

# Teoría de circuitos para el comportamiento inusual de un inductor.

Horst Eckardt

Douglas W. Lindstrom

Alpha Institute for Advanced Studies (AIAS) y

Unified Physics Institute of Technology (UPITEC)

Julio 9, 2015

Traducción: Alex Hill ([www.et3m.net](http://www.et3m.net))

## Resumen.

Los experimentos de Osamu Ide mostraron que los transformadores exhiben componentes de corriente desconocidas hasta ahora cuando se les conecta mediante pulsos agudos. Este comportamiento se ha explicado a través de la teoría de Einstein-Cartan-Evans en un documento precedente. Con el objeto de simplificar los cálculos, se desarrolla sobre esta base una teoría de circuitos ampliada. Se demuestra que las oscilaciones de la inductancia causan el término de corriente exponencialmente decreciente. Primeramente se desarrolla a nivel teórico la ecuación del circuito y se estudia analíticamente. Luego se obtienen soluciones precisas mediante simulación, mostrando que las curvas experimentales del efecto Ide pueden reproducirse muy bien. Se propone un mecanismo para la extracción de energía.

*Palabras clave:* circuito resonante en serie; transformador, corriente inicial; teoría de circuitos; inductancia variable; modelo de simulación.

## 1. Introducción.

Cuando se aplica un voltaje a un circuito de resonancia en serie, se sabe a partir de la electrodinámica clásica que la corriente primero aumenta en forma lineal y luego alcanza la saturación. La inductancia del circuito obstaculiza a la corriente para que salte inmediatamente a su valor final. En una serie de documentos, Osamu Ide ha descrito experimentos que revelan la presencia de una corriente adicional en este proceso [1]- [3]. De hecho hay dos efectos. Cuando se conecta el voltaje mediante un pulso, la corriente oscila fuertemente durante menos de un microsegundo, y luego aumenta más allá del valor clásico (lineal) de un modo exponencial decreciente. Estos efectos pueden observarse en la Fig. 1, la cual se extrajo de [6], y donde el efecto se ha verificado en forma independiente. En dicho documento, ambos efectos pudieron explicarse como interacciones con el potencial de trasfondo o del espaciotiempo, el cual se vuelve efectivo en procesos no continuos, en este caso la conexión brusca del voltaje/ corriente. En [6] los efectos pudieron explicarse bien a través de la así llamada teoría de Einstein-Cartan-Evans [4]- [5], la cual provee una ampliación de la teoría de Maxwell-Heaviside en el sector electromagnético. Una aplicación directa de esta teoría no resulta sencilla para los ingenieros, de manera que desarrollamos un enfoque simplificado en este documento, el cual se basa en una ligera extensión de la teoría clásica de circuitos. Tanto los resultados experimentales como teóricos de [6] mostraron que la modulación del comportamiento del circuito debido a efectos del espaciotiempo trae como resultado una fuerte variación de la inductancia efectiva. Por lo tanto, desarrollaremos este enfoque a continuación.

## 2. Teoría analítica de circuitos.

El circuito general de resonancia en serie con una inductancia  $L$ , una capacitancia  $C$ , una resistencia óhmica  $R$ , cumple con la ecuación de circuito

$$\frac{d}{dt}(LI) + RI + \frac{Q}{C} = U_0 \quad (1)$$

donde  $Q$  es la carga en el capacitor e  $I$  es la corriente. Normalmente, se consideran constantes en función del tiempo las propiedades del dispositivo  $L$ ,  $R$  y  $C$ . Entonces, reemplazando  $I = dQ/dt$ , se obtiene una ecuación diferencial de segundo orden:

$$L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = U_0 \quad (2)$$

Sin embargo, si la inductancia no es constante, se obtiene a partir de la Ec.(1):

$$\frac{dL}{dt} I + L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{Q}{C} = U_0 \quad (3)$$

o, re-expresada,

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + \left( \frac{dL}{dt} + R \right) \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = U_0 \quad (4)$$

Comparando con la Ec.(2), observamos que el cambio en el tiempo de la inductancia se comporta como una resistencia dinámica efectiva

$$R_{ef} = \frac{dL}{dt} + R \quad (5)$$

la cual depende del tiempo. La Ec.(2) entonces queda como

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R_{ef} \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = U_0 \quad (6)$$

Como anteriormente, ésta es la ecuación de un oscilador forzado amortiguado. Sin embargo, en el experimento de Ide, tenemos una corriente fuertemente oscilante en el pulso inicial, lo cual indica que la inductancia oscila fuertemente desde el punto de vista de la teoría de circuitos. En particular,  $dL/dt$  adopta valores negativos cada segunda semi-onda. Suponiendo que la resistencia óhmica es pequeña y que la variación de la inductancia es grande, tendremos el caso

$$R_{ef} < 0 \quad (7)$$

durante aproximadamente la mitad del tiempo. La solución de la ecuación diferencial (6) tendrá entonces una forma no oscilatoria. Por simplicidad, consideraremos un voltaje impulsor constante  $U_0$  y un valor constante para  $R_{ef}$ . Entonces, la solución analítica de (6) es

$$Q(t) = K_1 \exp\left(\omega_1 t - \frac{R_{ef} t}{2L}\right) + K_2 \exp\left(-\omega_1 t - \frac{R_{ef} t}{2L}\right) + U_0 C \quad (8)$$

con las constantes K1 and K2 y una frecuencia de resonancia

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_{ef}^2}{L^2} - \frac{4}{CL}} \quad (9)$$

Esta solución se cumple para

$$R_{ef}^2 C - 4L > 0 \quad (10)$$

que se ve satisfecha cuando  $R_{ef}$  es suficientemente grande. A partir de la Ec.(8) puede observarse que siempre existe una solución que crece exponencialmente si  $R_{ef} < 0$ . Lo mismo se cumple para la corriente, la cual es la derivada temporal de la Ec. (8):

$$I = K_1 \left( \omega_1 - \frac{R_{ef}}{2L} \right) \exp\left( \omega_1 t - \frac{R_{ef} t}{2L} \right) - K_2 \left( \omega_1 + \frac{R_{ef}}{2L} \right) \exp\left( -\omega_1 t - \frac{R_{ef} t}{2L} \right). \quad (11)$$

Aun cuando se establece a la constante K1 igual a cero a fin de evitar soluciones con crecimiento exponencial, como suele procederse en situaciones físicas, la corriente (11) continua creciendo debido a un cambio de signo de  $R_{ef}$ .

### 3. Resultados de simulación.

En la sección precedente, la resistencia efectiva se hizo constante a fin de poder obtener soluciones analíticas. Ahora investigaremos la ecuación completa (4) con una resistencia efectiva dinámica (5). Se ha omitido la capacitancia, es decir que modelamos el inicio de corriente de una bobina solamente como en los experimentos originales. Como se sugiere en [6] L oscila fuertemente en función del tiempo, con una amplitud decreciente. Modelamos esto a través de una función

$$L(t) = L_0 \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \right) \sin \omega t \quad (12)$$

con una constante de tiempo  $T_1$  y una frecuencia de oscilación  $\omega$ . La derivada de  $L(t)$  es extremadamente aguda y debe de confinarse a valores inferiores a 103 H/s a fin de mantener estable la simulación. Se utilizaron los siguientes parámetros:

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 0.04 \text{ H} \\
 R &= 10 \Omega \\
 T_1 &= 800 \mu\text{s} \\
 \omega &= 2\pi \cdot 3 \text{ MHz} \\
 U_0 &= 50 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Las simulaciones se llevaron a cabo mediante el programa de simulación OpenModelica [7]. Los resultados se muestran en la Fig. 2 y pueden compararse con las curvas experimentales de [6] presentadas en la Fig. 1. Un escalamiento directo de ambos conjuntos de curvas no fue intentado, pero sería posible. La corriente adicional exponencialmente decreciente (curva de color verde en la Fig. 2) se genera exactamente igual a la obtenida experimentalmente (curva de color negro en la Fig. 1). Hay un desplazamiento adicional en la Fig. 1 cuyo origen se ignora pero que fue observado tanto por Ide como por Arenhold/Eckardt. Esto produce incluso un incremento adicional del efecto del espaciotiempo. Las oscilaciones de la inductancia (modeladas mediante 3 MHz) conducen a una estructura fina oscilatoria de la corriente que podría estar en el orden de precisión de las mediciones experimentales. Tal como ya se ha explicado, la amplitud de  $dL/dt$  se limitó artificialmente con el objeto de no distorsionar los resultados. El efecto es un tipo de suavizado de la curva.

