

Fontes Chaveadas de Tensão

PSI-EEUSP

Fontes

- As tecnologias atualmente empregadas na construção de fontes de tensão regulada são basicamente três: ferro-ressonante, linear e chaveada.

Fontes Ferro-Ressonantes

- As fontes ferro-ressonantes têm esse nome porque se baseiam no princípio de ferro-ressonância e são compostas basicamente por um transformador operando com o secundário saturado. Operando em saturação, a densidade de fluxo no secundário é praticamente constante, fazendo com que a tensão de saída permaneça constante mesmo com variações (tipicamente da ordem de +15%) da tensão de entrada. Embora a eficiência (parcela da potência total de entrada que é efetivamente transferida à carga) deste tipo de fonte seja elevada (da ordem de 70 a 80%), têm a desvantagem de em geral serem volumosas e pesadas.

Fontes Lineares

As fontes de tensão lineares empregam elementos de controle que, colocados em série ou em paralelo com a carga, fazem a tensão nesta permanecer constante.

Fontes Lineares

Apesar de proverem excelente regulação, as fontes de tensão lineares vem sendo cada vez menos utilizadas na prática, devido ao fato de apresentarem baixa eficiência. Em fontes lineares é difícil evitar que uma apreciável parte da potência de entrada seja dissipada pelo elemento de regulação, tornando difícil e onerosa sua construção e uso para elevadas potências. Além disso, as fontes lineares ocupam grandes dimensões físicas devido à necessidade de dissipação de potência e provável utilização de um volumoso transformador de entrada para isolamento e transformação de tensão da entrada.

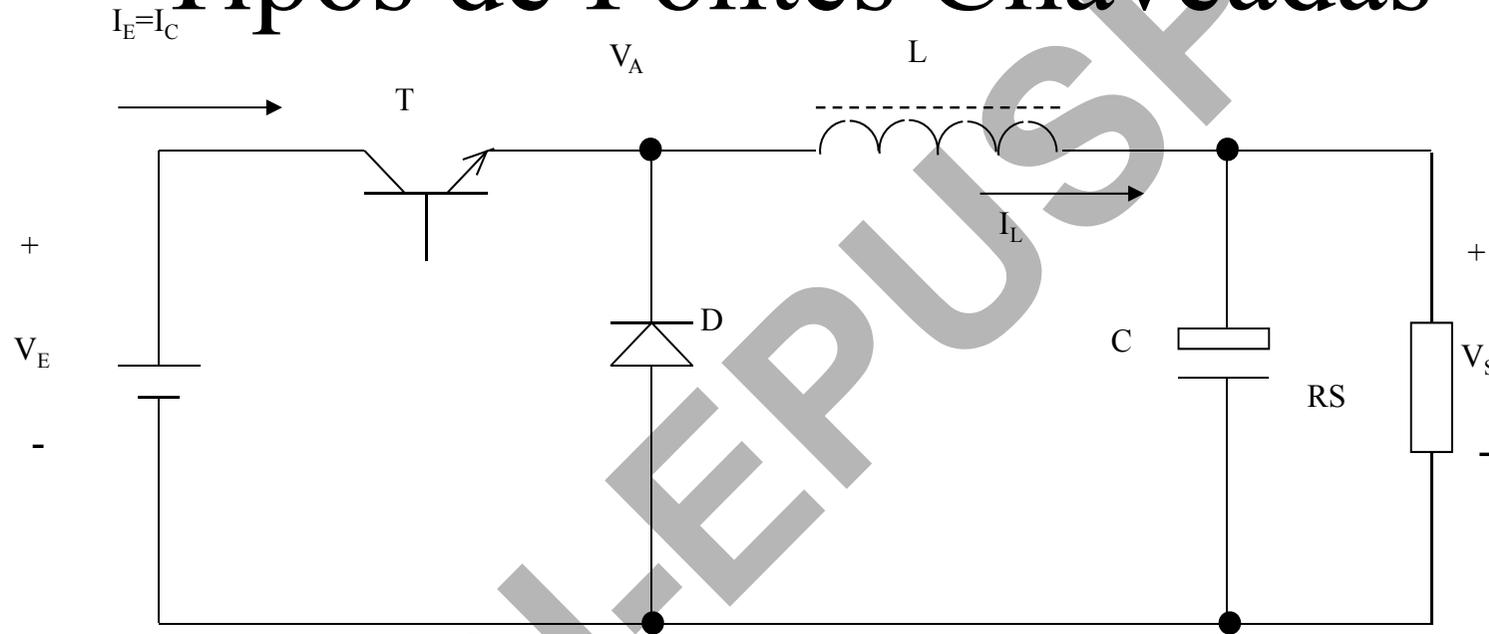
Fontes Chaveadas

As fontes chaveadas são idealmente não dissipativas e, assim como as fontes ferro-ressonantes, provêm elevada eficiência (70% ou mais). Neste tipo de circuito, o elemento série funciona como chave. Por exemplo, utilizando-se um transistor bipolar como elemento série, a idéia é que ele opere ora em corte (quando então a corrente I_C é quase nula), ora em saturação (quando então a tensão V_{CE} é quase nula). Em qualquer dessas situações, a dissipação de potência no elemento série, que é dada pelo produto da tensão entre seus terminais pela corrente que passa entre eles, que é baixa.

