

DETALHES SOBRE FONTES

Por Luiz Amaral
PYILL/PY4LC

Muitas vezes nas fontes de alimentação os projetistas deixam de lado certos detalhes que são importantes.

Este artigo tenta mostrar alguns deles sob o ponto de vista conceitual.

Vamos analisar, com auxílio do diagrama da Figura 1, o problema numa fonte de alimentação simples, de retificação meia onda, sem regulação. Como o objetivo é conceitual, para tal análise consideraremos:

1 - a resistência do circuito de entrada nula.

2 - os diodos são ideais.

3 - o capacitor eletrolítico não tem perdas.

4 - o 'ripple' (ondulação residual) da saída é muito menor que a própria tensão DC. Isto faz com que a carga do capacitor seja sob corrente constante, ou tensão linear com o tempo.

5 - a constante de tempo RC é muito maior que o período T. Isto faz com que a descarga do capacitor seja sob corrente constante, ou tensão linear com o tempo.

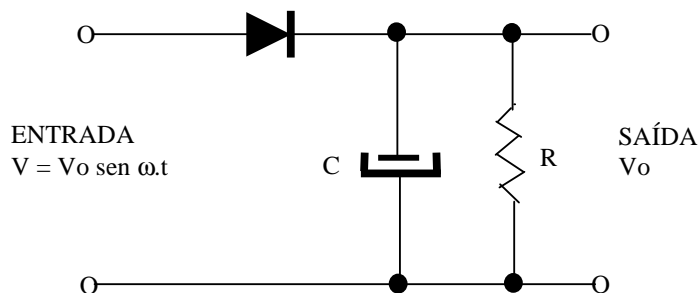


Figura 1

Na Figura 2 vê-se que no primeiro semiciclo o capacitor se carrega e, aproximadamente no pico da tensão, o diodo corta porque a tensão na entrada se torna menor que no capacitor C, deixando o mesmo descarregar através da resistência R. A descarga continua até que o próximo semiciclo atinge a condução do diodo e o capacitor começa a ganhar carga até o novo pico. O tempo de descarga é $T - \Delta t$ e o tempo de carga que se repete é Δt .

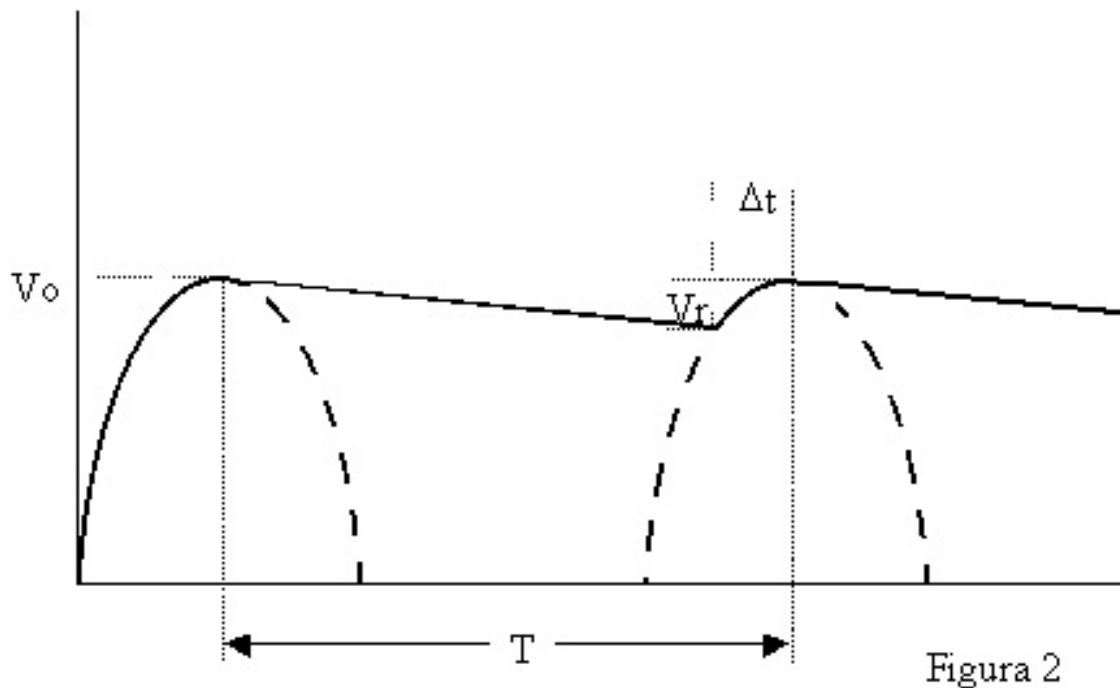


Figura 2

Vê-se claramente que, menor a tensão de 'ripple' V_r , menor o tempo de carga Δt .

Analisemos:

Em cada ciclo repetitivo, o capacitor perde carga através da resistência durante o tempo $T - \Delta t$. Para recuperar sua tensão inicial V_o , ele tem de ganhar carga durante o tempo Δt . Como a descarga se dá sob corrente constante $I_o = V_o / R$ e a carga sob corrente constante I , ambas são proporcionais aos seus tempos de duração:

Carga perdida $Q_p = I_o \cdot (T - \Delta t)$ e carga recuperada $Q_r = I \cdot \Delta t$

Como essas cargas são iguais, pois o capacitor volta a seu estado inicial, tem-se:

$I \cdot \Delta t = I_o \cdot (T - \Delta t)$ de onde se tira I :

$$I = V_o \cdot (T - \Delta t) / (R \cdot \Delta t)$$

Na hipótese de 'ripple' pequeno, $T \gg \Delta t$ e temos:

$$I = V_o \cdot T / (R \cdot \Delta t) \quad [1], \text{ válida para } \Delta t \ll T$$

Na relação [1], vê-se que, para V_o , R e T constantes, quanto menor Δt (menor 'ripple'), maior a corrente de carga, que pode ser muitas vezes maior que a corrente DC I_o .

Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC

Isto significa que, mesmo para correntes DC relativamente baixas, o diodo tem de suportar um pico de corrente repetitivo muito alto, se o 'ripple' for desejado pequeno^[1].

Se Δt for, por exemplo 10% de T, I será 10 vezes maior que I_o . Se Δt for 1% T, I será 100 vezes maior que I_o !

Não basta, portanto, se escolher o diodo com base apenas na corrente DC. Ele pode queimar se se exige um 'ripple' muito pequeno. Vejamos isto reescrevendo [1]:

Considerando $V = V_o \cdot \cos \omega.t$ no semiciclo de carga, tem-se:

$$V_o - V_r = V_o \cdot \cos \omega.\Delta t, \text{ com } \omega = 2 \cdot \pi / T:$$

$$\text{ou } 2 \cdot \pi / T \cdot \Delta t = \text{Arc cos } (V_o - V_r) / V_o$$

Na aproximação de rampa linear de carga (pequeno 'ripple'), a função $\text{Arc cos } (V_o - V_r) / V_o$ pode ser escrita como $1 - (V_o - V_r) / V_o$, ou seja:

$$2 \cdot \pi / T \cdot \Delta t = 1 - (V_o - V_r) / V_o, \text{ donde se tira } \Delta t:$$

$$\Delta t = V_r \cdot T / (2 \cdot \pi \cdot V_o) \quad [2]$$

Levando [2] em [1], tem-se:

$$I = 2 \cdot \pi \cdot V_o^2 / (R \cdot V_r) \quad [3]$$

que mostra agora explicitamente a dependência da corrente de pico repetitivo I com o 'ripple' V_r .

A energia perdida E_c pelo capacitor C durante a descarga sobre R é:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_o^2 - \frac{1}{2} \cdot C \cdot (V_o - V_r)^2$$

Mas essa energia é dissipada em R (considerando ainda $T \gg \Delta t$):

$$E_c = V_o^2 \cdot T / R$$

Portanto:

$$\frac{1}{2} \cdot C \cdot V_o^2 - \frac{1}{2} \cdot C \cdot (V_o - V_r)^2 = V_o^2 \cdot T / R$$

$$\text{ou } \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_o^2 - \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_o^2 \cdot (1 - V_r / V_o)^2 = V_o^2 \cdot T / R$$

Se considerarmos $V_o \gg V_r$, a expressão $(1 - V_r / V_o)^2$ pode ser escrita como $(1 - 2 \cdot V_r / V_o)$ e tem-se:

$$\frac{1}{2} \cdot C - \frac{1}{2} \cdot C \cdot (1 - 2 \cdot V_r / V_o) = T / R$$

ou $C \cdot V_r / V_o = T / R$ e explicitando-se V_r :

[1] Não deve este ser confundido com a corrente de pico não repetitivo que ocorre durante o primeiro semiciclo de carga do capacitor C, mas que é também um fator a ser levado em consideração no projeto.

$$V_r = V_o \cdot T / (R \cdot C) \quad [4]$$

Levando [4] em [3]:

$$I = 2 \cdot \pi \cdot V_o \cdot C / T \quad [5]$$

A expressão [5] mostra agora a dependência de I com C, isto é, I cresce com C.

Dessa forma podemos ver que a diminuição do 'ripple' de uma fonte simplesmente pelo aumento da capacidade do capacitor de filtro C pode ser desastroso, levando à queima do(s) retificador(es).

Na prática, felizmente as condições iniciais desse artigo não são de todo válidas. Nem a resistência da entrada nem a do diodo ou do capacitor são nulas e isto limita, na verdade, a corrente máxima de pico, protegendo o retificador. Pode, no entanto, fazer com que a tensão de saída seja um pouco mais baixa do que o esperado para o caso ideal. Quando se entra através de transformador, tem-se de levar em consideração essa menor tensão na escolha daquele.

A operação em retificação de onda-completa leva às mesmas conclusões, apenas T cai à metade e, portanto também o 'ripple'. As correntes de pico repetitivo nos diodos são divididas por 2: o tempo de carga Δt pode até ser mantido, mas a quantidade de carga é metade, pois sobra mais carga no capacitor após a descarga; além disso, a corrente de carga é dividida por dois diodos e, portanto, a corrente média por diodo é metade também.

Na entrada a tensão é senoidal, mas a corrente não o é. Mas sendo periódica, pode ser decomposta em fundamental e seus harmônicos.

Pelo balanço da energia dissipada em R por período e a fornecida pela entrada, vê-se que a corrente DC na saída está relacionada à amplitude da fundamental da corrente, em nada contribuindo as correntes harmônicas para essa energia.

Esse artigo não se propõe a ensinar a projetar fontes. Projetos assim existem em profusão na literatura sobre o assunto. Ele apenas tenta aclarar certas idéias conceituais que, comumente, são desconhecidas ou passam despercebidas aos olhos do projetista.

**Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC**