

## ESTABILIZADOR DE TENSÃO

### Parte 2

Eng<sup>o</sup> Antonio Figueira  
www.antoniofigueira.com.br

Prezados Leitores,

No artigo anterior sobre o estabilizador de tensão foram mostrados os princípios de funcionamento desses equipamentos e as suas principais características técnicas. Nesse artigo vamos analisar o esquema eletrônico de um sistema estabilizador de tensão que emprega o método controle por degrau de tensão.

O esquemático eletrônico da figura 1 mostra o circuito de controle do estabilizador de tensão que emprega o método de correção por degrau de tensão. O transformador de amostragem e fonte (TR-3) recebe a tensão alternada da rede. No enrolamento secundário são ligados os diodos retificadores D1 e D2. O capacitor eletrolítico C1 faz a filtragem da tensão contínua pulsativa. A tensão contínua não regulada é aplicada no divisor resistivo e nos triacs. A tensão estabilizada pelo regulador Reg-1 é usada para alimentar o divisor de tensão formado pelo resistor R9 e o diodo zener Z1.

Os quatro enrolamentos do autotransformador TR-1 são usados nas operações de somas e subtrações eletrônicas. O valor da tensão de cada enrolamento é definido em projeto. O circuito de controle é responsável pela geração da lógica binária que seleciona o triac e o enrolamento que será somado ou subtraído da tensão alternada de entrada. No transformador de correção TR-2 são processadas as operações de soma e subtração eletrônica de tensão.

O circuito conversor analógico-digital é responsável pela conversão das variações da tensão alternada em sinais binários. Os drives formados pelos transistorizares (T1/T5) executam o disparo e comutação dos triacs. Os triacs por sua vez ligam e desligam os enrolamentos do autotransformador ao enrolamento secundário do transformador de correção.

O circuito conversor analógico digital é formado pelo circuito integrado LM 324 (CI-1) e pela porta lógica ou exclusiva CD 4070 (CI-2). Nas portas positivas do CI-1 é aplicada a tensão de referência de 6.2 V, regulada pelo diodo zener Z1. Os quatro circuitos operacionais do CI-1 estão polarizados para funcionar como circuitos comparadores de tensão.

O segundo divisor formado pelos resistores R1, R2, R3, P1, R4, R5, R6, R7, R8 e P2, divide a tensão contínua não regulada, e geram as tensões de referência: V1, V2, V3 e V4. Os seus valores variam em função da tensão alternada de entrada, ou seja, quando a tensão da rede sobe, a tensão sobre o divisor também sobe, e quando a tensão da rede abaixa a tensão sobre o divisor também abaixa. O circuito integrado CI-2 tem quatro portas ou exclusivas, a sua função é converter as tensões contínuas aplicada nas suas portas de entradas em sinais binários. Na tabela V são mostrados os números binários gerados pelo circuito conversor e os respectivos valores de tensão em cada ponto do circuito de controle. Para facilitar a análise do circuito atribuímos valores hipotéticos para a tensão alternada de entrada e o valor da tensão de correção.

#### Nota:

Para facilitar a análise, lembraremos o funcionamento do circuito operacional. Quando o operacional é configurado para trabalhar como comparador de tensão, e nas suas portas de entrada são aplicadas duas tensões diferentes, a porta que receber a maior tensão vai determinar a polaridade da tensão da porta de saída do operacional. Quando a na porta positiva a tensão é maior, a saída terá tensão positiva, ou seja, será igual a tensão da fonte que alimenta o operacional. Quando a porta negativa recebe a maior tensão, a saída será negativa ou zero volt, conforme a tensão que alimenta o operacional.

Por exemplo, se o circuito operacional é alimentado com uma fonte positiva (+Vcc) em relação à terra, e se a porta de entrada positiva está com o maior valor de tensão, logo a porta de saída do operacional vai assumir a tensão da fonte de +Vcc. Se caso fosse à porta negativa que tivesse com maior valor de tensão, a porta de saída do operacional ficaria com zero volt, ou seja, o valor da tensão de terra.

