

INDUCTANCIAS NEGATIVAS O NO NATURALES

NEGATIVES INDUCTANCES OR NOT NATURALS

Teresa Esther Nuñez Zuñiga¹

RESUMEN

En el presente artículo se hace el estudio de inductancias negativas, las cuales resultan de sintetizar ondas de tensión y corriente que emulen dicho comportamiento, se simulan circuitos que contengan dichos elementos y analiza la aplicación para la compensación del factor de potencia.

Palabras clave.- Armónicos, Inductancia negativa, Reactancia capacitancia, Inversores PWM, PSpice.

ABSTRACT

This article studies how we can do negatives inductances which result of synthetizer voltage and current waves which emulate that behavior. The circuits with the negative inductances were simulated and analyzed for the power factor correction.

Key words.- Armónicos, Inductancia negativa, Reactancia capacitancia, Inversores PWM, PSpice.

INTRODUCCIÓN

La tecnología actual no permite la construcción de elementos reactivos de gran potencia, razón por la cual, usando elementos reactivos pequeños, un inversor y dispositivos electrónicos de potencia, podemos sintetizar ondas de tensión y corriente que representen su comportamiento [10].

En este artículo haremos un estudio de las inductancias negativas a través de simulaciones haciendo uso del PSpice como programa de simulación.

Hiroito Funato y Atsuo Kawamura [1] en el año 1992, proponen el concepto de VAPAR o Reactancia Variable Activa – Pasiva, que se define como un dispositivo reactivo-pasivo variable, en el estado de régimen permanente y en el estado transitorio.

En 1999 Mohammad Tavakoli Bina y David C. Hamil [2] proponen un controlador FACTS de potencia, que lo llaman de Inductancia Variable Boosttrap

(BVI) y que puede emular una inductancia positiva y negativa y de una implementación más sencilla que la del VAPAR.

Estas inductancias negativas pueden trabajar tanto en el estado estable como en el estado transitorio, reducen o cancelan con su presencia la inductancia de un circuito (Fig.1) sin adicionar una resonancia al mismo, una inductancia negativa es diferente de una capacitancia, en tanto que los dos tengan las mismas funciones en estado estable [7 y 8].

EL VAPAR (REACTANCIA VARIABLE ACTIVA - PASIVA)

El vapor que originalmente fue propuesto por Hiroito Funato y Atsuo Kawamura [1] en el año 1992 es una de las aplicaciones de los inversores PWM que en conjunto con reactivos de bajo valor permiten sintetizar ondas que harán el trabajo de una impedancia positiva o negativa [6 y 11].

¹Dra. Ingeniera, Docente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

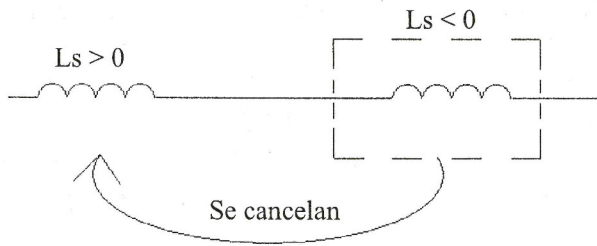


Fig. 1 Cancelación o reducción de una inductancia positiva existente en un sistema, usando una inductancia negativa.

El vapor Trabaja como un elemento reactivo-pasivo variable (o una clase de reactancia virtual) [4] aun en el estado transitorio, aunque el inversor usado en el VAPAR necesita una unidad de tensión DC, esta puede ser reemplazada por un condensador usando un control adecuado para regular la tensión en el condensador, lo que significa que el VAPAR puede ser considerado como un elemento completo de dos terminales (CTT - VAPAR).

Como se muestra en la Fig.2, dependiendo de la relación entre la tensión de los dos terminales y la corriente que circula por el dispositivo [8 y 9], se puede tener un efecto capacitivo o inductivo, teniendo en cuenta una cierto rango de frecuencias.

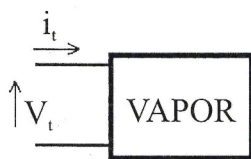


Fig. 2 El vapor.

Presenta las siguientes ventajas con respecto a una inductancia real.

1. Se puede realizar una gran reactancia usando elementos reactivos pequeños, de modo a conseguir elementos reactivos pequeños y leves; aun para trabajar a elevada potencia.
2. La reactancia del VAPAR se puede controlar tanto en el régimen permanente como en el transitorio.

El vapor es diferente de un Filtro Activo de Potencia y de un compensador de reactivos. El principal objetivo de un filtro, es compensar la distorsión de la corriente o de la tensión, el objetivo de un

compensador de reactivos, es compensar en la frecuencia fundamental el valor de la tensión en régimen permanente.

EL VBI

David C. Hamill y Mohammad T. Bina [3] en 1999 proponen un Nuevo controlador de potencia AC, y lo llaman Inductancia Variable Bootstrap (VBI), el cual puede emular una inductancia variable que puede ser positiva o negativa. Usan el termino Reluctancia y lo tratan como un sinónimo para la Inductancia Negativa.