Fontes Chaveadas

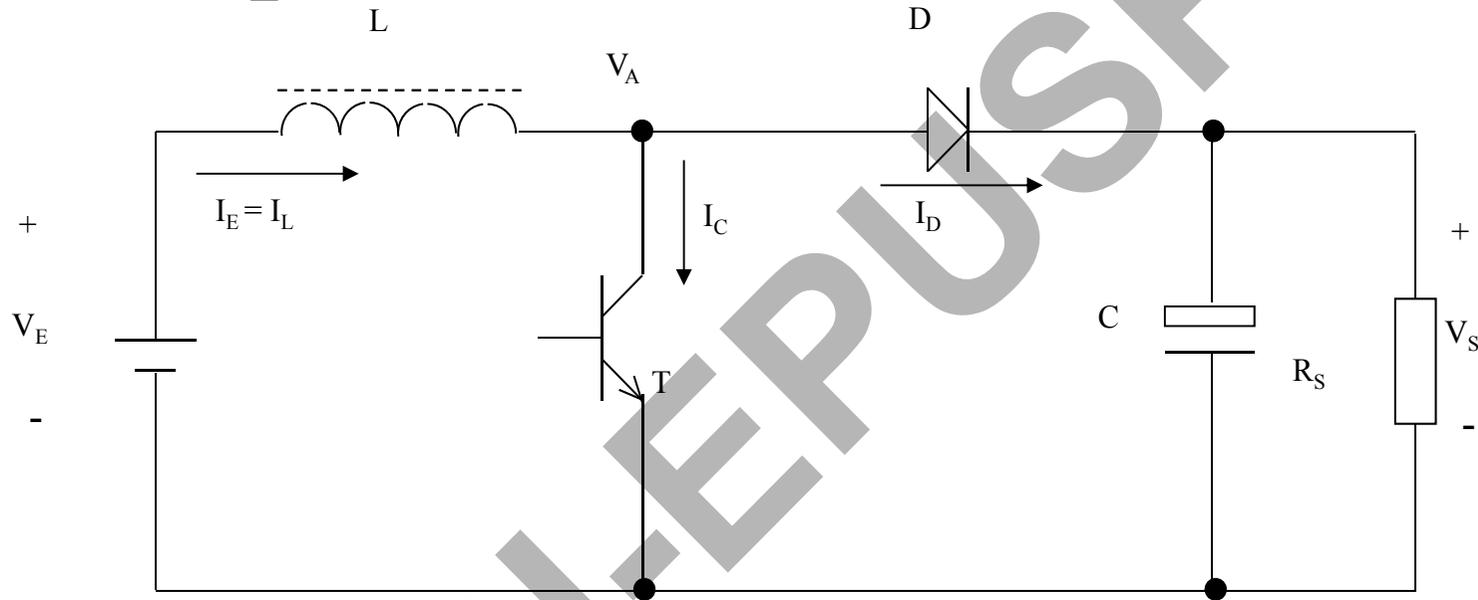
Assim, o produto $V_{CE} \cdot I_C$ que corresponde à potência dissipada pelo transistor em condução permanece sempre baixo aumentando a eficiência da fonte. Evidentemente, na prática a potência no elemento série não é totalmente nula, mas através de técnicas de circuito e adequada escolha de componentes esta potência pode ser reduzida a valores relativamente baixos em comparação com a dissipada nas fontes lineares.

Tipos de Fontes Chaveadas



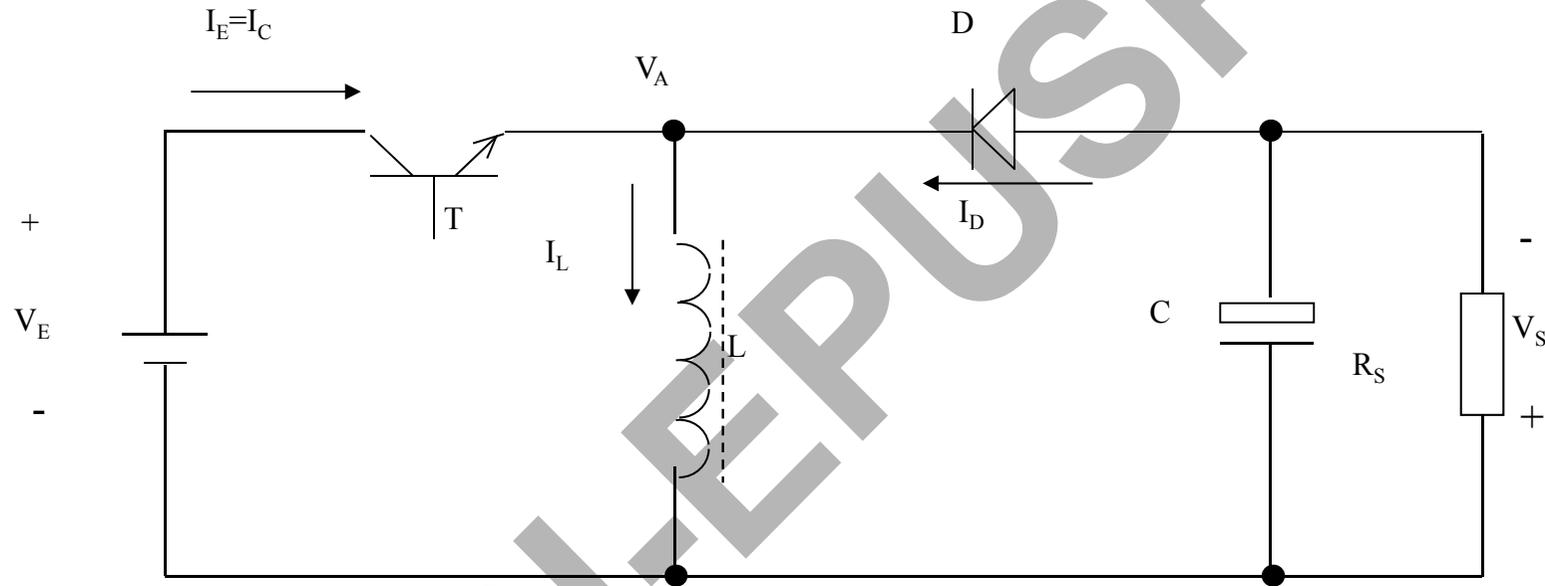
a) Buck, ou step-down, ou rebaixadora – produz uma tensão mais baixa que a original ($V_S < V_E$)

Tipos de Fontes Chaveadas



b) Boost, ou step-up, ou elevadora – produz uma tensão mais alta que a original ($V_S > V_E$)

