com histerese (um *Schmitt trigger*) que compara a tensão de entrada v_{i2} (a ligar, mais tarde, a v_{o1} , no circuito da fig. 7.3) com dois níveis de referência⁷, V_L e V_H , cujos valores dependem da tensão do Zener D_2 e das tensões de saturação do TL081, V_{OH} e V_{OL} , que já mediu no Trab. 5. A fig. 7.4 mostra, do lado direito, a característica entrada/saída deste comparador.

Quando a tensão de entrada v_{i2} é baixa (menor que V_L) a saída do comparador é $v_{o2} = V_{OH}$. Quando v_{i2} é suficientemente elevada (superior a V_H), a saída do OpAmp desce para $v_{o2} = V_{OL}$.

a) Comece por dimensionar R_4 de forma a polarizar o Zener com uma corrente de, aproximadamente, $5mA$. (despreze a corrente em R_2).

b) Monte o circuito da fig. 7.4 na mesma placa branca onde montou o circuito anterior. Para já não ligue ainda a entrada v_{i2} ao outro circuito.

⁷ Numa aplicação real estes níveis deveriam ser ajustáveis, permitindo assim configurar a gosto o nível mínimo de luminosidade abaixo do qual as luzes seriam ligadas.

c) Regule o gerador de sinal da bancada para fornecer um sinal triangular de **100Hz**, a variar de **0 a 5V**, e ligue este sinal na entrada v_{i2} do circuito. Visualizando simultaneamente no osciloscópio os sinais v_{i2} e v_{o2} , determine os valores de v_{i2} para os quais o comparador muda de estado. Estas são as tensões de comparação V_L e V_H .

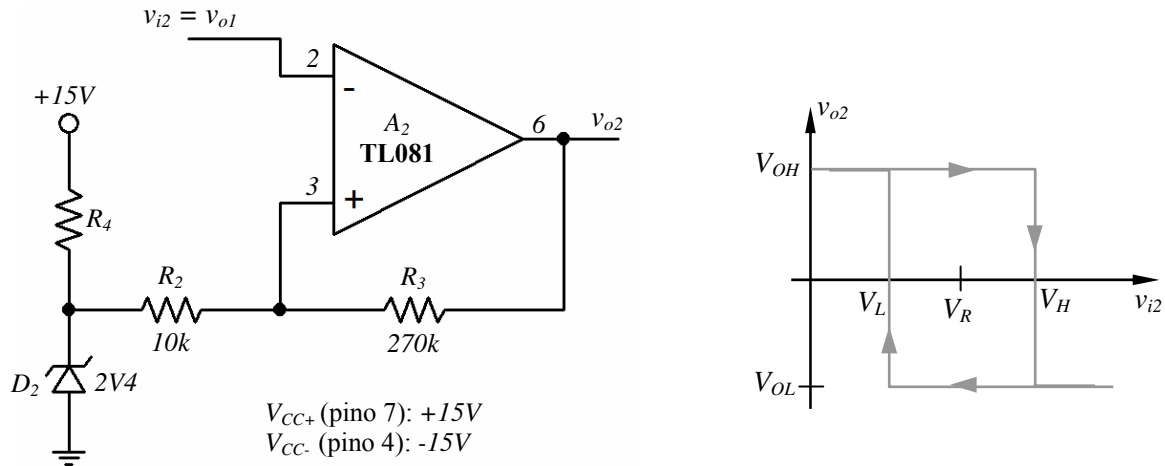


Fig. 7.4

7.1.5 – Actuator

Como referido anteriormente, o sinal binário de saída do comparador é usado pelo circuito actuador para ligar a iluminação. Numa aplicação real este actuador poderá ser, por exemplo, um transistor de potência que liga, directamente ou através de um relé, todo o sistema de iluminação. Para o nosso pequeno projecto vamos supor, no entanto, que a iluminação é realizada por um simples LED e que o actuador é um pequeno transistor MOS de baixa potência. A fig. 7.5 mostra o circuito a realizar.

a) Monte este circuito na mesma placa branca ao lado do circuito da fig. 7.4. Para já não ligue ainda a entrada v_{i3} ao circuito anterior.

b) Teste o funcionamento do circuito, ligando, com um fio, a porta do transistor alternadamente à alimentação (+15V) e depois à massa.

c) Com o transistor ligado, obtenha experimentalmente a corrente no LED? Qual é a potência dissipada em M₁?