Quando o circuito operacional é alimentado com duas fontes de tensões, uma positivas (+Vcc) e a outra negativa (-Vcc) podem ocorrer as seguintes situações. Quando a tensão aplicada na entrada positiva é maior valor, a tensão na porta de saída será a mesma da fonte + Vcc. Se a tensão na porta de entrada negativa é maior valor, a porta de saída do operacional vai ficar com a tensão da fonte -Vcc.

O segundo assunto a ser lembrado é sobre eletrônica digital, mais precisamente sobre a função lógica ou exclusiva. A tabela V mostra os estados lógicos da função no circuito de controle do esquemático da figura 1. Observe na tabela quando as portas de entradas recebem dois sinais iguais, a porta de saída da função ou exclusiva permanece no nível lógico baixo, zero volt. Quando são aplicados nas suas portas de entradas dois sinais de níveis diferentes, a porta de saída assume o valor de nível alto, no nosso caso é de +12 Vcc

Inicialmente vamos admitir que a tensão alternada da rede que alimenta o estabilizador está com 130 Vca. Por causa da tensão elevada na entrada do estabilizador, as tensões de referência: V1, V2, V3 e V4 também elevaram. Os seus valores ultrapassaram o valor da tensão de referência 6V2 do zener Z1. Como as tensões de: V1, V2, V3 e V4 são aplicadas nas portas de entradas negativas do CI-1 (circuitos comparadores), logo todas as portas de saídas ficam com nível lógico baixo, ou seja, zero volt. A seguir os

sinais de níveis lógicos baixos são aplicados nas portas de entradas da função lógica ou exclusiva. O resultado é que todas as portas de saída do CI-2 ficam com nível baixo. A exceção é a porta CI-2D que recebe nas suas entradas um sinal de nível baixo do CI-1 e um sinal de nível lógico alto da fonte +12 Vcc, com esses valores a porta de saída de CI-2D é obrigada a assumir nível lógico alto. Nesse caso o transistor de drive T5 é saturado e o triac Th-5 é disparado. Com o disparo do triac Th-5 os enrolamentos E3 e E4 do autotransformador (TR-3) que são ligados em contra-fase com o enrolamento secundário do transformador de correção (TR-1). O efeito resultante é a subtração eletrônica das tensões V3 e V4, dessa forma a tensão de saída é obrigada a recuar para 110 Vca.

No segundo exemplo vamos admitir que a tensão alternada da rede sofreu uma queda de tensão em relação ao caso anterior e passou de 130 Vca para 120 Vca. Em função das mudanças de estados lógicos gerados pela nova tensão de entrada, as tensões sobre o divisor V1, V2 e V3 continuam elevadas. Os seus valores ultrapassam a tensão de referência 6V2, apenas a tensão de V4 ficou abaixo da tensão de referência 6V2, por isso que a porta de saída do CI-1D muda de estado e passa para nível lógico alto (+12 Vcc). As portas de saída dos comparadores CI-1A, CI-1B e CI-1C permanecerem com nível lógico baixo (zero volt). Nesse instante as portas de entrada do CI-2D recebem duas tensões de nível alto, a sua porta de saída vai para nível baixo (zero volts), e o transistor T5 entra no corte, esse estado provoca também o corte do triac Th-5.

Observe que as funções lógicas ou exclusivas CI-2A e CI-2B continuam recebendo do CI-1 nível lógico baixo (zero volt), e permanecem com suas saídas em nível baixo (zero volt). Nas portas de entradas da função ou-exclusiva CI-2C tem um nível lógico baixo, proveniente do comparador CI-1C e um nível lógico alto proveniente do comparador CI-1D, nesse caso a porta de saída de CI-2D vai para nível lógico alto (+12 Vcc), e o transistor T4 é saturado, isso provoca o disparo do triac Th-4. Como resultado ocorre uma operação de subtração. A tensão do enrolamento E3 do autotransformador é subtraída da tensão de entrada presente no transformador de compensação TR-1, isso obriga a tensão de saída retornar para a tensão de ajuste que é 110 Vca.

