

**Estabilizador de tensión  
de cuatro pasos tipo Booster****Marder, Felipe - Lombardero, Oscar G. - Aquino, Carlos***Dto. de Ingeniería Eléctrica FACENA - UNNE**9 de julio 1449 2° P Lab. N° 7**email fmarder@exa.unne.edu.ar***Resumen**

El presente trabajo con carácter de desarrollo tecnológico, forma parte del proyecto PI N° 19 / 04 aprobado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNNE, titulado "Aplicaciones Industriales basadas en Microcontroladores". El mismo consiste en el diseño e implementación de un dispositivo para la estabilización de la tensión de línea para una carga estimada en 5 KVA. El sistema está basado en el empleo de un transformador de potencia (TP) con un bobinado secundario en serie con la carga conduciendo permanentemente la corriente nominal y el primario excitado con una corriente en forma aditiva o sustractiva desde un autotransformador conectado en paralelo con la carga, lo que se traduce en una compensación de la variación de tensión de línea. Las corrientes que circulan por el autotransformador y el primario del TP son lo suficientemente bajas como para ser controladas con relés de bajo costo. Este esquema permite disminuir el consumo del sistema y facilita el diseño de la etapa de control.

**Antecedentes**

Los estabilizadores de tensión (ET) aparecieron en el mercado como una solución al problema de las fluctuaciones de la tensión de la red domiciliaria por variaciones de las condiciones de la carga o de la generación. Existen otros tipos de disturbios transitorios e interferencias de media o alta frecuencia que afectan la forma de onda y por lo tanto la calidad de la energía. La mejora en los servicios y los avances tecnológicos no han podido eliminar esos problemas, por lo que los ET se han ido popularizando cada vez más. Los equipos electrónicos alimentados por la red que son mas sensibles a las fluctuaciones son las computadoras y los instrumentos de medición, por lo que existen en la actualidad una variedad de ET para ajustarlo a las necesidades. Las aplicaciones de los ET se han extendido también a los sectores productivos y administrativos de las empresas. La idea es que un ET provea a la salida una tensión lo más cercana posible a la tensión nominal de 220V efectivos, compensando una variación de la entrada entre  $-20\%$  y  $+15\%$ , que es un rango bastante amplio de cobertura. Los ET actuales se pueden clasificar en cuatro grupos: a) Estabilizadores continuos, b) Estabilizadores ferro resonantes, c) Estabilizadores por pasos y d) Estabilizador tipo booster. Entre estos grupos existen diferencias conceptuales.

**Estabilizadores Continuos**

Utiliza un autotransformador con un núcleo de hierro de forma toroidal con una parte de su bobinado accesible tanto mecánica como eléctricamente. Sobre esa sección del bobinado se desliza una escobilla de carbón, que se sitúa en la posición correcta para obtener la tensión de salida deseada. El movimiento de la escobilla se lleva a cabo mediante un servomotor comandado por un circuito electrónico de control. Este tipo de estabilizador es muy utilizado para alimentar cargas que poseen corrientes de arranque importantes, como motores, equipos de aire acondicionado, bombas, etc. Se caracteriza justamente por su alta capacidad de sobrecarga momentánea y por no presentar saltos en la tensión de salida, pero la velocidad de respuesta es mucho más lenta que el de los otros tipos de estabilizadores.

**Estabilizadores Ferro resonantes**

Está constituido por un transformador especial de tres bobinados, en el cual uno de ellos se encuentra sintonizado a la frecuencia de red con un capacitor, formando un circuito tanque. Esto le permite absorber pequeñas y bruscas variaciones en la tensión de línea, como micro cortes ó transitorios. Tiene alta velocidad de respuesta, permitiendo que la tensión de salida no presente saltos y sea estable dentro de un cierto rango de entrada. El factor de atenuación de ruidos eléctricos es alto debido al transformador separador, pero son mecánicamente ruidosos, con bajo rendimiento al generar mucho calor, además de ser voluminosos y pesados.