La propuesta tiene como propósito reducir la complejidad de la implementación del VAPAR, en particular evitando la realimentación de la corriente, con los consecuentes problemas de estabilidad.

El principio de funcionamiento del BVI es el "Bootstrapping", que se puede considerar como un tipo de realimentación directa. La tensión (ver Fig.3) aplicada V alimenta una impedancia Z(jw) en serie con el amplificador de tensión, el cual tiene una ganancia A, la impedancia de entrada efectiva es Z_{in}(jw).

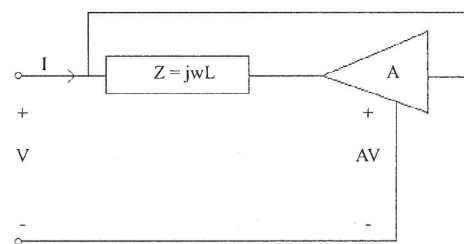


Fig. 3 Implementación de una Inductancia reluctancia por el BVI.

$$Z_{in}(jw) = \frac{V}{I} = \frac{Z(jw)}{1 - A(jw)} \tag{1}$$

Cuando A<1, Z_{in} tiene el mismo comportamiento que Z pero con una magnitud más grande; cuando A=1, I=0A y la impedancia de entrada Z_{in} se vuelve infinita. Este principio se conoce en el mundo electrónico como "Bootstrapping". Cuando A>1, Z_{in} tiene la señal opuesta a Z (conversión a impedancia negativa). De esta forma, si hacemos Z inductivo (Z=jw), el circuito emula un impedancia reductiva. Variando A, (Ver Fig.4) se puede obtener un amplio

rango de inductancia y reductancia. Por ejemplo si A varía de 0 a 2, L_{in} varía de L a ∞ para $0 \leq A \leq 1$ y de $-\infty$ a $-L$ para $1 \leq A \leq 2$, como se muestra en la Fig. 15 de acuerdo con:

$$\frac{L_{in}}{L} = \frac{1}{1-A} \quad (2)$$

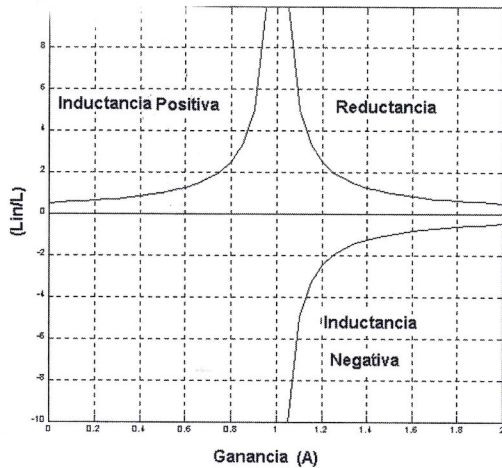


Fig. 4 Relación entre la inductancia de entrada, L_{in} , y la inductancia física L en función de la ganancia A del amplificador. La reductancia positiva es idéntica a la inductancia negativa, $\Gamma \equiv -L$ [12].

Como aquí no hay necesidad de realimentación de cualquier variable para el funcionamiento del BVI, este es inmune a las inestabilidades. Con respecto a las desventajas, la inductancia efectiva L_{in} es sensible a variaciones en L y en A , tampoco es posible obtener inductancia nula, lo que es un problema en amplificaciones en serie. En la práctica el amplificador BVI se implementa a través de un inversor PWM, el cual aplica en uno de los terminales de la impedancia Z con ganancia A , la tensión aplicada en el otro terminal, la barra DC, se alimenta separadamente. Los autores discuten el hecho del efecto de la frecuencia de conmutación en la calidad de la tensión producida por el amplificador y consecuentemente, en la corriente. Los mismos autores David C. Hamill y Mohammad T. Bina [4] presentan un modelamiento de los valores medios de las variables de estado, incluyendo el efecto de los condensadores de la barra DC (Inversor de medio puente), realizando simulaciones numéricas.

Posteriormente David C. Hamill y Mohammad T. Bina [5] presentan estudios dinámicos del BVI

con el dispositivo operando en serie en una línea de transmisión de energía, siendo esta una de sus aplicaciones.

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD EN CIRCUITOS CON INDUCTANCIA NEGATIVA

Compensación paralela

Aquí se considera un sistema autónomo $\dot{x} = f(x)$. El movimiento de equilibrio de $x(t)$ está dado por una pequeña perturbación; si el movimiento de perturbación permanece cerrado y no permite la perturbación de $x(t)$ durante todo el tiempo, entonces el sistema autónomo es estable [5]. Para pequeñas perturbaciones un movimiento tranquilo es asintóticamente estable si el efecto en el movimiento tiende a desaparecer; el movimiento es inestable si el efecto tiende a crecer. Para que un sistema invariante en el tiempo $\dot{x} = A x(t)$ sea estable, los eigen valores de A , deben estar todos en el lado izquierdo del plano complejo, si todos los eigen valores de A tienen parte real negativa, entonces el sistema es estable. Los eigen valores con parte real cero, producen oscilaciones no amortiguadas.