Tipos de Fontes Chaveadas

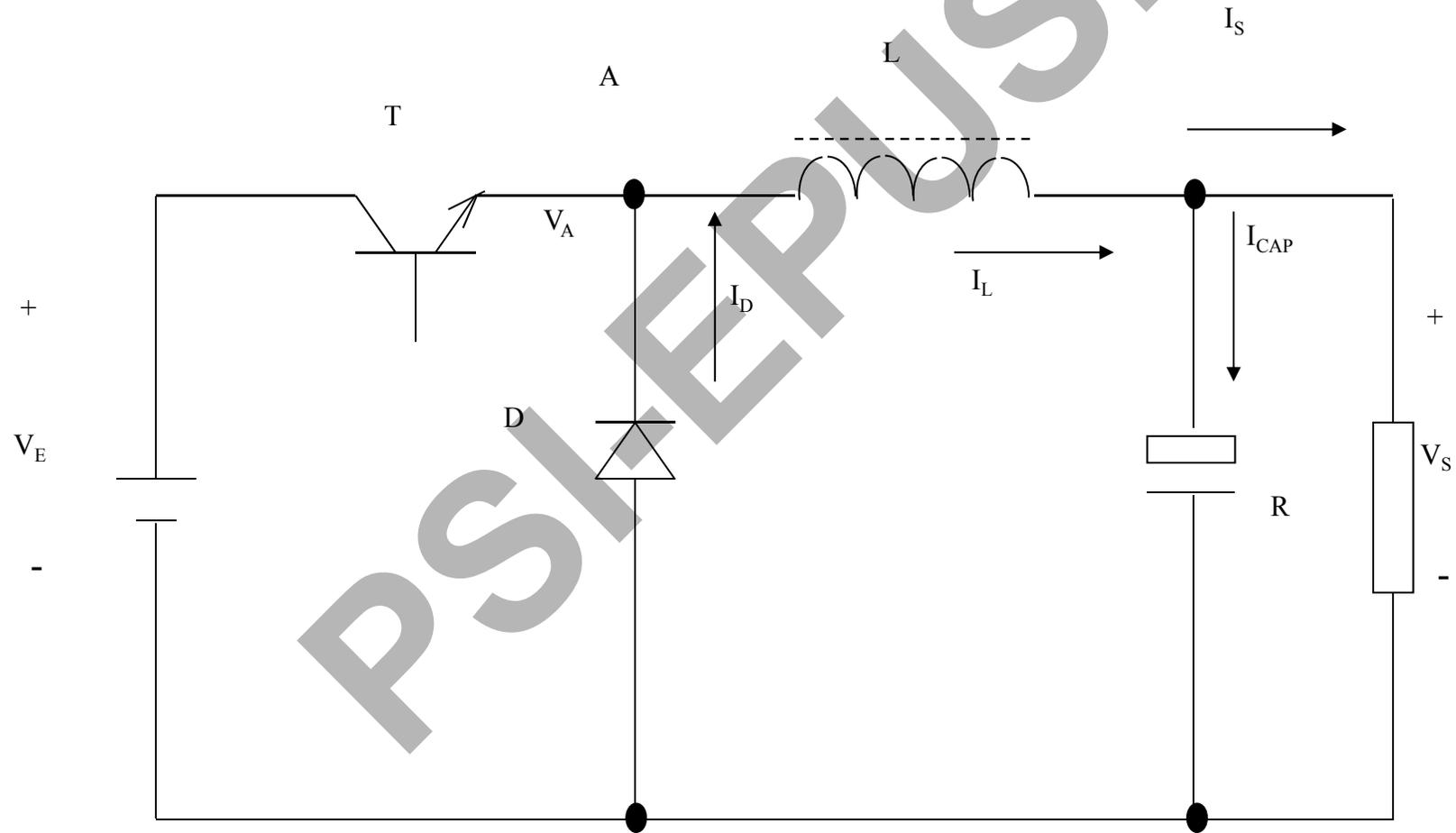


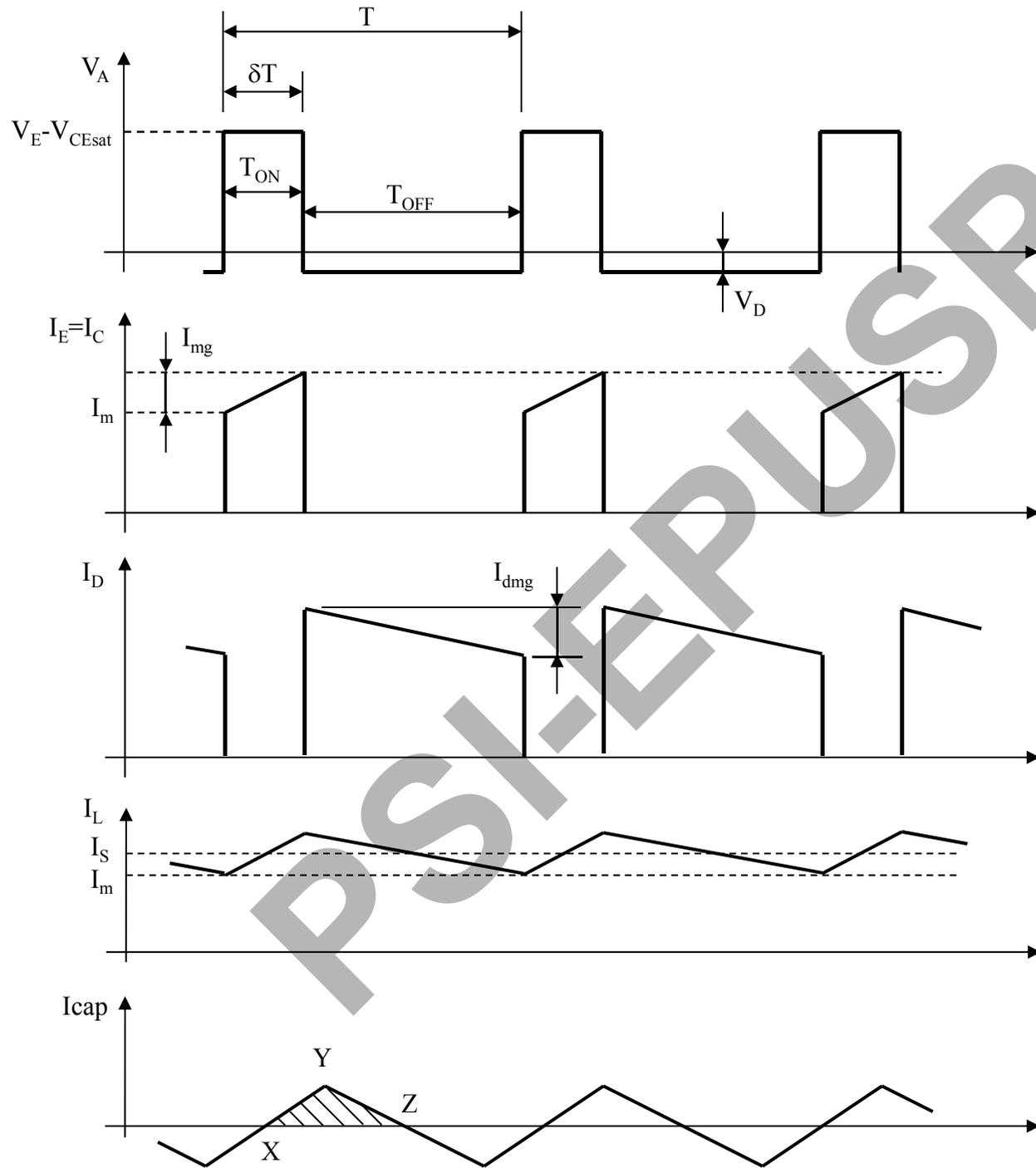
c) Buck-Boost, ou inversora – produz uma tensão com polaridade invertida com referência à original

