

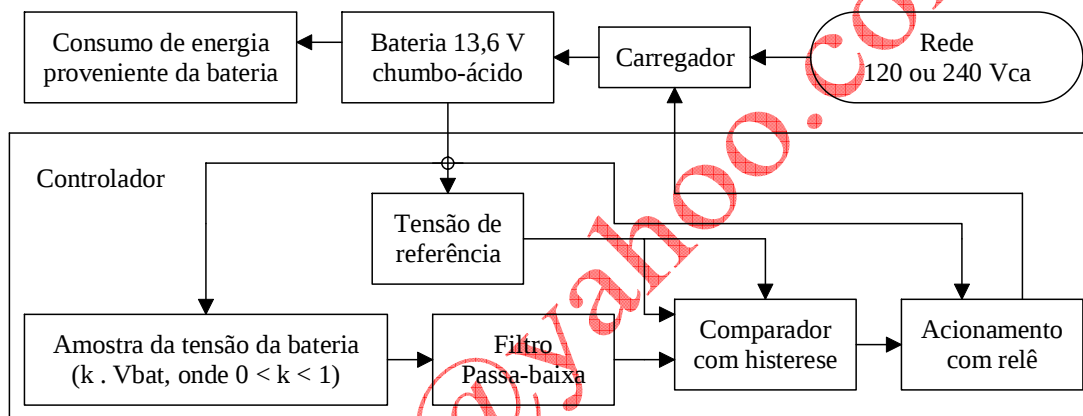
# Projeto de um Controlador de Carga de Bateria de 13,6V

## I - Introdução

Este trabalho trata do projeto de um controlador de carga de bateria de automóvel (chumbo-ácido de 13,6V). Considera-se que o carregador, sem o controle como normalmente é encontrado, já esteja disponível e que sua corrente máxima de comutação seja inferior a 10 A em 120 Vca ou 7 A em 240 Vca. Estas são as capacidades máximas do relê utilizado para ligar e desligar o carregador.

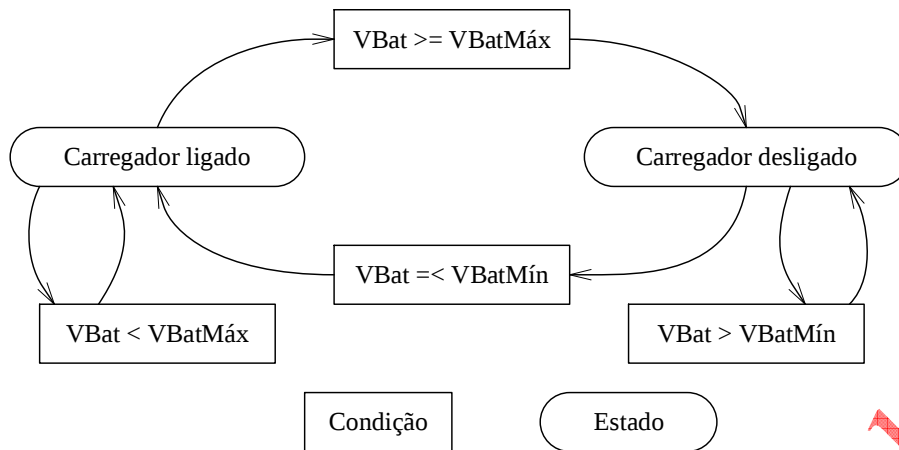
## II - Materiais e Métodos

O diagrama em blocos do controlador é apresentado na figura 1. Uma amostra da tensão da bateria é monitorada continuamente por meio de um divisor resistivo. A tensão resultante é proporcional à tensão da bateria e seu valor encontra-se próximo à tensão de referência. Um filtro passa - baixa (PB) atenua em mais de 50 vezes (em 60 Hz), o ruído de tensão existente na bateria, tais como variações da tensão devido à carga do carregador e devido à descarga provocada pelo circuito alimentado pela bateria.



