

Análisis de Estabilidad para Lámparas de HID Utilizando un Modelo no Lineal

R. Osorio, M. A. Oliver, M. Ponce, M. Juárez, V. H. Olivares
 Departamento de Ingeniería Electrónica
 Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET)
 62431, Cuernavaca, Morelos
 Tel. y fax: 01 (777) 318-7741, reneosorios@yahoo.com

Resumen – En este artículo presenta un análisis de estabilidad para lámparas de HID. Este análisis está basado en la observación de la dinámica remanente del sistema. Se utiliza un modelo no lineal de estas lámparas. La lámpara examinada es de halogenuros metálicos (CDM-TD70/830). Para eliminar las resonancias acústicas esta lámpara se alimenta con un balastro electrónico no resonante. Estos balastos pueden comportarse y examinarse como fuentes constantes de: a) tensión, b) corriente, c) potencia. Para obtener el modelo del sistema se utilizó la técnica de Euler-Lagrange. Se muestran simulaciones y resultados experimentales del sistema.

Palabras claves:

Análisis de estabilidad, balastro no resonante, etapa de control, modelo no lineal.

1. INTRODUCCION

Una forma efectiva para eliminar las resonancias acústicas en lámparas de HID es alimentarlas con formas de ondas cuadradas. La mayoría de los balastos electrónicos que alimentan con formas de ondas cuadradas a estas lámparas utilizan un control en lazo cerrado. Este control estabiliza la corriente en la lámpara [1-6]. Un balastro electrónico con un controlador diseñado con estrategias de control no lineal tiene una respuesta dinámica rápida durante un cambio de intensidad luminosa [5-6]. Asimismo estos balastos son robustos ante cambios en la tensión de entrada y ante la variación en los parámetros de los balastos y/o la lámpara.

Un análisis de estabilidad para estos balastos nos informa si el sistema va a funcionar correctamente [7-9]. Este análisis se presentó en [2-4] utilizando un modelo lineal para lámparas de HID. Por lo tanto dicho análisis solo es válido para una región cercana al punto de operación. El comportamiento de una lámpara de HID es no lineal. En consecuencia este análisis no puede predecir la estabilidad del sistema durante un cambio de intensidad luminosa.

En este artículo se presenta un análisis de estabilidad para lámparas de HID basado en el análisis de la dinámica remanente del sistema. El modelo de la lámpara utilizado es no lineal [10]. El modelado del sistema se realizó con la técnica de Euler-Lagrange [8-9]. Este análisis incorpora algunas no linealidades del sistema. Por lo tanto, dicho análisis es más preciso que un análisis de estabilidad con un modelo lineal del sistema [2-3].

Este artículo está organizado de la manera siguiente: En la sección 2 se presenta el análisis de estabilidad para una lámpara de HID alimentada con una fuente constante de tensión. El análisis de de estabilidad para una lámpara de HID

alimentada con una fuente constante de corriente se presenta en la sección 3. En la sección 4 se presenta el análisis de estabilidad para una lámpara de HID alimentada con una fuente constante de potencia. Se presentan simulaciones y resultados experimentales en la sección 5. Finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo de investigación en la sección 6.

2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PARA UNA LÁMPARA DE HID ALIMENTADA CON UNA FUENTE CONSTANTE DE TENSIÓN

En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques de un balastro típico que alimenta con formas de ondas cuadradas a lámparas de HID [2-6]. El convertidor cd-cd puede ser un convertidor Reductor o alguna otra topología (convertidor Reductor-Elevador, Elevador, etc.). Este convertidor estabiliza la corriente en la lámpara y alimenta al inversor. El bus de cd puede ser proporcionado por otro convertidor cd-cd que corrija el factor de potencia.

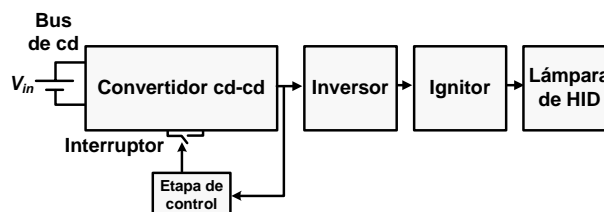


Fig. 1. Diagrama a bloques de un balastro electrónico típico que alimenta con formas de ondas cuadradas a lámparas de HID.

Para evitar la incidencia de las resonancias acústicas, el balastro electrónico (figura 1) alimenta con formas de ondas cuadradas de baja frecuencia (400Hz) a las lámparas de HID. La razón de manejar una lámpara de HID en bajas frecuencias (<4kHz, [1]) es porque es una zona segura, es decir libre de resonancias acústicas. Por otro lado en bajas frecuencia se elimina el efecto de los elementos parásitos. En particular en este trabajo de investigación se analizó una lámpara de HID de halogenuros metálicos de 70W (CDM-TD70/830).