No exemplo III ocorre a normalização da tensão alternada de entrada. Nesse caso apenas as tensões de V1 e V2 continuam com seus valores acima da tensão de referência 6V2. A função ou exclusiva CI-2A recebe nas suas portas de entradas duas tensões de nível lógico baixo, com isso a porta de saída continua em nível lógico baixo (zero volt). Por isso que os transistores T1 e T2 e os triacs Th-1 e Th-2 permanecem cortados.

Com a normalização da tensão alternada de entrada as tensões de V3 e V4 ficam abaixo da tensão de referência 6V2, isso vai provocar a mudança de estado na saída dos comparadores CI-1C e CI-1D que vão para nível lógico alto (+ 12 Vcc). Como as duas portas de entrada do CI-2C passam a receber duas tensões altas, a sua porta de saída assume nível lógico baixo, isso provoca o corte do transistor T4 e o bloqueio do triac TH-4.

A mudança significativa vai ocorrer no CI-2B que vai receber nas suas portas de entrada duas tensões diferentes. A primeira tensão é oriunda da porta de saída do comparador CI-1C e a segunda tensão de nível lógico alto vem da porta de saída do CI-1B. Nesse caso a porta de saída do comparador CI-2B vai para nível lógico alto, isso provoca a saturação do transistor T3 e o disparo do triac Th-3. O disparo do triac Th-3 coloca em curto-circuito o enrolamento secundário do transformador de correção, por isso nenhuma tensão será induzida no primário de TR-1, e a tensão de saída permanece em 110 Vca.

No exemplo IV a tensão alternada da rede sofreu uma queda de tensão e foi para 100 Vca. Em função da queda de tensão apenas a tensão de V1 continua com seu valor acima da tensão de referência 6V2. Na porta de entrada da função ou-exclusiva CI-2A são aplicadas duas tensões diferentes, uma tensão baixa oriunda da porta de saída do comparador CI-1A e uma tensão alta que oriunda da saída do comparador CI-1B. Nesse caso a porta de saída de CI-2A assume um nível lógico alto (+12 Vcc), e o transistor T2 é saturado e provoca o disparo do triac Th-2. Por isso que a tensão do enrolamento E1 do autotransformador é somada com a tensão do enrolamento secundário do transformador de correção e a tensão de saída retorna para o valor de 110 Vca.

No Exemplo V a tensão alternada da rede caiu para 90 Vca. Em função dessa queda acentuada de tensão, as tensões de V1, V2, V3 e V4 ficam abaixo da tensão de referência 6V2. Todas as portas de saída dos comparadores do CI-1 ficam com nível lógico alto (+12 Vcc), e são aplicadas nas portas de entradas do CI-2, por isso que todas as suas portas saídas assumem nível lógico baixo (zero volt). Devido à tensão de +12 Vcc na saída do CI-1, o transistor T1 é saturado e o triac Th-1 é disparado. As tensões dos enrolamentos E1 e E2 são somadas a tensão DO enrolamento secundário do transformador de correção. O resultado é a correção da tensão de saída que retornar para o seu valor de ajuste 110 Vca.

O circuito de controle possui dois ajustes. No trimpot P1 é ajustada à tensão de saída e no trimpot P2 é ajustada à tensão de referência. Observe que o estabilizador é projetado para executar duas operações de somas e duas operações de subtrações. Os resistores R29, R30, R31, R32 e R33 são usados para limitar a corrente nos triacs.

É possível aumentar a faixa de correção do estabilizador e diminuir os degraus de tensão, para isso é preciso aumentar o número de enrolamentos do autotransformador TR-1. No circuito de controle é preciso aumentar a quantidade de circuitos comparadores, e na mesma proporção aumentar o número de funções ou-exclusivas para aumento o circuito conversor.