**Figura 1** – Diagrama em blocos do controlador de carga de bateria juntamente com o equipamento conectado à bateria, o carregador e a rede elétrica.

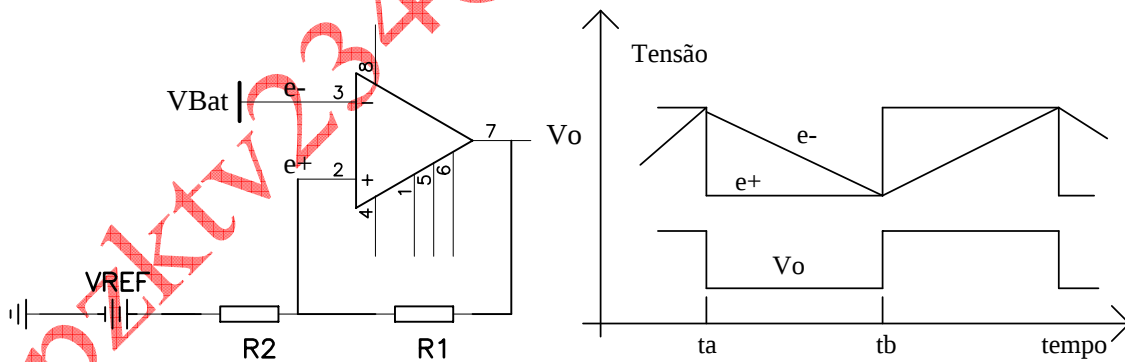
Tanto a tensão de referência como a tensão de amostra, proveniente da bateria, através do filtro, são comparadas. Quando a tensão da bateria for inferior a tensão mínima desejável ( $V_{BatMín}$ ), o comparador envia um sinal ao circuito de acionamento do relê, que por sua vez, conecta o carregador no circuito, carregando a bateria. Uma amostra da saída do comparador é realimentada, positivamente, para a entrada que contem a tensão de referência. Este fato satisfaz duas necessidades; garante uma comutação livre de transientes indesejáveis (*bouncing*) e altera a tensão na entrada de referência para um valor tal que, quando a tensão da bateria alcança o seu valor máximo desejável ( $V_{BatMáx}$ ), ocorre a comutação na saída do comparador e o carregador é desconectado. Enquanto o controlador estiver funcionando o ciclo se repetirá, mantendo a bateria com carga apropriada. O diagrama lógico, mostrado na figura 2, contém informação sobre o funcionamento do sistema. Observar que, se a tensão de bateria estiver entre  $V_{BatMáx}$  e  $V_{BatMín}$ , o carregador continuará ligado se ele já estava antes, e continuará desligado também se ele já estava antes. Há uma informação memorizada na saída do comparador, que determina o estado do carregador.



**Figura 2** – Diagrama lógico do funcionamento do sistema. Dentro dos retângulos tem-se a condição da tensão da bateria (entrada) em relação aos valores limites. Os outros dois blocos contêm informação do estado do carregador, se ligado ou desligado.

### Cálculo do circuito do comparador

Conforme exposto, o comparador terá que possuir histerese. Um circuito básico que satisfaz esta necessidade é apresentado na figura 3, juntamente com suas formas de onda. Supondo-se que o carregador esteja ligado, a tensão da bateria ( $V_{Bat}$ ) vai aumentando, o que implica em que  $e^-$  também aumente (tempo <  $t_a$ ). Quando a tensão da bateria alcançar a tensão máxima ( $V_{BatMáx}$ ),  $e^-$  alcança  $e^+_{Máx}$  e o comparador comuta de  $V_{O_{Máx}}$  para  $V_{O_{Mín}}$  (tempo =  $t_a$ ). A tensão  $e^+_{Máx}$  vai para  $e^+_{Mín}$ . A partir deste instante o carregador é desligado e a tensão da bateria começa a diminuir. A tensão  $e^-$  diminui até que alcance a tensão  $e^+_{Mín}$ , quando então o comparador comuta e  $V_o$  vai de  $V_{O_{Mín}}$  para  $V_{O_{Máx}}$  (tempo =  $t_b$ ). O ciclo se repete enquanto o sistema estiver ligado. Na realidade, a tensão de referência  $V_{REF}$  é proveniente da polarização de um diodo zener, alimentado pela própria bateria. Isso implica em que a tensão em  $e^-$  seja uma amostra proporcional à tensão da bateria  $V_{Bat}$ . O resistor  $R_2$  é o equivalente Thévenin de  $R_3$  e  $R_4$ , a ser introduzido mais adiante.