Para volver aprovechable el efecto Ide, la conexión debe de repetirse de una manera periódica. Modelamos esta situación conectando y desconectando el voltaje  $U_0$  siguiendo pulsos rectangulares con un ancho de pulso del 95%. Entonces se repite el comportamiento de la Fig. 2, ver la Fig. 3. En las fases de apagado del voltaje la corriente comienza a descender, tal como se esperaba. Caería hasta cero si el voltaje se mantuviese permanentemente desconectado, pero el decremento es mínimo debido a la brevedad del intervalo temporal. En total, se produce una ganancia de corriente de alrededor del 60% al final de la curva. Luego del primer período, la ganancia es de casi 100%, pero con una baja amplitud de corriente. Puede observarse que la corriente adicional (Curva de color verde) ya no crece cuando la curva clásica (color rojo) cambia de un comportamiento lineal a uno exponencial.

En la Fig. 4 la oscilación temporal del modelo de inductancia  $L(t)$  se ha representado gráficamente. La envolvente de la oscilación decrece exponencialmente, pero no cae a cero en el intervalo periódico de tiempo. Las oscilaciones individuales no pueden resolverse debido al nivel de escalamiento.

#### 4. Discusión y conclusiones.

Se ha demostrado que un modelo de circuito con una inductancia variable general buenos resultados para la explicación del efecto Ide. Una estimación analítica aproximada pudo verificarse por simulación, y muestra coincidencia cualitativa con las mediciones. Una

repetición periódica del proceso de encendido y apagado debiera de permitir la extracción de energía a partir del espaciotiempo.

En un estudio previo [8], se demostró la resonancia de un solenoide dependiente del campo. Argumentos sencillos pero bien fundamentados dieron las propiedades materiales, tales como la permeabilidad, como una función parabólica del campo magnético. Mediante simplificaciones razonables, se demostró que las ecuaciones diferenciales parciales parabólicas no lineales se reducían a una ecuación de onda distorsionada, la cual ofrecía soluciones de tipo difusión parabólica, mostrando efectos de amplificación similares a lo observado en este estudio. También se observó comportamiento de heterodinación, correspondiente a la resonancia para la primera onda fija en el núcleo del solenoide. A mayores frecuencias, el campo magnético se vuelve linealmente asintótico en función del tiempo, indicando alguna forma de crecimiento resonante, tal como se indica en este documento.

La belleza del método descrito en este documento, es que el cálculo de propiedades del dispositivo dependientes del campo se separa del cálculo de la resonancia. En lugar de resolver el difícil conjunto de ecuaciones diferenciales hiperbólicas no lineales dependientes del tiempo generadas por el electromagnetismo, resolvemos una ecuación diferencial no lineal individual, tal como la Ec. (6) para el circuito deseado. Uno puede entonces utilizar técnicas de solución de la teoría ECE para diseñar dispositivos específicos que habrían de satisfacer las ecuaciones paramétricas tales como las producidas por la Ec. (12) para este ejemplo específico.