Fontes Chaveadas

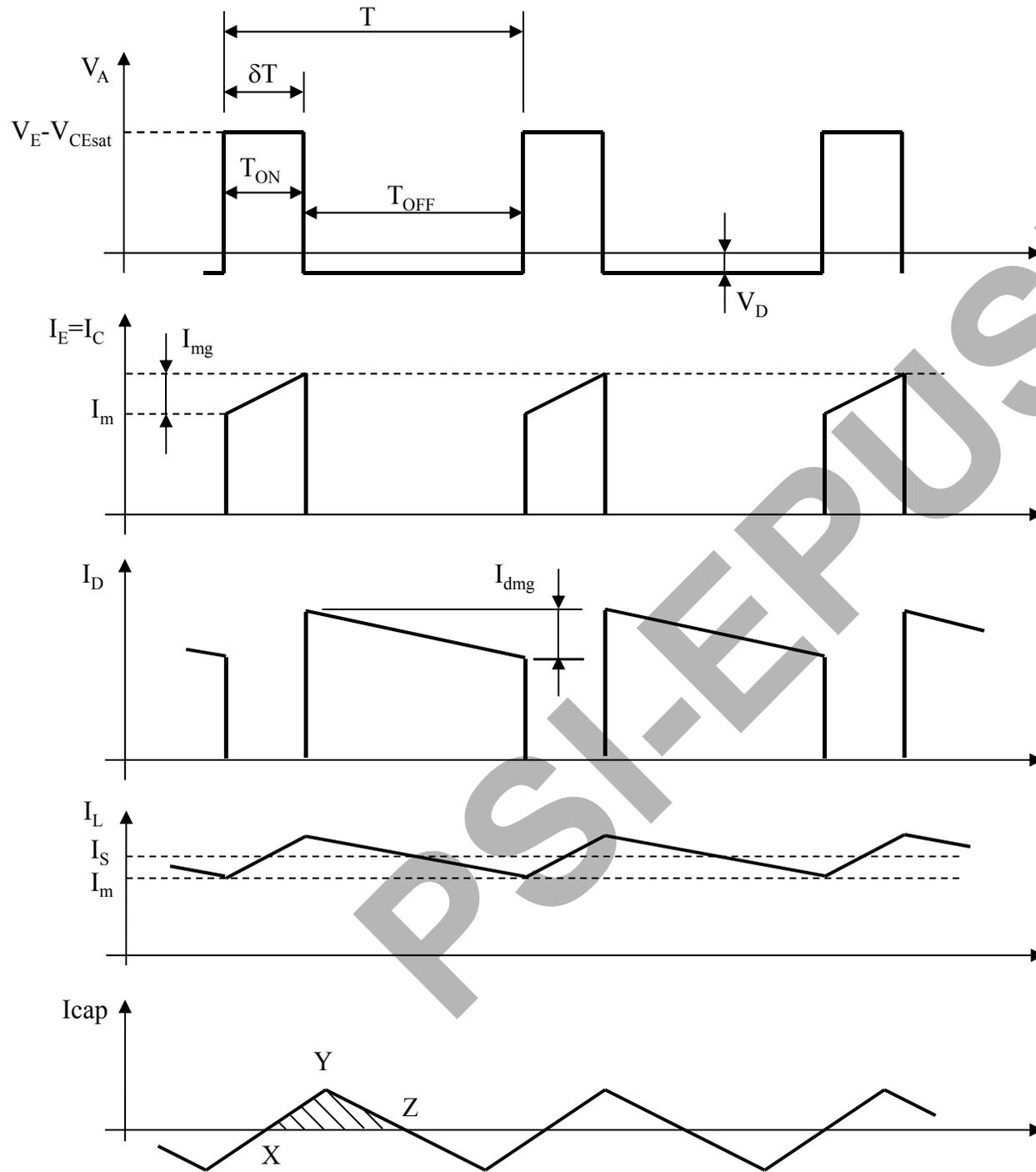
- É importante destacar, entretanto, que a ondulação de saída em fontes chaveadas é muito maior em relação às fontes lineares (quase uma ordem de grandeza).
- Nas três configurações, o indutor atua como elemento de armazenamento temporário da energia vinda da fonte de entrada. A energia armazenada no indutor é posteriormente transferida para a carga de saída. É através do controle desse ciclo que se regula a tensão média da saída. , o capacitor não é propriamente parte essencial do circuito, é utilizado apenas para filtrar as componentes alternadas de tensão na saída.