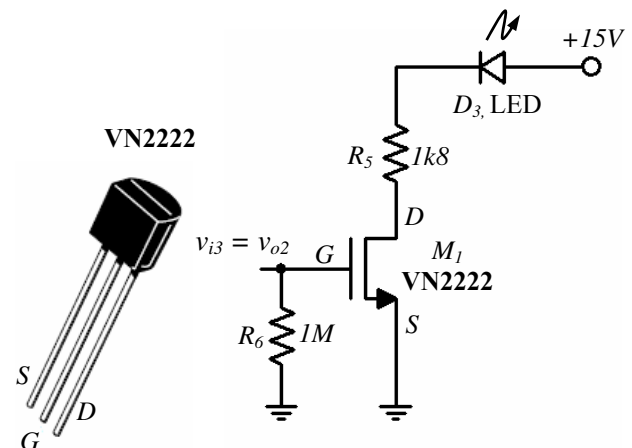


Fig. 7.5

7.1.6 – Circuito completo

Ligue agora entre si todos os blocos do projecto: a saída do amplificador à entrada do comparador: $v_{i2} = v_{o1}$; a saída do comparador à entrada do actuador: $v_{i3} = v_{o2}$. Para funcionar correctamente o LED D_3 só deve acender quando o foto-díodo fica às escuras. Se necessário, aumente a resistência R_1 para $1.5M\Omega$ ou $2M\Omega$ para tornar o circuito mais sensível a níveis baixos de luminosidade.

7.2 – Projecto 2: Controlo de velocidade dum motor DC

Neste projecto pretende-se montar e testar um circuito que permita controlar a velocidade de rotação de um pequeno motor de corrente contínua, do tipo que se encontra habitualmente nos brinquedos⁸.

Uma das maneiras mais expeditas de controlar a velocidade de um motor deste tipo consiste na colocação de uma resistência variável (um potenciómetro) em série com a alimentação do motor. Variando a resistência, varia-se a tensão e corrente no motor e assim a sua velocidade. Este é o método que se usa, por exemplo, nas pistas mais económicas de *slot cars*.

Um processo mais eficiente do ponto de vista da potência⁹ consiste em ligar o motor à alimentação através dum interruptor que abre e fecha periodicamente. Este princípio está ilustrado na fig. 7.6. O interruptor (electrónico) é actuado a um ritmo constante, mas a fracção de tempo em que este se encontra fechado é variada (ou modulada) em função da velocidade pretendida para o motor. Quanto maior for o tempo em que o interruptor está fechado, maior será a *tensão média* que chega ao motor e maior será, portanto, a sua velocidade. Esta técnica designa-se por Modulação da Largura de Impulso (ou PWM, de *Pulse Width Modulation*).

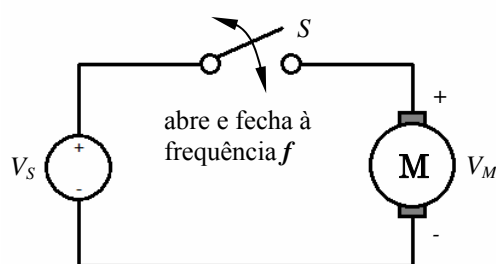


Fig. 7.6

7.2.1 – Princípio de funcionamento

A fig. 7.7-a) mostra o diagrama de blocos de um possível controlador de velocidade baseado em PWM. O sistema inclui um circuito oscilador, um comparador analógico e um interruptor controlado por tensão.