**Figura 3** – Diagrama básico do comparador com histerese e suas formas de onda de tensões.

Tem-se então:

$$e^+ = V_{Ref} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_o \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot (V_{Ref} \cdot R_1 + V_o \cdot R_2) \quad (1)$$

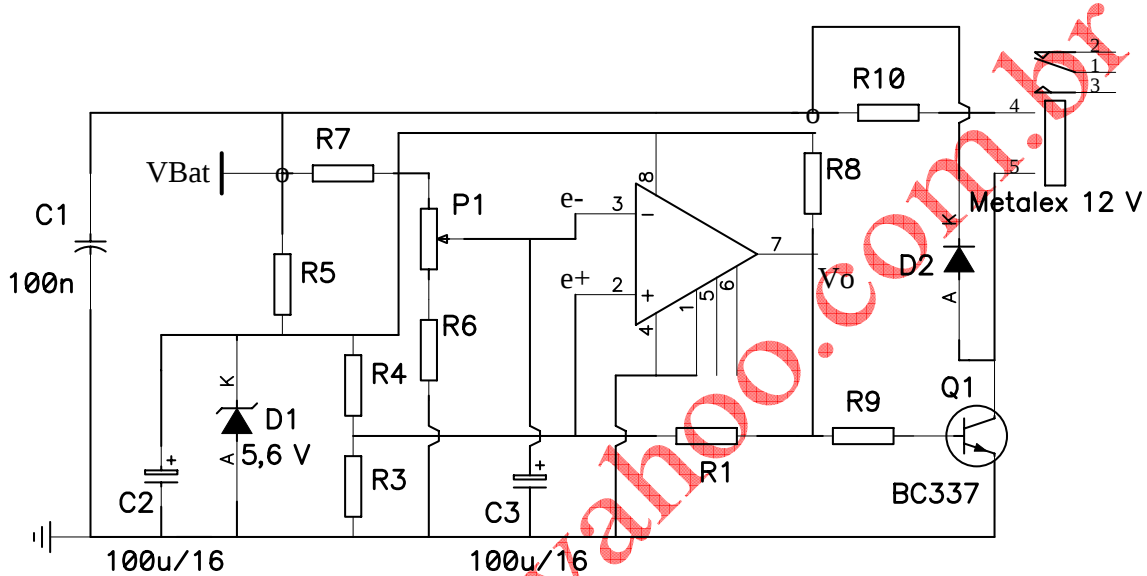
Para  $V_o = V_{O_{Mín}}$  ( $t_a < \text{tempo} < t_b$ ), tem-se:

$$e^+_{Mín} = \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot (V_{Ref} \cdot R_1 + V_{O_{Mín}} \cdot R_2) \quad (2)$$

Para  $V_o = V_{O_{Máx}}$  ( $\text{tempo} > t_b$ ), tem-se:

$$e^+_{\text{Máx}} = \frac{1}{R1 + R2} \cdot (V_{\text{Ref}} \cdot R1 + V_{O_{\text{Máx}}} \cdot R2) \quad (3)$$