Fonte Buck, step-down ou rebaixadora

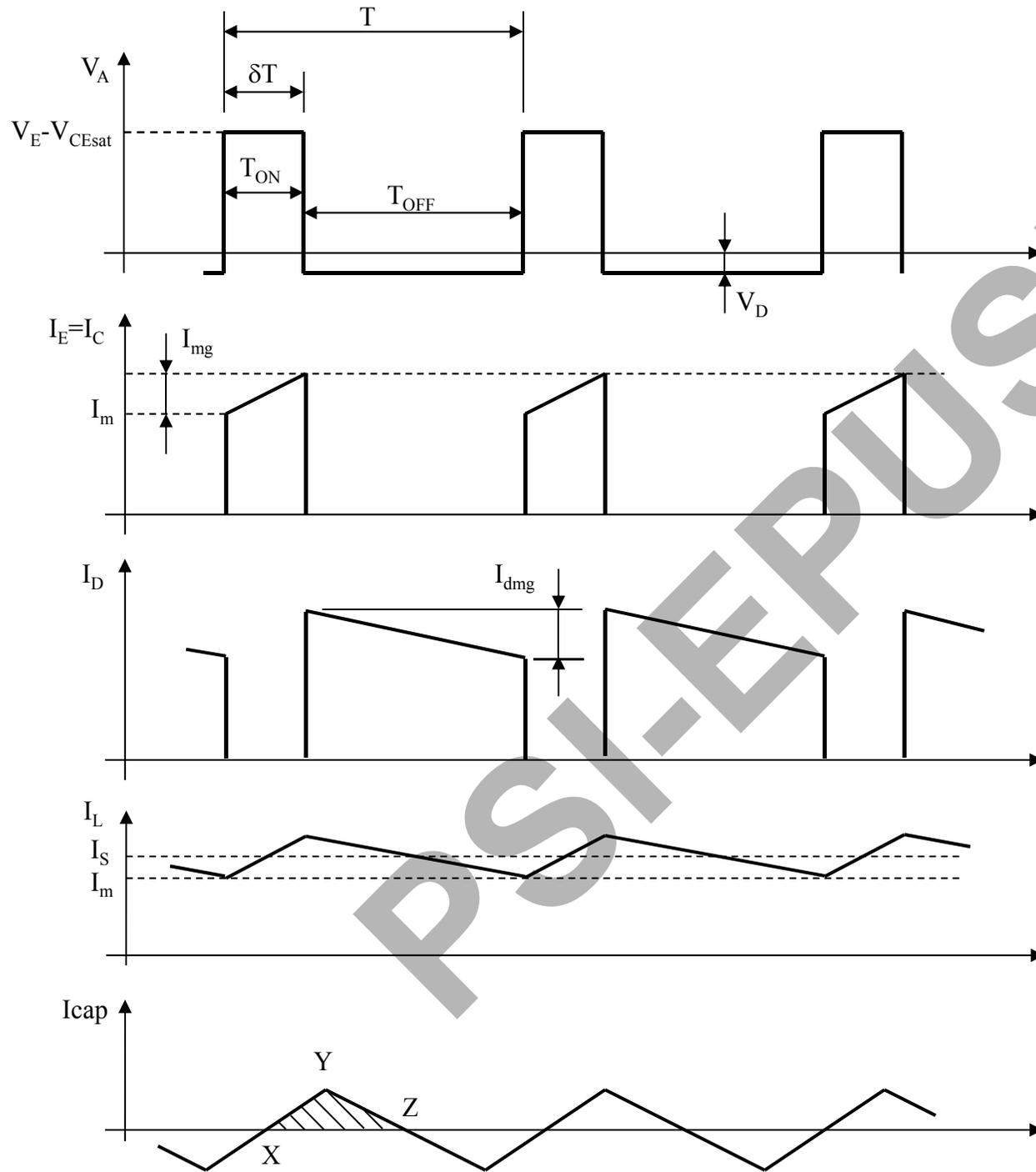




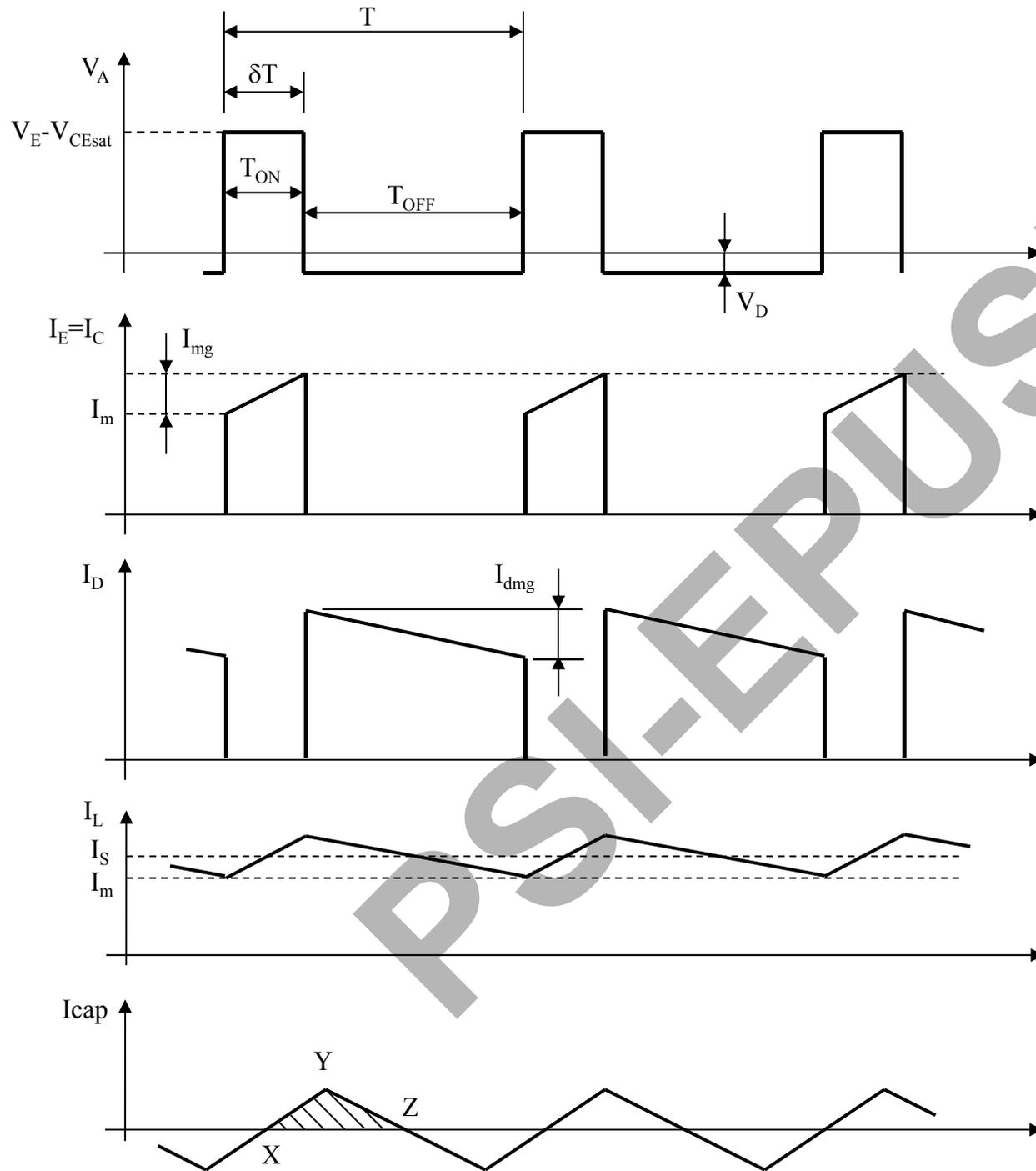
**Fonte Buck,
step-down ou
rebaixadora**



Quando o transistor conduz, no ponto A temos uma tensão ($V_E - V_{CEsat}$) e temos o diodo reversamente polarizado. Há circulação de corrente pelo transistor e pelo indutor. A corrente no indutor cresce de um valor inicial não nulo até um valor superior, repondo a energia perdida durante o período em que o transistor esteve cortado (corrente de magnetização).