**Estabilizador por pasos**

Su funcionamiento se basa en el empleo de un autotransformador en paralelo con la carga, con varias derivaciones que se seleccionaran según el valor de la tensión de entrada en ese momento, compensando la variación en mas o menos. La

derivación es seleccionada automáticamente mediante un sistema electrónico de control. Este sistema funciona bien con cargas estables donde puede preverse la caída que se produce en el bobinado que conduce la corriente. A mayores potencias y cargas variables es necesario circuitos de regulación más elaborados. La forma de conmutar los distintos bobinados del auto transformador es utilizando conmutadores mecánicos (relés o contactores) ó electrónicos (triacs). Los primeros soportan mejor las sobrecargas transitorias, como por ejemplo las producidas por arranque de motores pero tienen menor velocidad de respuesta. Los equipos con triacs son más rápidos pero más sensibles a las variaciones  $dV/dT$  ó cortocircuitos.

### **Estabilizador tipo booster.**

Este dispositivo presenta diferencias con respecto a los anteriormente descritos. En primer lugar la corriente de carga no circula por los elementos de conmutación. En segundo lugar la compensación por variación de la tensión de entrada tiene lugar en un transformador de potencia (TP) cuyo secundario está en serie con la carga y conduciendo permanentemente. Modificando la corriente del primario del TP en un sentido u otro, se consigue un grado de compensación que también depende de la relación de transformación del TP que es un parámetro de diseño. Esta corriente de compensación proviene de un autotransformador en paralelo con la carga, cuyas derivaciones se conectan en la forma adecuada con el primario del TP. De esta manera se consigue que las corrientes por los dispositivos de conmutación sean relativamente bajas extendiendo la durabilidad y elevando la confiabilidad del sistema. El presente trabajo consistió en el diseño e implementación de un ET de cuatro pasos tipo booster accionado por relés.

### **Materiales y Métodos**

El diseño de este estabilizador de tensión se encaró teniendo como base la potencia de la carga, fijada de antemano en 5000VA con la cual se cubre un campo bastante amplio de aplicaciones industriales y domiciliarias. Se planteó la conveniencia de implementarlo en un esquema por pasos tipo booster o realimentado por varias razones: por un lado la corriente principal estimada en 22,7 A a tensión nominal no circula por ninguno de los actuadores electromecánicos sino que pasa directamente a través del secundario del transformador de potencia. Además se estima que se tomará entre un 10 al 12 % de la potencia total de la carga como potencia de control distribuida entre el TP, el autotransformador y la electrónica de control propiamente dicha. Como consecuencia, los componentes empleados manejan menores valores de corriente, reduciendo el costo del producto final. El desarrollo del estabilizador implica el diseño del TP, del autotransformador y la electrónica. Mediante la ecuación (1) Se calcula el área central del núcleo del autotransformador a partir del valor de la potencia a manejar, que resulta del producto de la tensión sobre el secundario por la corriente de carga más la del autotransformador, o sea  $25V \times 25A = 625W$ . Se considera una densidad de corriente media de  $3A/mm^2$  y con laminaciones de hierro-silicio común con pérdidas de 1,8 Watt/Kg para una densidad de 10KGauss.

$$S(cm^2) = 36 \sqrt{\frac{P(W)}{J(A/mm^2) f(Hz) B(KG)}} = 0,92 \sqrt{625} = 23cm^2 \quad (1)$$

Este valor nos conduce a una laminación estándar N° 600x50 de  $25cm^2$  y a la relación de transformación  $\eta = 45/S$ . Para la determinación del bobinado secundario se fijó una tensión de 25V para máxima compensación cuando en el primario tenemos 150V. Menores valores se consiguen con el mismo  $\eta$  pero excitando con tensiones menores. Las ecuaciones de diseño en este caso son

$$\Delta V = \frac{N_S}{N_P} V_{ENT} \quad (2)$$

Del cálculo de  $N_p$  y  $N_s$  resulta un valor de 270 y 48 vueltas respectivamente. Mediante la ecuación (2) se confeccionó una tabla con las tensiones de entrada, de compensación y de salida corregida. Se indican aquellos valores de transición en los que se realiza la adición o la sustracción de tensión en forma inductiva. Se consideró una tensión de línea mínima de 180V y de 250V como máxima, que implica un rango de corrección de 70V. Se establecieron tres zonas de trabajo en las que los actuadores corrigen las diferencias de tensión. Inicialmente y hasta un nivel de entrada de 206V los relés están desactivados pero el sistema igualmente compensa en 25V aproximadamente por configuración circuital. a partir de ese valor y hasta llegar a los 218V el aporte es de 12,5V. Desde este punto y hasta los 229V no hay corrección, y finalmente desde 230V la compensación es de -12,5V. En la figura (1) se presenta el diagrama en bloques del sistema.