A tensão  $V_{O_{\text{Máx}}}$  é função da tensão de alimentação e é proveniente da própria bateria. Como esta tensão terá componentes de ruído, fato já mencionado anteriormente, ela provocaria comutações indesejáveis. Por esta razão, vai-se aproveitar a presença da tensão de referência e utilizá-la também para alimentar o comparador, uma vez que este consome pouca corrente. A tensão  $V_{O_{\text{Mín}}}$  vai depender do valor da corrente que entra pela saída quando ela estiver saturada. Escolheu-se, para a tensão de referência, um valor de 5,6 V. O diodo zener BZX79C5V6, que fornece esta tensão, tem um coeficiente de temperatura quase nulo, para uma corrente  $I_Z = 5$  mA. Sua máxima potência de dissipação é de 400 mW para uma temperatura de junção de 25°C. A figura 4 apresenta um diagrama detalhado para o circuito.



**Figura 4** – Diagrama do circuito de controle de carga. Alguns valores já se encontram definidos.

As condições seguintes são determinadas:

$$I_Z(D1) \simeq 5 \text{ mA} \quad \text{e} \quad I_{\text{Relê}} \simeq 30 \text{ mA} \rightarrow I_{(R8, R9)} \simeq 0,5 \text{ mA}$$

$R2$  da figura 3 corresponde a  $R3$  em paralelo com  $R4$ .

$$V_{\text{Ref}} = \frac{V_Z \cdot R3}{R3 + R4} \quad (4)$$

$$I_Z \gg I_{R3, R4} \gg I_{R1} \rightarrow I_{e+} \simeq I_{e-} \simeq 0,1 \mu\text{A} \quad (5)$$

$$I_{R5} \simeq I_Z + I_{(R3+R4)} + I_{\text{Comparador}} + I_{R8} = (10 + 0,5 + 4,5 + 1) \cdot 10^{-3} = 16 \text{ mA} \quad (6)$$

Da equação (6) calcula-se  $R5$  e fazendo-se  $R3 = R4$ , tem-se:

$$R5 \simeq \frac{V_{\text{BatMédio}}}{I_{R5}} = \frac{12,75 + 14,4}{2 \cdot 16 \cdot 10^{-3}} = 848 \rightarrow \boxed{R5 = 820\Omega}$$

$$R3 + R4 = \frac{V_Z}{I_{(R3, R4)}} = \frac{5,6}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 11200 \rightarrow \boxed{R3 = R4 = 5k6\Omega}$$

Escolhe-se  $R8 = R9$ .

$$R8 = \frac{V_Z - V_{O_{\text{Mín}}}}{I_{R8}} = \frac{5,6 - 0,1}{10^{-3}} = 5500 \rightarrow \boxed{R8 = R9 = 5k6\Omega} \quad (I_{\text{BaseMáx}} \simeq 0,5 \text{ mA})$$

$$V_{O_{\text{Máx}}} \simeq V_{\text{be}_{\text{sat}}} + V_Z \cdot \frac{R9}{R8 + R9} = 0,7 + \frac{5,6}{2} = 3,5 \rightarrow \boxed{V_{O_{\text{Máx}}} = 3,5 \text{ V}}$$

Para o cálculo de  $R1$ ,  $P1$ ,  $R6$  e  $R7$ , devem-se levar em conta as equações (2), (3) e (4). Da equação (4) na equação (2) e sabendo-se que  $R2 = R3 \parallel R4$ , tem-se:

$$e^+_{\text{Mín}} = \frac{1}{R1 + R3 \parallel R4} \cdot (V_Z \cdot \frac{R3}{R3 + R4} \cdot R1 + V_{O_{\text{Mín}}} \cdot R3 \parallel R4) = \frac{1}{R1 + R3/2} \cdot (5,6 \cdot \frac{1}{2} \cdot R1 + 0,1 \cdot \frac{R3}{2})$$

$$e^+_{\text{Mín}} = \frac{1}{R1 + R3/2} \cdot (2,8 \cdot R1 + \frac{R3}{20}) \quad (7)$$