O oscilador produz um sinal periódico com a forma de onda de um dente de serra e uma frequência ($1/T$) com o valor pretendido para o sinal PWM (v_{sw} na fig. 7.7-b). O comparador compara o sinal do oscilador com a tensão DC V_{ref} , que deve ser tanto maior quanto maior o valor da velocidade que se quer imprimir ao motor. A saída do comparador é um sinal binário (v_c na fig. 7.7-c) que indica a relação de ordem entre os sinais de entrada: tem o valor 1 quando $V_{ref} > v_{sw}$ e o valor 0 quando $V_{ref} < v_{sw}$. O interruptor controlado por tensão, S , é inserido no circuito de

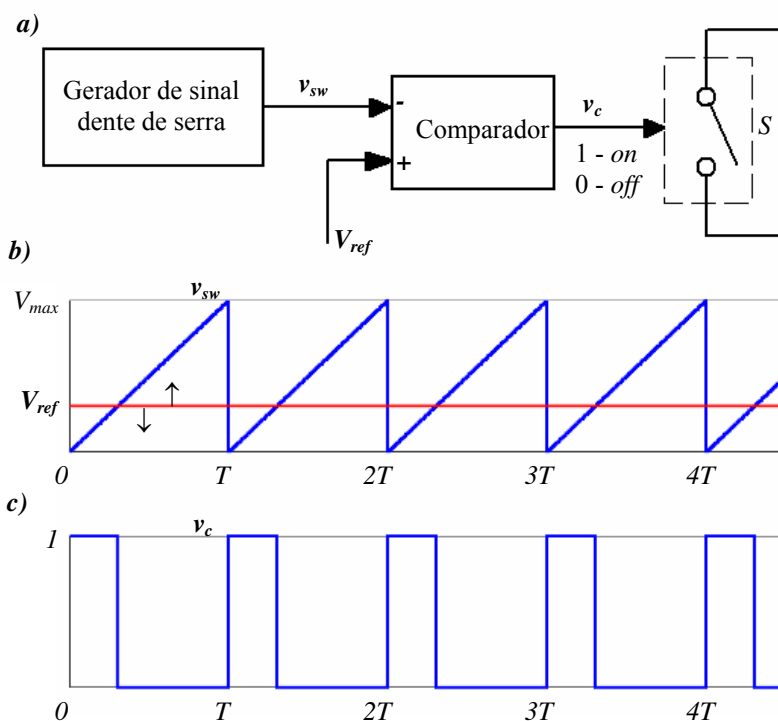


Fig. 7.7

⁸ Veja no Apêndice uma descrição muito sucinta do princípio de funcionamento dos motores DC de iman permanente.

⁹ O método anterior é particularmente ineficiente porque desperdiça potência na resistência variável.

alimentação do motor (como na fig. 7.6), ligando quando v_c tem o valor 1.

Para o valor de V_{ref} indicado na fig. 7.7-b), o sinal PWM gerado é o da fig. 7.7-c). Se aumentarmos V_{ref} é fácil de ver que a parcela de tempo em que v_c fica a 1 vai aumentar, aumentando portanto a parcela de tempo em que o motor está ligado à alimentação via S . A velocidade do motor aumenta. Se diminuirmos V_{ref} , reduzimos essa parcela e a velocidade do motor diminui.

7.2.2 – Oscilador

O oscilador que vamos usar é implementado com um comparador com histerese e um integrador RC. É conhecido na literatura por *oscilador de relaxamento* ou simplesmente circuito *astável*. Como irá constatar, o sinal periódico que este circuito produz na saída é diferente do que vimos no modelo da fig. 7.7-b), mas o princípio de funcionamento do controlador PWM mantém-se inalterado.