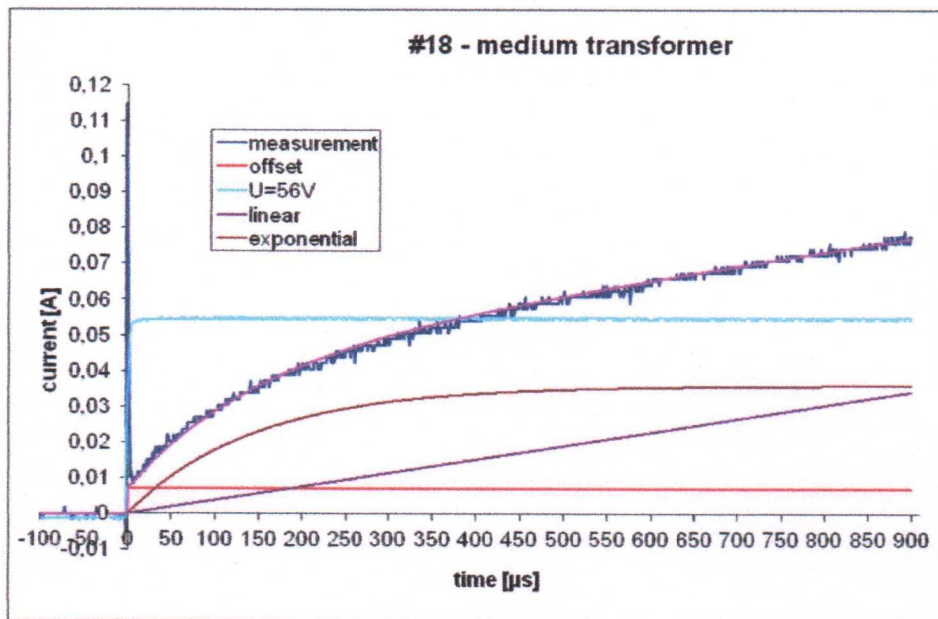


Figura 1: Mediciones del efecto Ide obtenidos de [6].

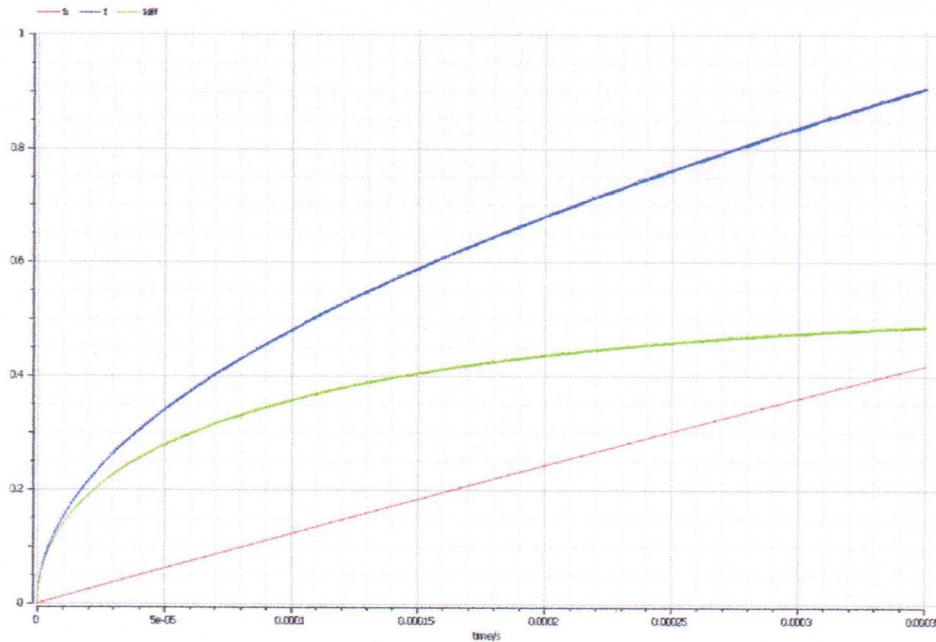


Figura 2: Resultados de simulación. rojo: corriente a partir de la teoría establecida, verde: corriente adicional, azul: corriente total.

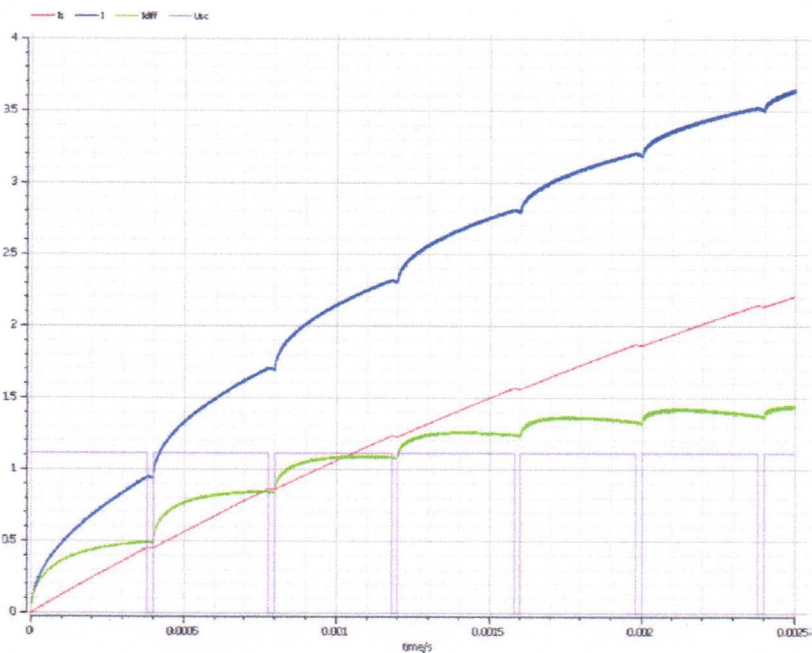


Figura 3: Encendido periódico del dispositivo, en escalones de 400  $\mu$ s. rojo: corriente tradicional, verde: corriente adicional, azul: corriente total, morado: voltaje (escalado).