En la Fig.5 podemos ver los resultados de la simulación de un circuito donde una fuente de alimentación senoidal ($V=220$ Vol., 60 Hz) está conectada en paralelo a una resistencia ($R=10\Omega$) y este circuito está en paralelo a una inductancia ($L=35$ mH), como se esperaba la tensión y la corriente presentan un desfase.

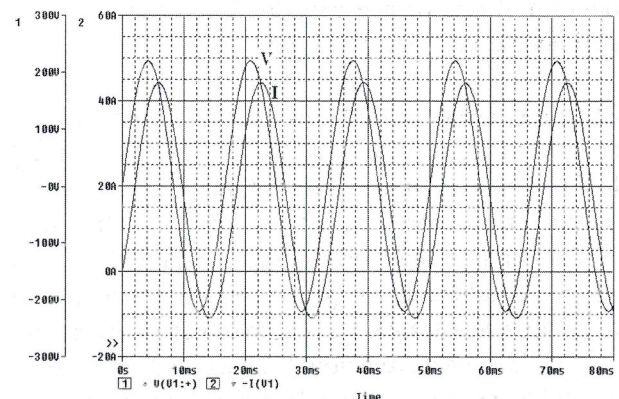


Fig. 5 Formas de onda de la tensión y corriente en la fuente de alimentación de un circuito con carga resistiva R e inductancia L en paralelo.

Compensación paralela con inductancia negativa

Si al circuito descrito anteriormente se le coloca una inductancia negativa en paralelo ($L_n=12\text{mH}$), la representación en ecuaciones de estado es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_n}{dt} \\ \frac{di_L}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_n \\ i_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{-L_n} \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} v$$

si la corriente de la fuente es la variable de salida

$$i(t) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_n \\ i_L \end{bmatrix} + \frac{v}{R}$$

La función de transferencia entre la variable de salida I y la de entrada V es:

$$G(s) = \frac{s\{sL(L_n) + R[L + (-L_n)]\}}{s^2LR(-L_n)}$$

Podemos ver que se cancelan un polo y un cero en el origen simplificando con esta acción la función de transferencia quedando esta como:

$$G(s) = \frac{s - R \left[\frac{L - L_n}{LL_n} \right]}{sR}$$

Si $L_n > L$, el valor de la raíz del numerador será negativo. En caso contrario del sistema presentara un comportamiento de fase no-mínima donde la variación inicial de la corriente ocurre en sentido opuesto al que ocurre cuando el sistema tiende al régimen permanente o estable.

En la Fig.6 se muestra la respuesta de la simulación cuando a L_n se la hace variar de la siguiente forma: $L=L_n$, $L_n=0$ y $L_n < L$ allí se puede ver que en el primer caso la corriente está en fase con la tensión, lo cual indica que los valores de la inductancia positiva e inductancia negativa son iguales quedando el circuito resistivo; en el segundo caso la corriente está adelantada en relación a la tensión lo que indica que la corriente en la rama de la inductancia negativa es mayor que la rama que contiene la inductancia positiva; y en el tercer caso la corriente está atrasada en relación a la tensión como debe ser, ya que está presente el efecto inductivo. La ecuación que describe la corriente de la fuente es:

$$i(t) = i_L(0) + i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t v(t) dt - \frac{1}{L_n} \int_0^t v(t) dt + \frac{v(t)}{R}$$

Si la tensión fuera senoidal, partiendo con condiciones iniciales nulas, la corriente de la fuente y la corriente por los inductores pueden presentar un nivel DC, la cual proviene de los términos integrales.

Este nivel medio será cero si en $t=0$ a tensión estuviera en fase con $\pm 90^\circ$.