Quando o transistor é colocado em corte, para não haver interrupção na corrente pelo circuito, o indutor força a condução do diodo (conhecido como diodo de retorno, pois tem a função de prover caminho de corrente para o indutor durante o período de corte do transistor), fazendo a tensão no ponto A ficar fixa em -0,6 Volt. Neste trecho a corrente no indutor decresce fornecendo energia à carga de saída (corrente de desmagnetização).



As correntes dependem apenas da tensão de entrada e da tensão de saída, sendo completamente

independentes da corrente média no indutor ou corrente de carga de saída. Ou seja, a ondulação de corrente no indutor não depende da corrente de carga de saída. Se reduzirmos a corrente de carga, a corrente média no indutor deverá cair, mas a ondulação de corrente no indutor deverá se manter inalterada.

Em regime permanente a corrente de magnetização é igual à corrente de desmagnetização

Função Transferencia

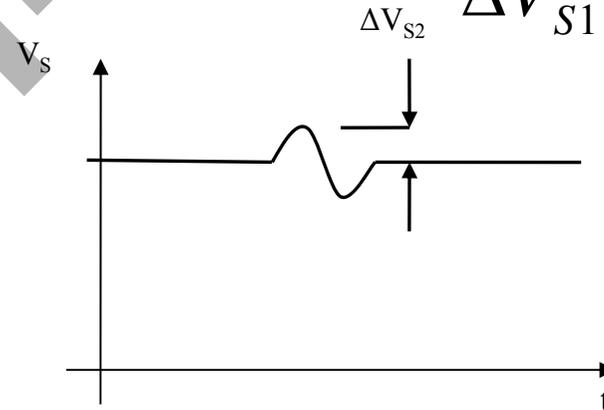
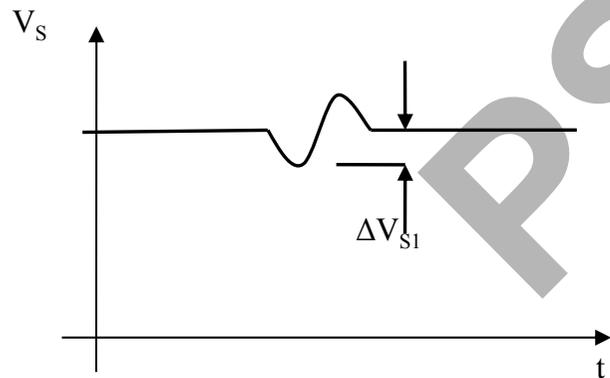
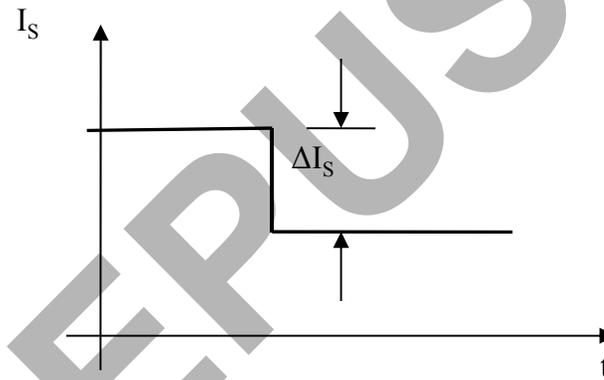
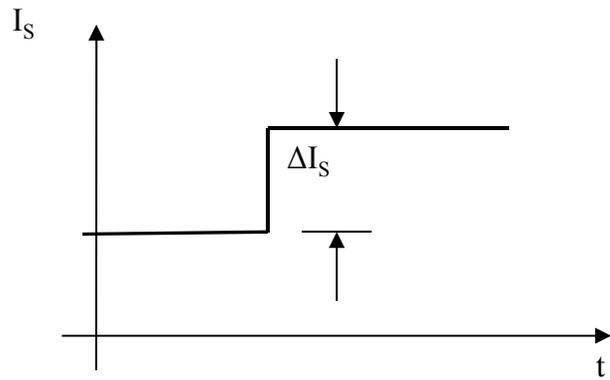
A *função de transferência de conversão*, mostra que a relação entre a tensão de entrada e saída não depende, pelo menos em primeira aproximação, da corrente de saída, e nos sugere um procedimento simples para manter a tensão de saída constante, independente de variações da tensão de entrada: basta ajustar o coeficiente δ (onde δT é a largura do pulso de controle do transistor) para compensar variações da tensão de entrada.

$$V_S \cong \delta V_E$$

Resposta a Transientes de Corrente

Na determinação da função de transferência de conversor, supôs-se que eventuais variações da corrente de saída fossem absorvidas pelo indutor e capacitor de modo a manter a tensão de saída constante. No entanto, se analisarmos o que ocorre no instante da variação da corrente de saída, observaremos pequenas perturbações na tensão de saída.

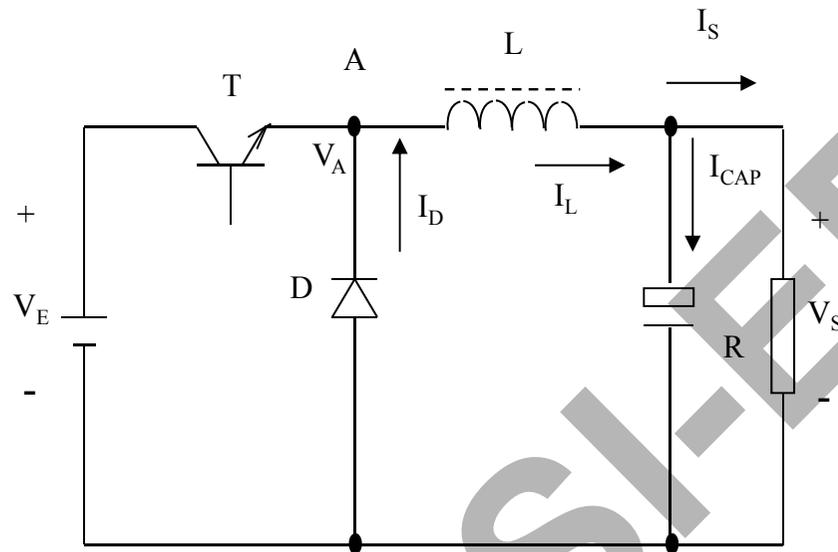
Resposta a Transientes de Corrente



$$\Delta V_{S1} = \frac{\delta_{\max} L \Delta I_S^2}{(1 - \delta_{\max}) C V_S}$$