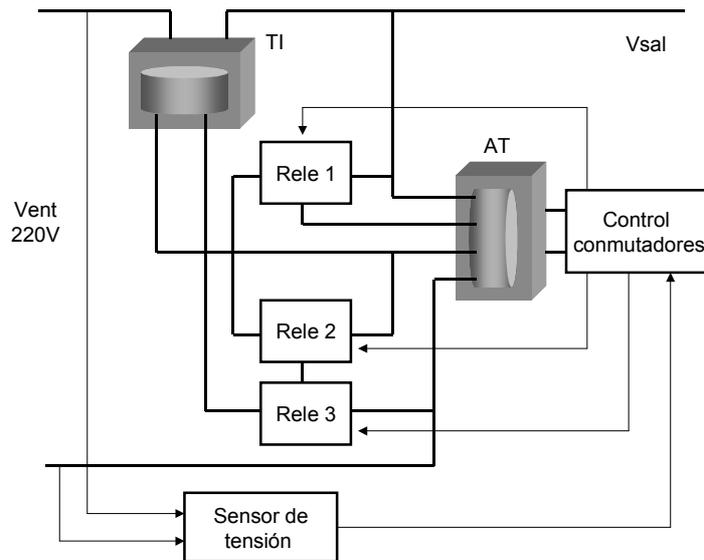


Figura Nº 1. Diagrama en bloques del Estabilizador

Las corrientes para la excitación del primario del transformador de paso provienen de un autotransformador que toma la salida como punto de referencia y alimentación. El seguimiento de las variaciones se realiza sobre una tensión proporcional a la entrada y se la compara permanentemente con una de referencia estable. La electrónica de control se alimenta desde un bobinado secundario del autotransformador. Este bloque activa o desactiva los relés en forma secuencial, de acuerdo al valor que se necesita para la compensación (ver Tabla). El mismo está diseñado de tal forma que ofrece un margen de histéresis en la comparación para asegurar que los relés queden efectivamente accionados evitando la incertidumbre, no siendo este margen mayor de 3 voltios.

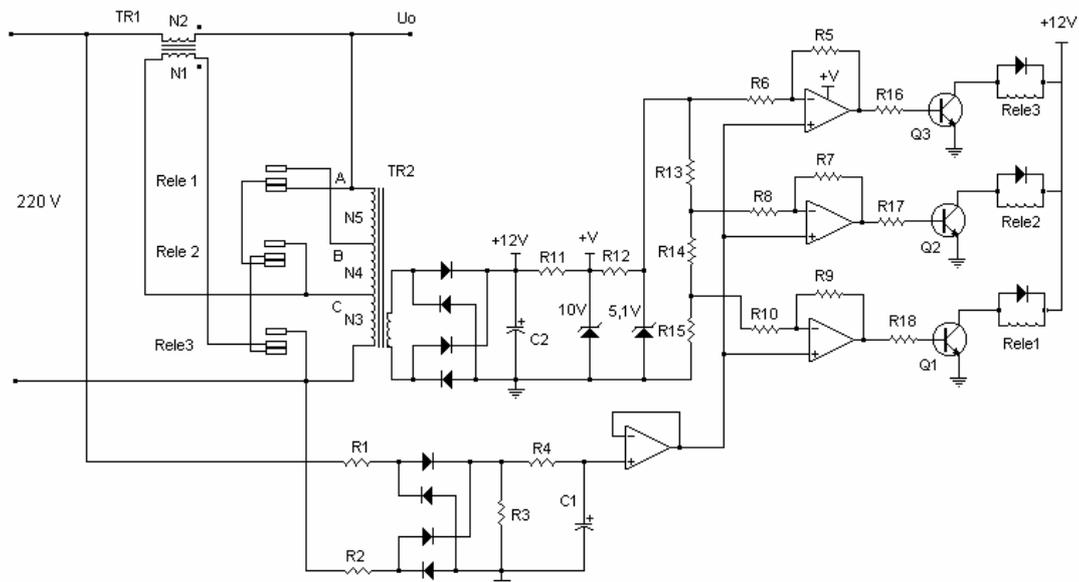


Figura Nº 2. Diagrama esquemático del estabilizador de tensión

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE**  
**Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005**