Da equação (4) na equação (3) e sabendo-se que  $R2 = R3 // R4$ , e  $V_{o_{\text{Máx}}} = 3,5 \text{ V}$ , tem-se:

$$e^+_{\text{Máx}} = \frac{1}{R1 + R3 // R4} \cdot (V_z \cdot \frac{R3}{R3 + R4} \cdot R1 + V_{o_{\text{Máx}}} \cdot R3 // R4) = \frac{1}{R1 + R3/2} \cdot (5,6 \cdot \frac{1}{2} \cdot R1 + 3,5 \cdot \frac{R3}{2})$$

$$e^+_{\text{Máx}} = \frac{1}{R1 + R3/2} \cdot (2,8 \cdot R1 + 1,75 \cdot R3) \quad (8)$$

Sabe-se que:

$$\frac{V_{\text{Bat}_{\text{Máx}}}}{V_{\text{Bat}_{\text{Mín}}}} = \frac{14,4}{12,75} = 1,129 = \frac{e^-_{\text{Máx}}}{e^-_{\text{Mín}}} = \frac{e^+_{\text{Máx}}}{e^+_{\text{Mín}}} \quad (9)$$

Dividindo-se a equação (8) pela equação (7) e igualando-se à equação (9), obtem-se o valor de  $R1$  ( $R3 = 5k\Omega$ ).

$$\frac{(2,8 \cdot R1 + 1,75 \cdot R3)}{(2,8 \cdot R1 + \frac{R3}{20})} = 1,129 \rightarrow R1 = 26257 \rightarrow \boxed{R1 = 27k\Omega}$$

Da equação (7) tem-se:

$$e^+_{\text{Mín}} = \frac{1}{27000 + 2800} \cdot (2,8 \cdot 27000 + \frac{5600}{20}) = 2,546 \text{ V}$$

Da equação (8) tem-se:

$$e^+_{\text{Máx}} = \frac{1}{27000 + 2800} \cdot (2,8 \cdot 27000 + 1,75 \cdot 5600) = 2,866 \text{ V}$$

Circuito de  $e^-$  ou cálculo de  $R6$ ,  $P1$  e  $R7$ .

Inicialmente considera-se que o potenciômetro  $P1$  está distribuído entre  $R6$  e  $R7$ . O conjunto de resistores formados é denominado de  $R6'$  e  $R7'$ . Considera-se também que a corrente em  $R6'$  e  $R7'$  é muito maior que a corrente de polarização (*offset*) do comparador. Então tem-se as seguintes equações:

$$e^-_{\text{Mín}} = \frac{V_{\text{bat}_{\text{mín}}} \cdot R6'}{R6' + R7'} \quad (10)$$

$$e^-_{\text{Máx}} = \frac{V_{\text{bat}_{\text{máx}}} \cdot R6'}{R6' + R7'} \quad (11)$$

Além da igualdade entre as razões das tensões nas entradas do comparador, conforme mostrado na equação (9), é necessário que estas tensões sejam iguais quando atingem os limites inferior e superior. Da equação (10) tem-se que:

$$e^-_{\text{Mín}} = \frac{V_{\text{bat}_{\text{mín}}} \cdot R6'}{R6' + R7'} = e^+_{\text{Mín}} = 2,546 = \frac{12,75 \cdot R6'}{R6' + R7'} \quad (12)$$

Da equação (11) tem-se que:

$$e^-_{\text{Máx}} = \frac{V_{\text{bat}_{\text{máx}}} \cdot R6'}{R6' + R7'} = e^+_{\text{Máx}} = 2,866 = \frac{14,4 \cdot R6'}{R6' + R7'} \quad (13)$$

As equações (12) e (13) são linearmente dependentes, o que faz com que se tenha, na verdade, apenas uma equação com duas incógnitas. Pode-se acrescentar uma equação que igualará as resistências vista pelas entradas do comparador.