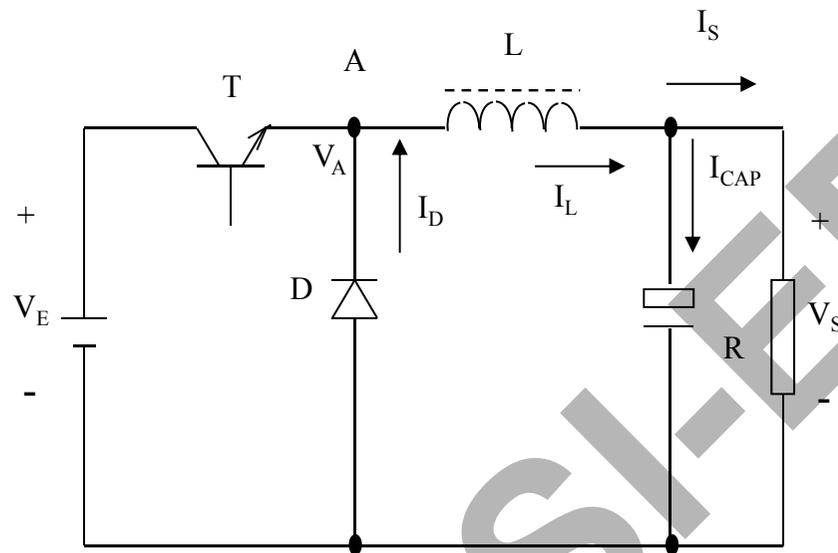
$$\Delta V_{S2} = \frac{L \Delta I_S^2}{C V_S}$$

Diodos em Fontes Chaveadas



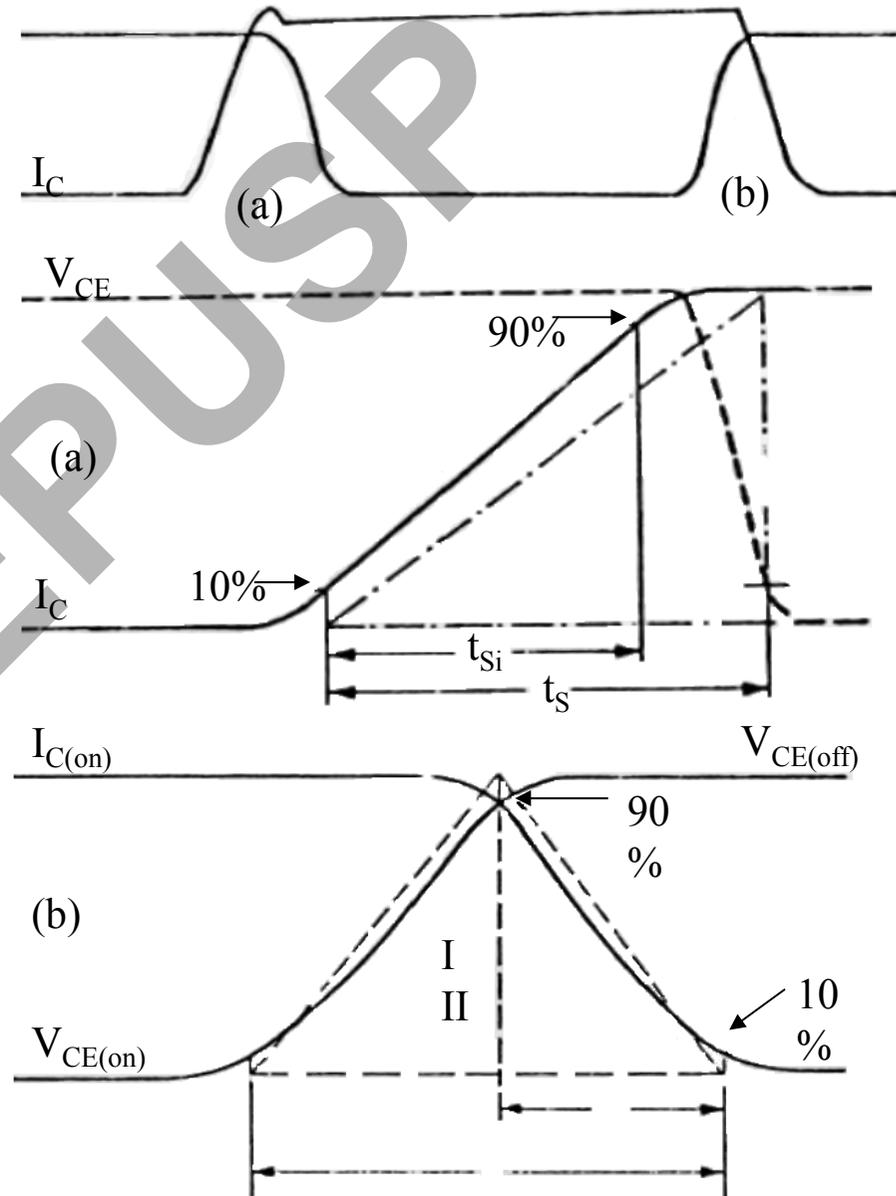
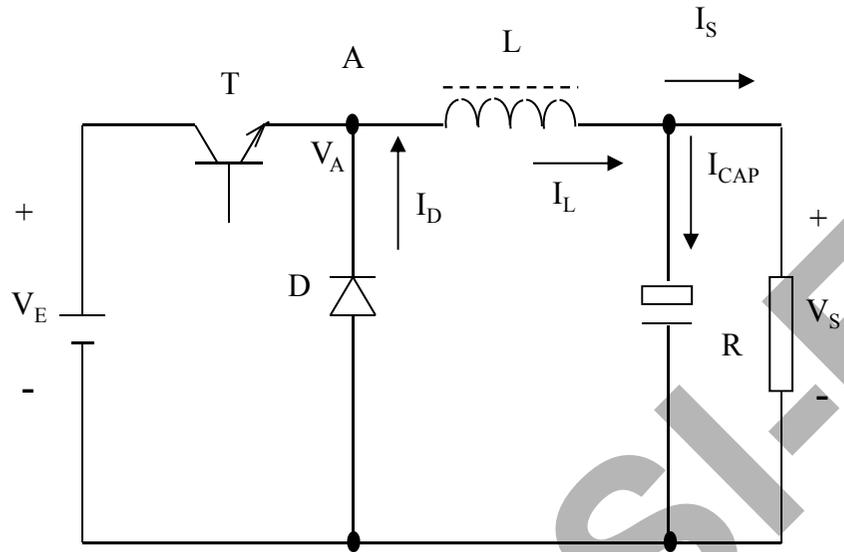
- Os diodos utilizados em fontes chaveadas devem ter duas características principais: baixa tensão direta de condução e baixo tempo de recuperação.
- A tensão direta de condução é um parâmetro importante na construção de fontes chaveadas pois quanto maior for V_D , maior será a potência dissipada pelo diodo e conseqüentemente menor será o rendimento da fonte. Em geral são empregados *diodos Schottky* pois apresentam tensão de condução inferior ao dos diodos de silício convencionais.