El sensor de tensión de línea se implementó con el puente de diodos, el par de resistencias R1 R2 y un filtro con una constante de tiempo que surge como compromiso entre la mayor estabilidad de la muestra y la rapidez de respuesta del sistema. La función de los integrados es comparar la tensión de entrada actual con tensiones proporcionales a una de referencia, y actuar sobre los transistores excitadores. Como los tres relés están inicialmente desactivados la tensión de excitación sobre el transformador es de 150V. Cuando se activa el primer relé baja a 75V y activando el segundo se cortocircuita el primario inhibiendo la generación de compensación. En este punto el TP se comporta como un transformador de intensidad, ya que no induce tensión en el secundario, lo que ocurre cuando la entrada no necesita corrección. Se comprobó que era necesario un capacitor para proteger los contactos de los relés ya que los mismos están conectados en serie.

### Ensayos realizados

A partir de los ensayos realizados se confeccionó una tabla similar a la calculada previamente con el fin de verificar los valores de transición y realizar las correcciones pertinentes. Se verificaron los rangos de histéresis establecidos para seguridad. Primero se ensayó el dispositivo en vacío y luego con una carga de 2KW siendo la respuesta muy satisfactoria. En la Figura N° 3 podemos observar un gráfico con los resultados obtenidos.

Ve	Vo	dV
180	202	22
190	212	22
200	222	22
206	228	22
206.5	219	12.5
208	220	12
215	227	12
218	230	12
218.5	219	0.5
220	220	0
225	225	0
229	229	0
229.5	218	-11.5
235	223	-12
240	228	-12
245	233	-12
250	238	-12

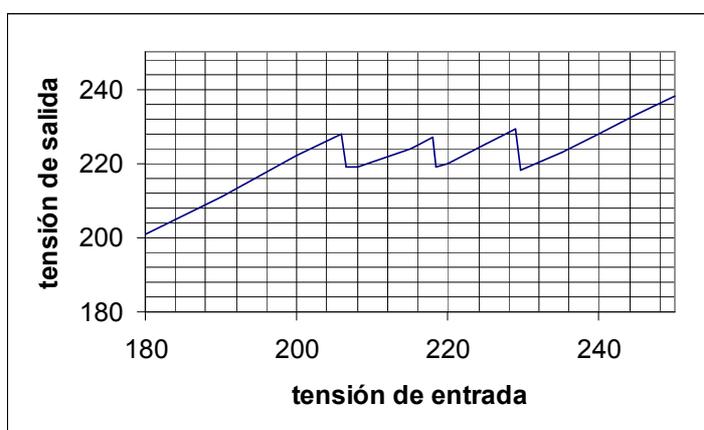


Figura N° 3 Tabla de transición y curva correspondiente

### Conclusiones

Se diseñó e implementó un estabilizador de tensión por pasos tipo booster con capacidad para manejar hasta 5KVA, aprovechando las ventajas que ofrece este tipo de topología circuital. El comportamiento se ajustó a lo previsto en cuanto al rendimiento y velocidad de respuesta. Está previsto encarar otro prototipo empleando tiristores como accionadores y un microcontrolador para gestión general del proceso.

### Bibliografía

1. Marder F, Lombardero OG., "Estabilizador de Tensión". Rev. Ingeniería Electrónica N° 155
2. Intusoft *Magnetics Designer Application Notes*
3. Lloyd Dixon *Magnetic Core Properties* Texas Instruments 2003.
4. Richard R. Johnston *Mathcad Tames the Power Transformer Design Problem* Lawrence Technological University
5. *Power Transformer Design* Texas Instruments
6. Lloyd Dixon *Deriving the Equivalent Electrical Circuit from the Magnetic Device Physical Properties*. Texas Instruments. 2003.
7. *Fundamental of Power Electronics* Chapter 15: Transformer Design
8. Estabilizadores de Tensión <http://www.c-mos.com>