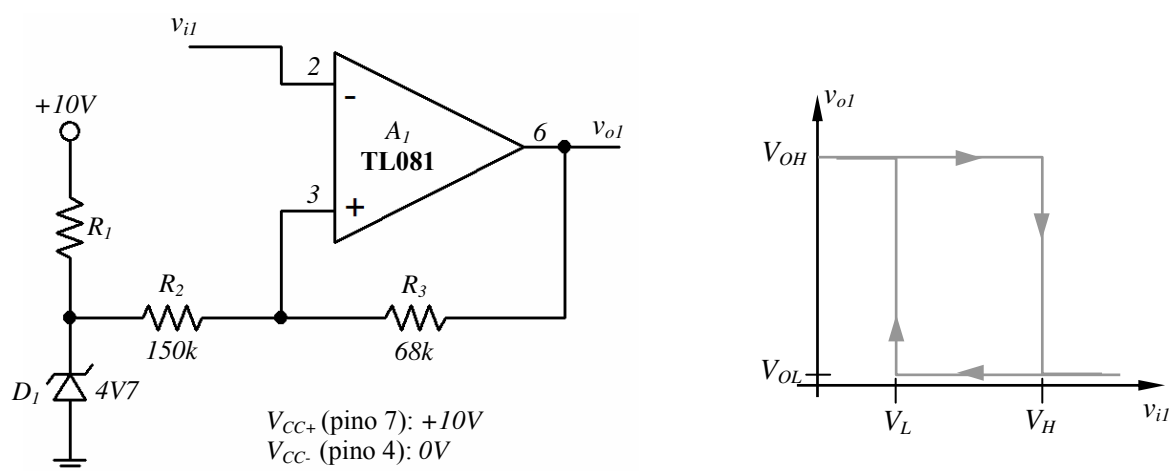


Fig. 7.8

O comparador com histerese (ou *Schmitt trigger*) é baseado no OpAmp TL081 e deve ser o primeiro circuito a montar e a testar separadamente. O esquema eléctrico é o representado na fig. 7.8.

Este circuito compara a tensão de entrada v_{il} com uma de duas tensões de referência, V_L ou V_H , tal como sugerido pela característica entrada/saída representada na fig. 7.8. Se a saída do circuito estiver no estado $v_{ol} = V_{OH}$, a tensão de referência usada é V_H . A tensão de saída manter-se-á em V_{OH} se v_{il} for inferior a V_H . Caso contrário a saída mudará para o estado $v_{ol} = V_{OL}$. Neste estado a tensão de referência passa a ser V_L .

Note que, nos circuitos deste projecto os OpAmp são alimentados de forma unipolar, entre 0 e 10V. As tensões V_{OL} e V_{OH} que deverá observar, deverão ser de, aproximadamente, 1.3 e 9.5V respectivamente.

a) Comece por dimensionar R_1 de forma a polarizar o Zener com uma corrente de, aproximadamente, 5mA. (despreze a corrente em R_2).

b) Monte o circuito da fig. 7.8 numa das extremidades da placa branca. Regule o gerador de sinal da bancada para fornecer um sinal triangular de 100Hz, a variar de 0 a 8.5V, e ligue este sinal na entrada v_{il} do circuito. Visualizando simultaneamente no osciloscópio os sinais v_{il} e v_{ol} , determine os valores de v_{il} para os quais o comparador muda de estado. Estas são as tensões de comparação V_L e V_H . Registe também o valor dos níveis de tensão V_{OH} e V_{OL} .

c) Para transformar o comparador com histerese num oscilador, basta ligar-lhe agora um circuito RC da forma indicada na fig. 7.9.

Suponha que o estado inicial de v_{ol} é V_{OH} . Nessas condições o condensador C_1 irá ser carregado via R_4 , e a tensão v_{il} irá subir exponencialmente. No entanto, quando v_{il} atingir o valor V_H , a saída do comparador

mudará para o estado $v_{oI} = V_{OL}$. A partir daqui o condensador terá de descarregar e a tensão v_{iI} irá descer. Assim que v_{iI} atingir o limiar V_L , a saída do comparador volta para o estado $v_{oI} = V_{OH}$. Como já deve estar a prever, este ciclo vai repetir-se indefinidamente.

Monte o circuito RC indicada na fig. 7.9 e observe no osciloscópio as formas de onda em v_{iI} e v_{oI} . Meça a frequência dos sinais e os tempos em que v_{oI} se encontra nos valores V_{OH} e V_{OL} .

Mantenha este circuito montado e passe ao seguinte.

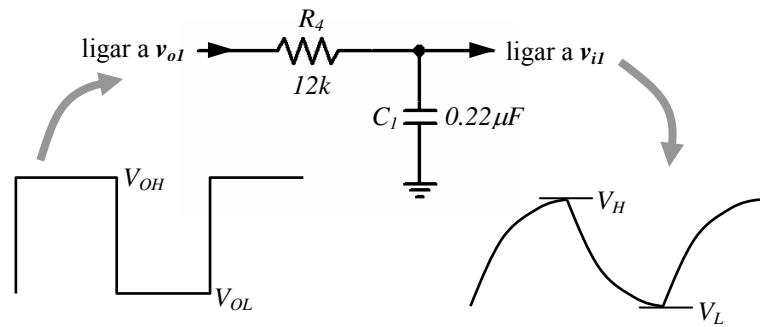


Fig. 7.9

7.2.3 – Comparador

A fig. 7.10 mostra o comparador que iremos usar, baseado em mais um OpAmp TL081. Este circuito vai comparar o sinal na saída do integrador RC (o dente de serra representado na fig. 7.9), ou seja v_{iI} , com uma tensão de referência ajustável (V_{ref}) através de um potenciómetro. O resultado da comparação será o sinal PWM que actuará depois o interruptor controlado por tensão.