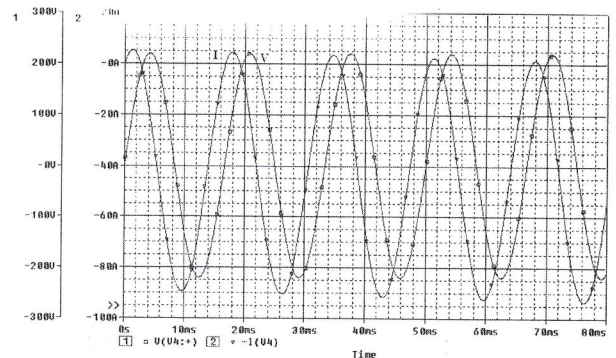
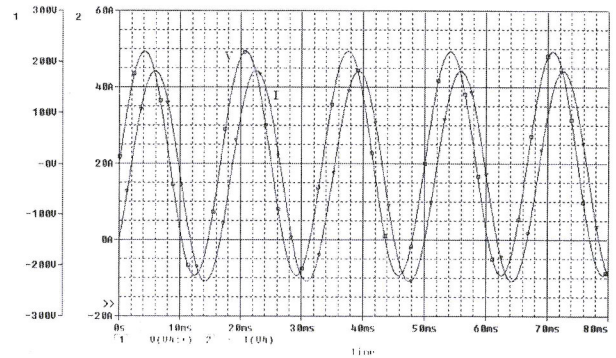
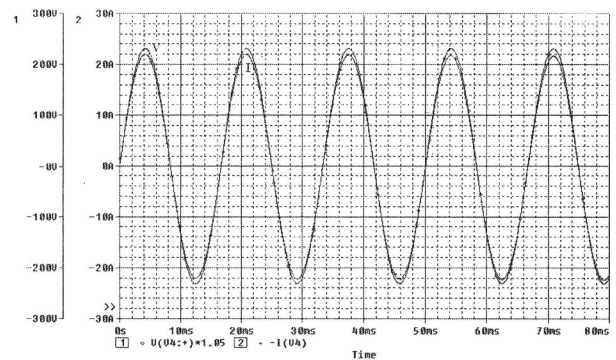


Fig. 6 Formas de onda de la compensación paralela usando inductancia negativa. (arriba) $L = L_n$ (al medio) Sin L_n (abajo) $L_n < L$.

En la Fig.7 se muestra el resultado referente a esta última situación ($L_n < L$) pero, con la tensión de

entrada con fase inicial nula; podemos ver que existe un nivel DC en cada una de las corrientes, lo cual implica que el circuito responsable de introducir una inductancia negativa debe ser capaz de hacer que la corriente promedio asuma un nivel DC cero.

Si esto no ocurre, en los dispositivos que contienen característica inductiva con núcleo ferromagnético como son las inductancias, pueden ocurrir saturaciones importantes.

Es necesario verificar que a pesar de que los dipolos están conectados en paralelo a una fuente de tensión para entradas senoidales, los circuitos siempre son estables, aun cuando presenten corriente promedio diferente de cero.

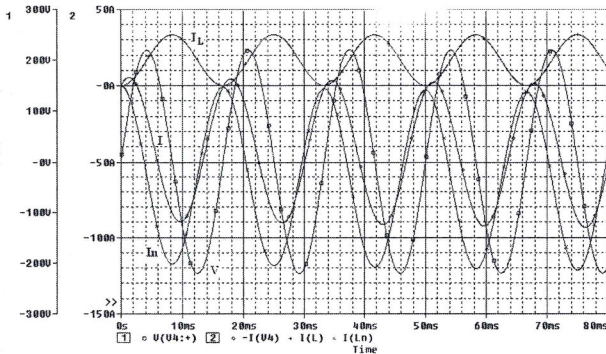


Fig. 7 Formas de onda de la compensación paralela usando inductancia negativa con tensión de entrada y con fase inicial nula.

Inductancia negativa en paralelo a un circuito RL serie

Si ahora tenemos un circuito RL en paralelo con una inductancia negativa L_n , la representación en ecuaciones de estado es la siguiente:

$$\frac{di}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_n \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{(-L_n)} \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} v$$

La función de transferencia entre la variable de salida I_1 y la de entrada V es:

$$G(s) = \frac{s(L_n - L) - R}{s(sL_nL + RL_n)}$$

El valor de la raíz del numerador de $G(s)$ es negativo si $L_n < L$.

Cuando la entrada es senoidal, y teniendo condiciones nulas, tanto la corriente de la fuente como la corriente por L_n pueden presentar un nivel de DC.

Este nivel medio será nulo si en $t = 0$ la tensión estuviera con fase $\pm 90^\circ$

En la Fig.8 se muestra la situación para dos casos sin inductancia negativa y con $L_n < L$, arriba la corriente está atrasada en relación a la tensión como debe ser, como el valor de la inductancia negativa es menor que la inductancia positiva, la corriente por la fuente cambia de fase y queda adelantada en relación a la tensión.