Escolhendo-se  $R6' + R7' = 12k\Omega$ , aproximadamente a mesma resistência do ramo em  $e^+$ , tira-se  $R6'$  da equação (12).  $R6' = 2396$ , e  $R7' = 9604$ . Os valores finais de  $R6$ ,  $R7$  e  $P1$  ficam:

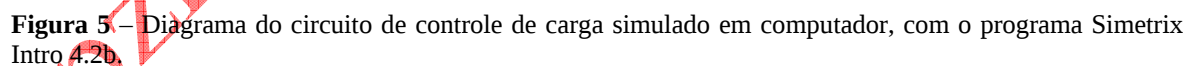
$\boxed{R6 = 1k2\Omega}$ ,  $\boxed{R7 = 8k2\Omega}$  e  $\boxed{P1 = 2k2\Omega}$ . A tensão na entrada negativa do comparador pode ser ajustada

para as seguintes faixas:  $1,32 \text{ V} \leq e^-_{\text{Mín}} \leq 3,74 \text{ V}$  e  $1,49 \text{ V} \leq e^-_{\text{Máx}} \leq 4,22 \text{ V}$ . Ambas abrangem as tensões de  $e^+_{\text{Mín}} = 2,546 \text{ V}$  e  $e^+_{\text{Máx}} = 2,866 \text{ V}$ , podendo-se ajustar os limites das tensões da bateria em qualquer circunstância. A corrente máxima em  $R1$ , quando a tensão de saída valer  $V_{o_{\text{Mín}}} = 0,1 \text{ V}$ , será de  $90 \mu\text{A}$ , cerca de 5 vezes menor que a corrente nos resistores  $R3$  e  $R4$ .

Como há apenas um ajuste ( $P1$ ), algumas equações foram simplificadas e consideraram-se cerca de três a quatro algarismos significativos para os cálculos, os valores máximo e mínimo da tensão da bateria também serão aproximados. Durante o ajuste de  $P1$  devem-se esperar pequenas discrepâncias. O ideal seria um circuito com dois comparadores (e dois ajustes), um para a tensão mínima da bateria e o outro para a

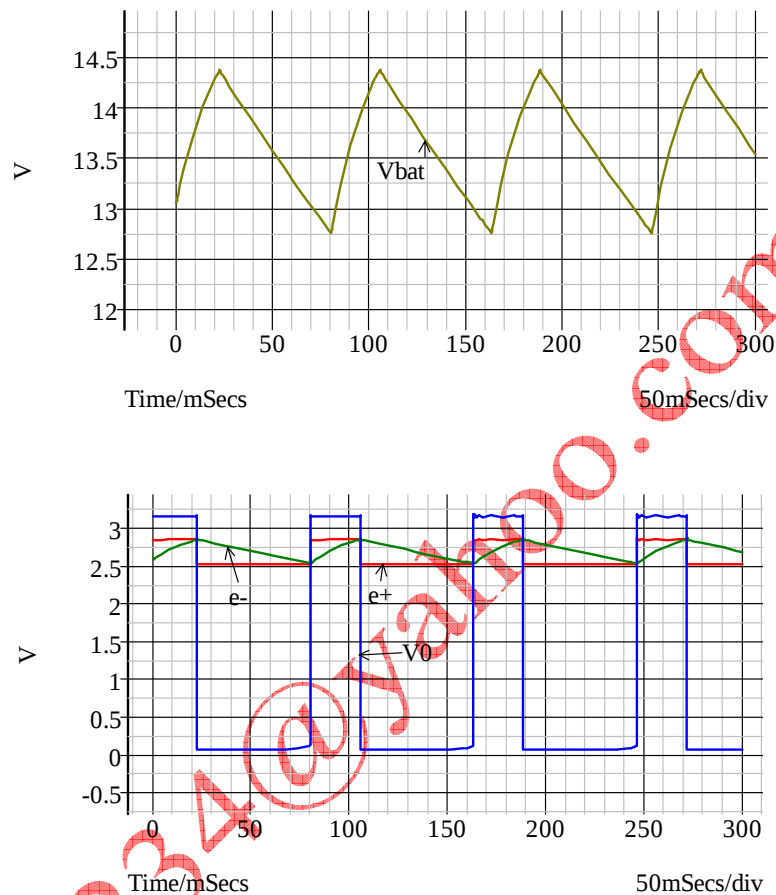
O capacitor C1, de 100 nF, reduz os componentes de alta frequência dos ruídos. O capacitor C2 de 100 nF atenua os ruídos presentes na fonte do diodo zener, devido a comutações do comparador. O capacitor C3 de 100  $\mu$ F, atenua em cerca de 75 vezes a tensão de 120 Hz, normalmente presente na bateria, gerada pelo circuito de carga. O resistor R10, de 68  $\Omega$ , limita a tensão máxima no relê em 12,4 V, quando a bateria estiver com 14,3 V e ainda carregando. Quando a tensão da bateria estiver em 12,75 V e o carregador for acionado, a tensão no relê será de 10,4 V, maior portanto que 9,6 V, que é a sua tensão mínima de operação. O diodo D2 limita a sobretensão no coletor do transistor, gerada durante o desligamento do relê.