O potenciómetro (P_1) está ligado em série com duas resistências, R_5 e R_6 , cujos valores foram escolhidos de maneira a que as tensões V_A e V_B tenham valores ligeiramente acima e abaixo de V_H e V_L , respectivamente.

a) Monte este circuito ao lado do anterior e ligue a sua entrada ao sinal v_{iI} da montagem anterior. Meças as tensões V_A e V_B .

b) Observe no osciloscópio o sinal v_{o2} e veja como este varia à medida que roda o potenciómetro entre os seus extremos. É suposto que num dos extremos do potenciómetro v_{o2} fique sempre ao nível V_{OH} ; no outro deve ficar ao nível V_{OL} .

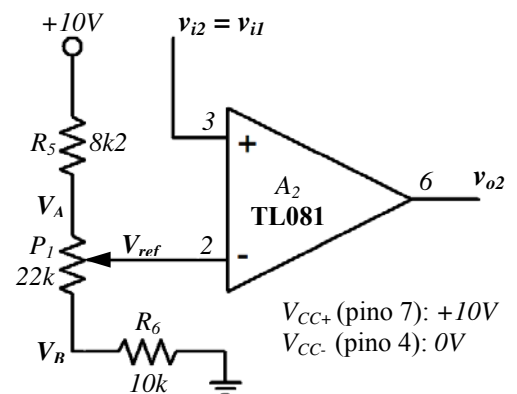


Fig. 7.10

7.2.4 – Interruptor controlado por tensão

Como vimos antes, este interruptor deve ficar inserido no circuito de alimentação do motor (ver fig 7.6), sendo o seu estado, *on* ou *off*, controlado pelo sinal PWM proveniente do comparador (fig 7.7-a).

O interruptor será implementado por um transistor MOS de pequena potência, alimentado à tensão de alimentação do motor, 5V (note que **não é 10V!**), tal como mostra o esquema eléctrico da fig 7.11.

A entrada deste circuito deve ser ligada à saída do comparador, v_{o2} , que varia entre os níveis

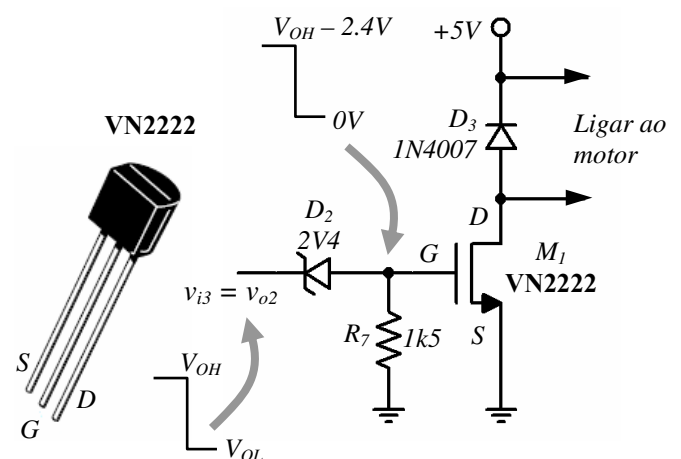


Fig. 7.11

V_{OH} e V_{OL} . Para $v_{o2} = V_{OH}$ ($\approx 9.5V$) o transistor M_1 deve conduzir, ligando o motor. Mas para $v_{o2} = V_{OL}$ ($\approx 1.3V$), M_1 deve cortar. Sabendo que a tensão de limiar, V_T , do VN2222 tem um valor entre 0.6 e 2.5V (ver *datasheet*), concluímos que o corte do transistor não é garantido para $v_{o2} = V_{OL}$ se este sinal for ligado directamente à porta do transistor. É por esse motivo que aparece na entrada do circuito o diodo Zener D_2 e a resistência R_7 . Para $v_{o2} = V_{OH}$ ($\approx 9.5V$), o Zener conduz e a tensão na porta do transistor aparece diminuída de 2.4V, ainda acima do valor máximo de V_T de M_1 . O valor $v_{o2} = V_{OL}$ não será suficiente para colocar D_2 em condução pela que a tensão na porta de M_1 deverá ser 0V, garantindo assim o corte do transistor.