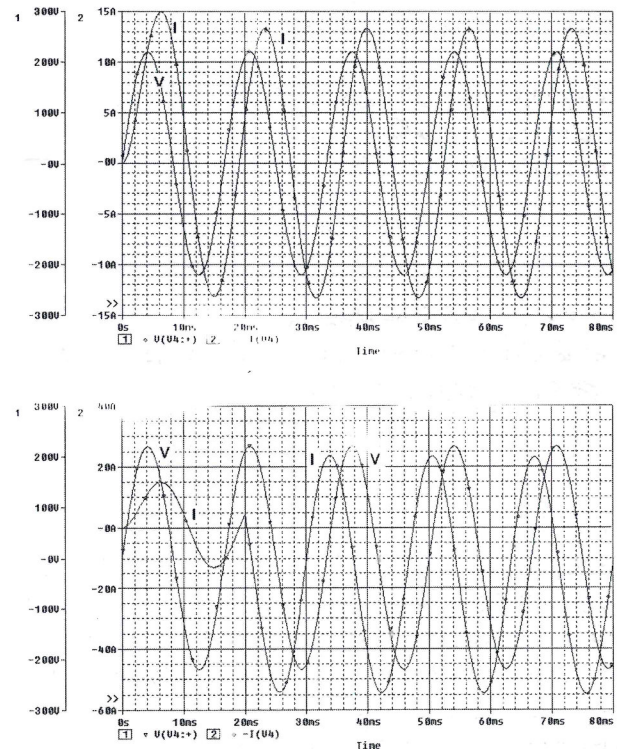


Fig. 8 Formas de onda para el circuito RL en paralelo con una inductancia negativa L_n arriba sin L_n , abajo con $L_n < L$.

Compensación serie

En la Fig.9 se muestra las formas de onda de un circuito RL serie, $R=0.5\Omega$, $L=35mH$ y $L_1=1mH$, que es alimentado con una fuente de tensión senoidal ($V=220$ Vol., $60Hz$) donde se nota que la tensión de la fuente de alimentación senoidal esta adelantada a la corriente lo que nos confirma la presencia inductiva.

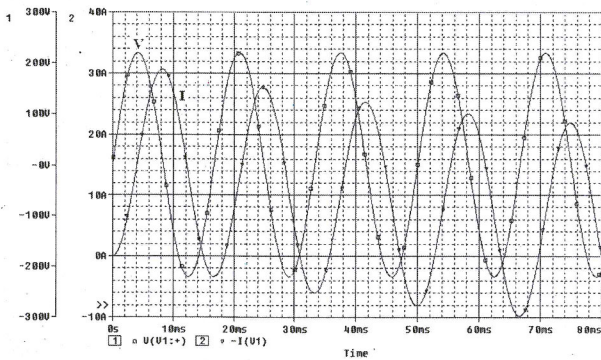


Fig. 9 Formas de onda de la tensión y corriente en la fuente de alimentación de un circuito con carga RL en serie.

Compensación serie con inductancia negativa

Cuando al circuito de la Fig. 10 se le coloca una inductancia negativa L_n para compensarlo, la ecuación diferencial del circuito es:

$$v(t) = -[L1 + L + (-L_n)] \frac{di}{dt} + Ri$$

Aplicando la transformada de La Place a la ecuación anterior obtenemos la raíz de la ecuación característica:

$$s = -\frac{R}{[L1 + L + (-L_n)]}$$

Para $L_n < (L1 + L)$ obtenemos una inductancia positiva, la raíz tiene parte real negativa que caerá en el lado izquierdo del plano complejo y por lo tanto el sistema es estable. En la Fig.10 se muestra las formas de onda de la tensión y corriente por el circuito (arriba) cuando todavía no está presente la inductancia negativa y podemos ver que la corriente por el circuito está atrasada con respecto a la tensión de alimentación, en el (medio) cuando se coloca la inductancia negativa en el circuito, este se vuelve resistivo ya que la inductancia negativa anula a la inductancia positiva, o sea hay una compensación casi total de la inductancia, finalmente (abajo) cuando la inductancia negativa es mayor que la inductancia positiva la corriente presenta un nivel DC que tiende para infinito, indicando así una inestabilidad. El aumento en el valor pico de la corriente cuando se anula, se debe a la disminución en grado sumo de la impedancia total del circuito.

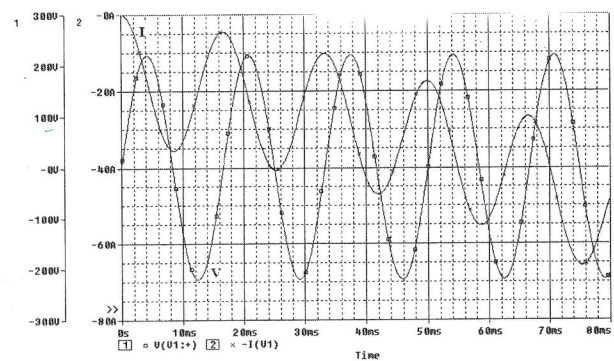
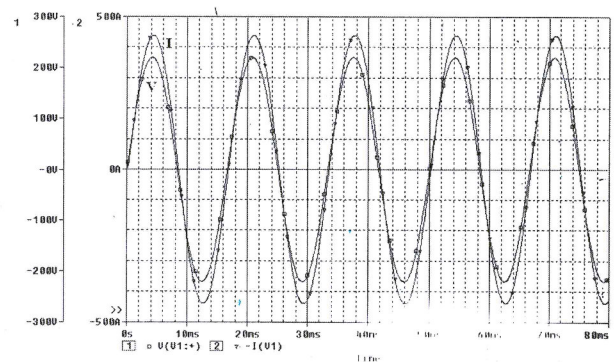
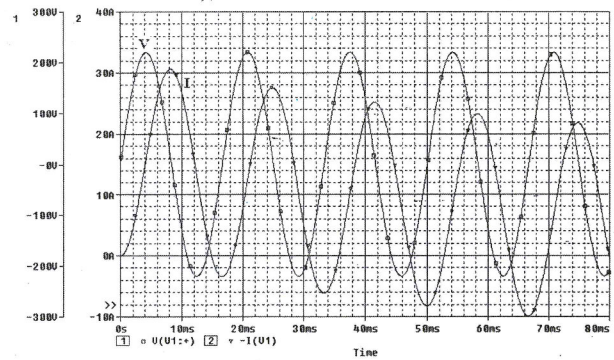