Diodos em Fontes Chaveadas



- O tempo de recuperação t_{rr} (*reverse recovery time*) é o tempo necessário para levar um diodo da condução ao estado de corte. Se este tempo for muito elevado em relação ao tempo de subida t_s do transistor, poderemos ter o transistor e o diodo conduzindo simultaneamente, acarretando sério risco ao transistor. Em geral o tempo t_{rr} é tomado como sendo um terço do tempo de comutação t_s . (tempo de subida de corrente) do transistor.

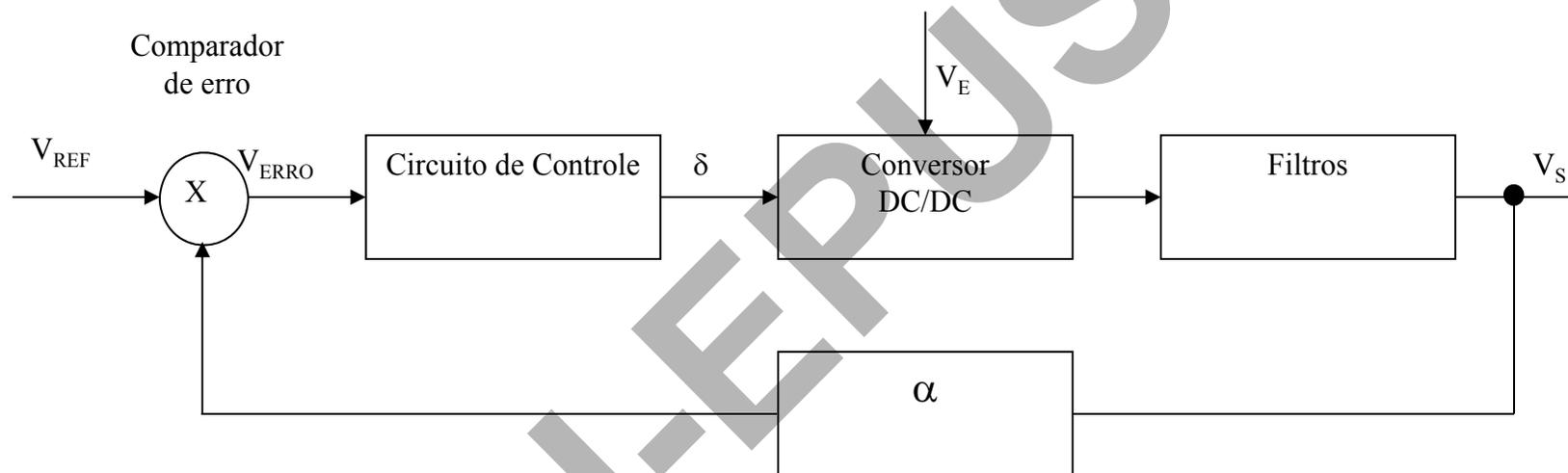
Transistores em Fontes Chaveadas



Circuito de Controle

- Para manter a tensão de saída estável, basta que se varie a largura de pulso δT para compensar variações da tensão de entrada. O circuito que gera os pulsos de controle do transistor é conhecido como circuito de controle da fonte chaveada.
- O circuito de controle é basicamente um oscilador tipo PWM (Pulse Width Modulator), no qual a largura dos pulsos de saída é controlada por um sinal de controle. Este sinal é gerado por um amplificador de erro a partir da diferença entre uma tensão de referência constante e uma amostra da tensão de saída. Há portanto um processo de realimentação negativa que faz com que variações na tensão de saída sejam compensados através da variação da largura de pulso do sinal de controle do transistor.

Circuito de Controle



No diagrama de blocos de um circuito de controle PWM. A parcela da tensão de saída αV_s é comparada com a tensão de referência V_{REF} para obter o sinal de erro V_{erro} que por sua vez controla a largura de pulsos δT do oscilador PWM. No caso da tensão de saída desejada ser igual à tensão V_{REF} , α é igual a 1.

Oscilador Dente de Serra

A modulação PWM é realizada através da comparação do sinal dente-de-serra com o sinal de erro. No início da varredura do dente-de-serra, o sinal de saída que controla a condução do transistor de chaveamento é disposto em nível baixo, mantendo-se neste nível enquanto o nível do sinal dente-de-serra estiver abaixo do sinal de erro. Quando o sinal dente-de-serra ultrapassar o sinal de erro, o sinal de saída é disposto em nível alto fazendo conduzir o transistor de chaveamento.

Projeto

Expressões teóricas utilizadas para os cálculos dos valores da tabela 1:

de (6) $V_S = \delta(V_E - V_{CEsat})$ ou $V_S = \delta V_E$	calculamos δ
de (1) $I_{mg} = \frac{\delta(V_E - V_{CEsat} - V_S)}{Lf}$ ou $I_{mg} = \frac{\delta(V_E - V_S)}{Lf}$	calculamos I_{mg}
de (7) $I_{smin} = \frac{I_{mg}}{2}$	calculamos I_{smin}
de (11) $\Delta V_{ESR} = ESR \times I_{mg}$	calculamos ΔV_{ESR}
ee $\eta = \frac{V_S \cdot I_S}{V_E \cdot I_E}$	calculamos I_E

V_E (V)	I_E (A)	V_S (V)	I_S (A)	η	ΔV_{ESR} (mV)	δ (%)	I_{mg} (mA)	I_{smin} (mA)
12		5,0		0,8				
12		8,0		0,8				
12		10,0		0,8				