- Monte este circuito mas não ligue já o motor. Para já, coloque uma resistência de 100Ω nos terminais destinados à ligação do motor. Ligue a entrada deste circuito à saída do comparador (v_{o2}).
- Observe no osciloscópio os sinais na entrada, na porta e no dreno de M_1 e registre valores.
- Finalmente retire a resistência de 100Ω e coloque no seu lugar o motor.

Apêndice: Motores eléctricos DC de íman permanente

Os motores eléctricos são máquinas usadas numa grande variedade de aplicações que vão desde os brinquedos mais simples até aos sofisticados automóveis modernos. O seu funcionamento baseia-se na interacção entre campos electromagnéticos produzidos por condutores percorridos por correntes eléctricas.

Os motores rotativos (fig. 7.12) incluem dois elementos principais: uma parte fixa exterior chamada *estator* e um elemento móvel interior que é o *rotor*. Nos motores de corrente contínua de íman permanente (os únicos que iremos considerar aqui), o estator é constituído por um ou mais ímans. O rotor inclui duas ou mais armaduras ferromagnéticas perpendiculares ao eixo, com enrolamentos (bobinas) de fio condutor que são ligados ao exterior através dum coletor e escovas. A fig. 7.13 mostra a constituição básica deste motor com o rotor em três posições. A interacção entre a corrente que percorre os enrolamentos do rotor e o campo magnético fixo do estator resulta numa força (de Lorentz) que impele o rotor a girar para a direita. Quando os enrolamentos do rotor ficam alinhados na horizontal esta força anula-se (o torque é zero). Neste ponto o conjunto coletor e escovas inverte o sentido de circulação da corrente nos enrolamentos, invertendo a polaridade do campo electromagnético e voltando a restabelecer a força de rotação.



Fig. 7.12 – Motor eléctrico de íman permanente.

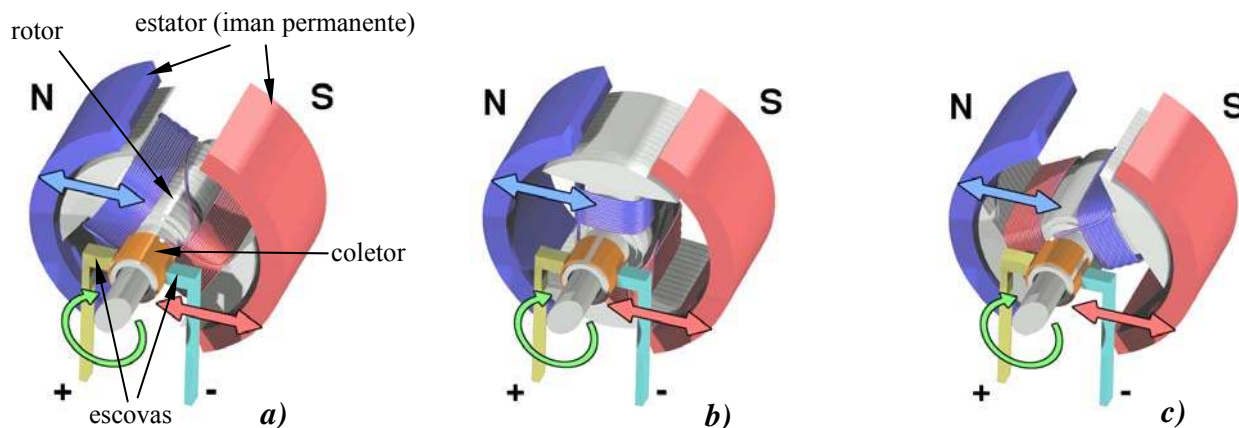


Fig. 7.13 – Constituição e funcionamento de um motor eléctrico de íman permanente.