Fig.10 Formas de onda con compensación serie, usando inductancia negativa (arriba) sin L_n , (medio) $L_n = (L+L1)$, (abajo) $L_n < (L+L1)$.

APLICACIÓN PARA LA COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Entre las aplicaciones que se le puede dar a las inductancias negativas está la compensación del factor de potencia

Compensación del factor de potencia con fuente de tensión senoidal haciendo uso de una inductancia

negativa.- En la Fig.11 Podemos ver las formas de onda de tensión y de corriente antes y después de la actuación de la inductancia negativa en paralelo a un circuito RL paralelo que está alimentado por una fuente de tensión senoidal, donde $R=11\ \Omega$ y $L=35\text{mH}$ y ($V=220\ \text{Vol.}$, $60\text{Hz} + 22\ \text{Volt}$ a $f_5=300\text{Hz}$), en este circuito se coloca una $L_n=-35\text{mH}$ con el objetivo de corregir el factor de potencia, antes de la actuación de la inductancia negativa el circuito presenta una característica inductiva como ya era esperado pues, la corriente está atrasada con respecto a la tensión de alimentación; después de la actuación de la inductancia negativa el circuito se vuelve resistivo, disminuye la corriente y esta sigue en todo momento la forma de onda de la tensión, corrigiendo a si el factor de potencia que se vuelve unitario.

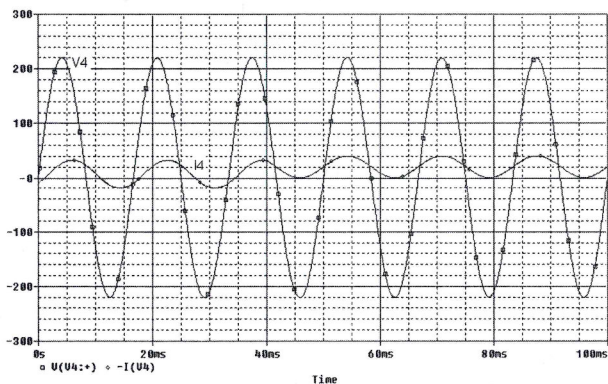


Fig. 11 Formas de onda para un circuito paralelo RL con inductancia negativa para corregir el factor de potencia.

Compensación del factor de potencia haciendo uso BVI.- En la Fig.12 se ve un circuito donde se realiza la compensación del factor de potencia haciendo uso de un BVI, el cual sintetiza una inductancia negativa, aquí usamos los siguientes valores $R=11\ \Omega$, $L=35\text{mH}$ y $L_n=-35\text{mH}$.

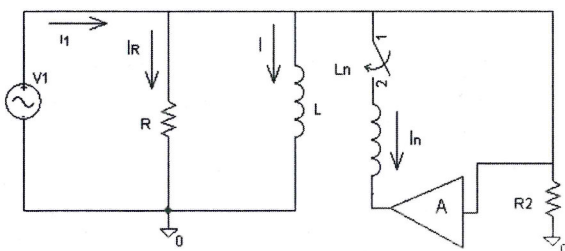


Fig. 12 Circuito para la corrección del factor de potencia con tensión senoidal y BVI.

Este circuito es pasado al programa de simulación PSpice donde la ganancia del BVI se ajusta automáticamente según los criterios antes establecidos para su desempeño como corrector del factor de potencia, para verificar el desfase entre la tensión y la corriente se implementó un detector de fase para que así, si hay un error de fase, la señal será diferente de cero, esta señal pasa a través de la ganancia del BVI y después por una señal integradora.

En la Fig.13 se muestra el resultado de la simulación, primeramente el BVI actúa como una inductancia positiva, cuando el control comienza a actuar llevando al ajuste del desfase de la corriente en la fuente de alimentación, la corriente por el BVI está adelantada en relación a la tensión, inicialmente la fuente de alimentación está conectada imponiendo una ganancia unitaria al BVI, con eso la corriente por L_n es nula, en 100mS se ve la actuación del VBI volviendo al circuito resistivo y compensando el factor de potencia.