A simulação mostrou que o resistor R1 deve ser alterado para 24kΩ. Com esse valor as tensões limites da bateria são alcançadas. O ideal seria substituir R1 por dois resistores ou um resistor e um potenciômetro. Procedendo-se assim é possível ajustar os limites, corretamente, na prática. Por meio do potenciômetro P1 ajustam-se os limites para mais ou para menos. Por meio do ajuste de R1 aumenta-se ou diminui-se a diferença destes limites. O processo é interativo e deve ser necessário repeti-lo até que os valores desejados sejam alcançados. Em uma bateria de automóvel normal, este ajuste é demorado.



Depois de calculado os valores dos componentes do circuito e simulado seu comportamento com a ajuda do computador, deve-se montá-lo para proceder aos testes de verificação do seu funcionamento. Esta etapa é imprescindível. É nela que serão feitos ajustes e poderão ser descobertos erros não previstos. O modo mais imediato de proceder à montagem do circuito é por meio de matrizes de contato. Não aquelas feitas em placa de circuito impresso, e sim as formadas por uma base plástica com furos, onde existem linhas de contato em seu interior, bastando encaixar os terminais dos componentes nela. São conhecidas por diversos nomes. Eu as conheço como *Protoboard*. Apesar destas placas serem muito práticas, há diversas limitações envolvidas com estas montagens. À medida que a frequência de operação do circuito aumenta, ou os terminais dos componentes ou comprimento das ligações aumentam, há risco de ocorrerem acoplamentos capacitivos e indutivos parasitas. Este problema é agravado na presença de impedâncias relativamente altas

no circuito. O ramo da saída do comparador, com realimentação para a entrada é particularmente suscetível a este problema. Não pela realimentação positiva. Esta garante uma transição livre de *bouncing*. Porém, um ruído presente na entrada  $e^+$  poderá provocar a transição da saída, fora da condição desejada de  $V_{Bat} = V_{BatMáx}$ . Portanto, deve-se considerar a possibilidade de usar placa de circuito impresso dedicada, ou seja, com as ligações das trilhas otimizadas para o circuito. O manual do fabricante do comparador contém mais informações sobre como evitar comportamentos erráticos.



**Figura 6** – Formas de onda, simuladas em computador, do circuito de controle de carga da figura 5. Acima. Tensão da bateria variando entre 12,75 V e 14,4 V. Abaixo. Tensão  $V_o$ , presente na saída do comparador, e  $e^+$  e  $e^-$ , presentes nas entradas do comparador.

$V_{BatMáx} = 14,6 \text{ V}$  e  $V_{BatMín} = 12,7 \text{ V}$ .  
 $R_5 = 820 \Omega$  e  $R_1 = 22k \Omega + 2k2 \Omega$ .