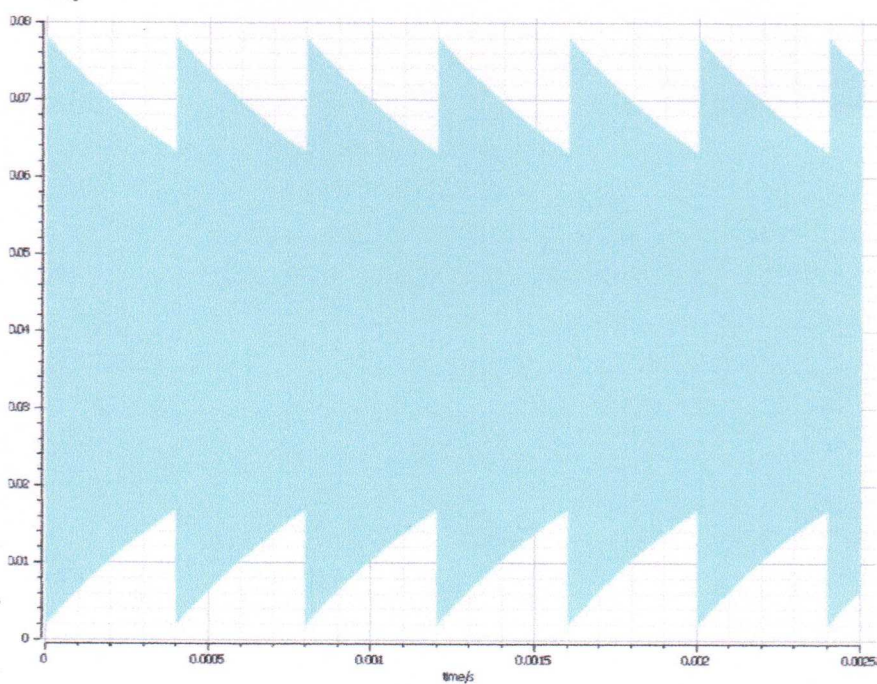


Figura 4: Comportamiento temporal del modelo de inductancia para encendido periódico (oscilando alrededor de 0.04 H).



## Referencias bibliográficas.

- [1] O. Ide, T. Yamazaki, T. Maeza, T. Funabashi, y H. Ichinose, “Consideration of the Cause of Inverter Noise called Ringing”, a publicarse en Proceedings of the ACS Meeting, Denver, 2015.
- [2] O. Ide, T. Yamazaki, T. Maeza, T. Funabashi, y H. Ichinose, “Anomalous Rising of Input Current Induced in the Transformer of Inverter”, a publicarse en Proceedings of the ACS Meeting, Denver, 2015.
- [3] O. Ide, “Characteristics of DC Power Output from an Inverter Driven by Sharp Spike Pulse”, a publicarse en Proceedings of the ACS Meeting, Denver, 2015.
- [4] M. W. Evans, H. Eckardt, C. Hubbard, J. Shelburne, “Spin Connection Resonance in the Bedini Machine”, documento UFT 94 en el portal [www.aias.us](http://www.aias.us) ,
- [5] M. W. Evans, “Generally Covariant Unified Field Theory” (Abramis, Suffolk, 2005 en adelante), volúmenes uno a cinco, también disponible en el portal [www.aias.us](http://www.aias.us) como artículos individuales.
- [6] K. Arenhold, H. Eckardt, “Experimental verification and theoretical explanation of the Osamu Ide experiment”, [www.aias.us](http://www.aias.us) , 2015.
- [7] Openmodelica: open-source Modelica-based modeling and simulation environment, <https://openmodelica.org/>.
- [8] D. W. Lindstrom, H. Eckardt, “Solution of the ECE Metric Equations for the Infinite Solenoid”, [www.aias.us](http://www.aias.us) , 2011.