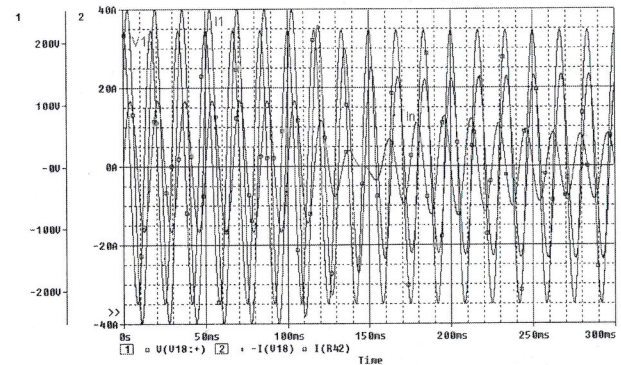


Fig. 13 Formas de onda para ver la corrección del factor de potencia con el BVI.

Compensación del factor de potencia haciendo uso de una inductancia negativa actuando bajo una tensión senoidal con 10% de quinta armónica.-Podemos observar (Fig. 14) las formas de onda de la tensión y corriente en la fuente, antes de la actuación de la inductancia negativa en circuito RL paralelo con $R=11\ \Omega$, $L=35\text{mH}$, ($V=220\ \text{Vol.}$, $60\text{Hz} + 22\ \text{Volt}$ a $f_5=300\text{Hz}$), el circuito presenta una característica inductiva como ya era esperado pues la corriente está atrasada con respecto a la tensión de alimentación; después de la actuación de la inductancia negativa el circuito se vuelve resistivo, disminuye la corriente y esta sigue en todo momento la forma de onda de la tensión, corrigiendo a si el factor de potencia que se vuelve unitario.

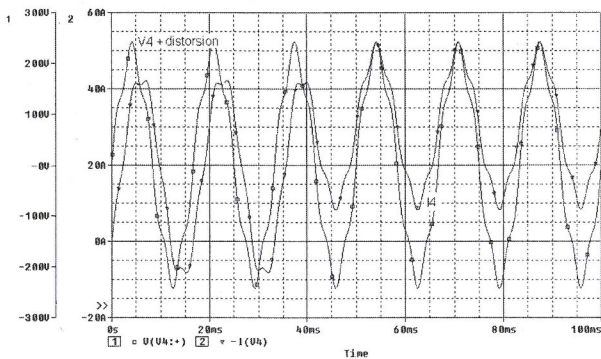


Fig. 14 Formas de onda para un circuito paralelo RL con inductancia negativa actuando bajo una tensión senoidal con 10% de quinta armónica para corregir el factor de potencia.

Compensación del factor de potencia haciendo uso de un BVI, con una fuente de tensión senoidal con 10% de 5^a armónica. Las formas de onda de un BVI sintetizando una inductancia negativa y compensando el factor de potencia lo podemos ver en la Fig.15, así como la forma de onda final de la corriente la cual sigue la forma de onda de la tensión, consiguiendo así mantener el factor de potencia igual a la unidad.

También vemos que el control ayuda a corregir el desfase entre ellas, el escalón actúa a los 0.032666seg.

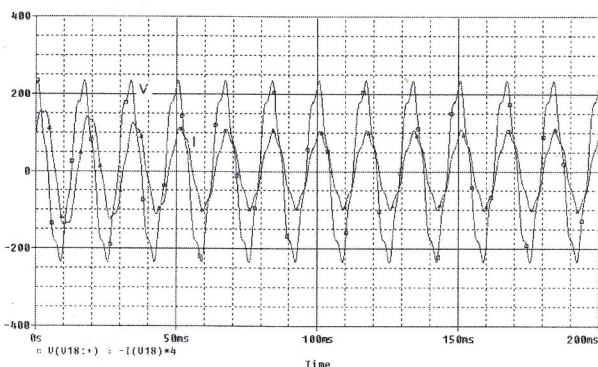


Fig. 15 Formas de onda para la compensación del factor de potencia con BVI y fuente de tensión con 10% de 5^a armónica

Respuesta a un escalón de tensión en la compensación del factor de potencia haciendo uso de la inductancia negativa.

Podemos notar la respuesta del circuito (Fig. 16) un escalón de tensión en la fuente cuando se usa una inductancia negativa, bajo las mismas situaciones a

diferencia del caso anterior (con capacitancia). Se puede ver que la corriente no presenta transitorios, el escalón actúa a los 0.032666seg.

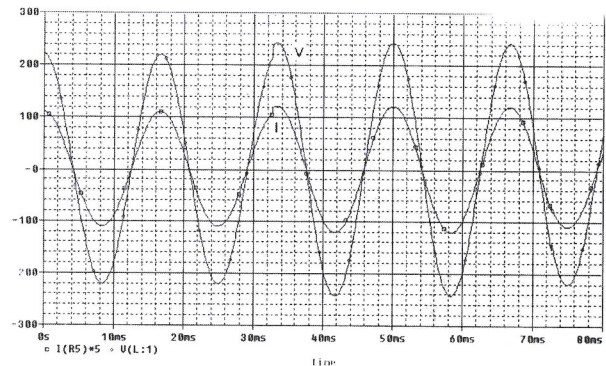


Fig. 16 Compensación del factor de potencia haciendo uso de una inductancia negativa y respondiendo a un escalón de tensión en la fuente de tensión.

Respuesta a un escalón de tensión en la compensación del factor de potencia haciendo uso del BVI

La respuesta del circuito RL en paralelo a un escalón de tensión con el VI sintetizando una inductancia negativa en la compensación del factor de potencia lo distinguimos en la Fig. 17.

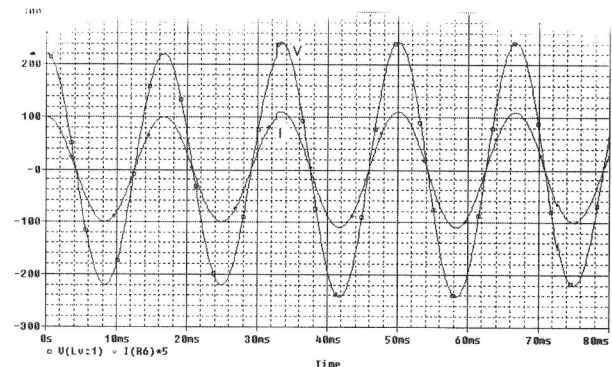


Fig. 17 Compensación del factor de potencia haciendo uso del BVI sintetizando una inductancia negativa y respondiendo a un escalón de tensión en la fuente de tensión.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha demostrado que se pueden sintetizar inductancias negativas y que estas pueden trabajar tanto en el estado estable como en el estado transitorio.

Es muy importante hacer un estudio de la estabilidad de los circuitos, para garantizar su operación.

El BVI fue aplicado para la compensación del Factor de Potencia aun con una tensión que presente distorsión y la respuesta fue favorable.

REFERENCIAS

1. **Funato, H., Kawamura, A.**, "Proposal of Variable Active-Passive Reactance", Proceedings of the International Conference On Industrial Electronics, Control, Instrumentation and Automation (IECON' 1992), Marriot Mission Valley, pp. 381-388 - 1992, San Diego, California, USA.
2. **Tavakoli Bina, M., C. Hamil, D.**, "The bootstrap Inductance: A New Facts Control Element", Power Electronics Specialist Conference; Vol. 2 pp. 619-625 - 1999, Charleston South California, USA.
3. **Tavakoli Bina, M., C. Hamil, D.**, "The bootstrap Inductance: A new facts control element", IEEE - Power Electronics Specialist Conference, Vol.2, pp. 619-625 - 1999, Charleston South Carolina USA.
4. **Tavakoli Bina, M., C. Hamil, D.**, "Average model of bootstrap Inductance (BVI)", IEEE 31st Annual Power Electronics Specialist Conference, Vol.2, pp. 967-972 - 2000, Galway Ireland.
5. **Tavakoli Bina, M., C. Hamil, D** "Transient response and stability of bootstrap variable Inductance (BVI)", 32st IEEE - Power Electronics Specialist Conference, 2001, The University of British Columbia, Vancouver Canada.
6. **Funato, H., Kawamura, A.** "Control of variable active-passive reactance and negative inductance", IEEE Power Electronics Specialist Conference, pp. 189-196 - 1994, Taipei-Taiwan.
7. **Funato, H., Kawamura, A., Kamiyama, K.**, "Realization of negative Inductance Using Variable Active-Passive Reactance (VAPAR)", IEEE Transection On Power Electronics Vol.12 N° 4 July 1997, pp. 589-596. EE.UU.
8. **Funato, H., Kamiyama, K.**, "Improvement of reactance compensator using variable active-passive reactance with output filter", 1997 proceedings of the power Conversion Conference, pp. 355-360 - 1997, Nagaoka, Japan.
9. **Funato, H., Kamiyama, K.**, "Analysis of power control using variable active-passive reactance (VAPAR)", IEEE Industrial Electronics Control, Instrumentation and Automation Conference, pp. 850-855 - 1997, New Orleans, USA.
10. **Antenor Pomilio, J., Nuñez Zuñiga, T.**, "Introdução às técnicas de Síntese e Aplicações de Indutâncias Negativas", SOBRAEP Eletrônica de Potencia ISSN1414-8862, Vol. 19 N° 1, pp.19-27 Junho 2004, Brasil.
11. **Funato, H., Kawamura, A.**, "Analysis of Variable Active-Passive Reactance", Proceedings of Power Conversion Conference IEEE 93TH0406-9, pp. 647-652, 1993, Yokohama.
12. **C. Hamil, D., Tavakoli Bina, M.**, "The Bootstrap Variable Inductance: A New Facts Control Element", PESC.- 0-7803-5421-4/99 IEEE, pp. 619- 625- 1999, EE.UU.

Correspondencia: nunezuniga@yahoo.es

Recepción de originales: Enero 2008

Aceptación de originales: Marzo 2008