Una lámpara de HID requiere de una alta tensión (≈3.2kV) para encender. El dispositivo de ignición está basado en una red resonante serie (L,C_r). La inductancia L_r está acoplada a otra (L_s) formando un autotransformador. Debido a esto el circuito de ignición tiene una alta capacidad de elevación. En particular para este trabajo de investigación el circuito de ignición genera picos de tensión de aproximadamente 4.5kV.

La secuencia de ignición dura aproximadamente $60\mu s$ (6 pulsos de 100 kHz). Cuando la secuencia de ignición termina la frecuencia cambia a 400 Hz . A esta frecuencia la impedancia la impedancia del inductor es muy baja (en el orden de milésimas de ohms). En forma similar, la impedancia del capacitor es alta (orden de decenas de miles de ohms). Por lo tanto ambas impedancias pueden ser despreciadas.

En la figura 2 se muestra el circuito simplificado para el análisis de estabilidad. El convertidor cd-cd trabaja como una fuente de tensión controlada por tensión.

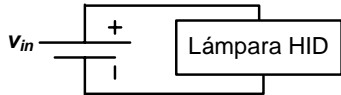


Fig. 2. Circuito simplificado de una lámpara de HID alimentada con una fuente de tensión constante.

La resistencia dinámica no lineal de las lámparas de HID es [6]:

$$R_L(t) = R_{L1}(t) + R_{L2}(t) = \frac{B_1}{q_g(t)} + \frac{B_2}{q_v^2(t)} \quad (1)$$

Donde:

$$R_{L1}(t) = \frac{B_1}{q_g(t)} \quad (2)$$

$$R_{L2}(t) = \frac{B_2}{q_v^2(t)} \quad (3)$$

$$q_g(t) = \frac{T_g(t) - T_v(t)}{R_g} \quad (4)$$

$$q_v(t) = \frac{T_v(t)}{R_v + R_a} \quad (5)$$

$$\frac{dT_g(t)}{dt} = \frac{q_L}{C_g} - \frac{T_g(t) - T_v(t)}{R_g C_g} \quad (6)$$

$$\frac{dT_v(t)}{dt} = \frac{T_g(t) - T_v(t)}{C_v R_g} - \frac{T_v(t)}{C_v (R_v + R_a)} \quad (7)$$

$$q_L(t) = \eta_L p_L(t) \quad (8)$$

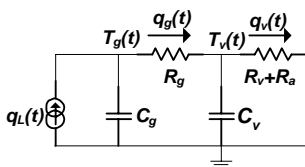


Fig. 3. Circuito eléctrico equivalente de la transferencia de calor en lámparas de HID.

Donde: C_g es la capacitancia térmica del gas de relleno, R_g es la resistencia térmica del gas de relleno, C_v es la capacitancia térmica del vidrio, R_v es la resistencia térmica del vidrio, R_a es la resistencia térmica del medio ambiente,

$T_g(t)$ es la temperatura del gas de relleno,
 $T_v(t)$ es la temperatura del vidrio,
 $q_L(t)$ es el flujo de calor en el centro de la lámpara,
 $q_g(t)$ es el flujo de calor en el gas de relleno,
 $q_v(t)$ es el flujo de calor en el vidrio,
 $p_L(t)$ es la potencia en la lámpara,
 η_L es la relación entre la potencia eléctrica y el flujo de calor,
 B_1, B_2 son constantes.

La potencia en la lámpara es (figura 2):

$$p_L(t) = \frac{V_{in}^2}{R_L(t)} \quad (9)$$

El flujo de calor en el centro de la lámpara es:

$$q_L(t) = \eta_L p_L(t) = \eta_L \frac{V_{in}^2}{R_L(t)} \quad (10)$$

Para simplificar el modelado del sistema se utiliza el dual (figura 4) del circuito de la figura 3.

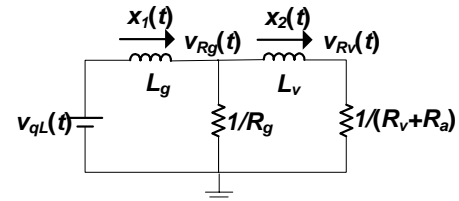


Fig.4. Dual del circuito de la figura 3.

Donde:

$x_1(t)$ es la corriente a través de L_g ,
 $x_2(t)$ es la corriente a través de L_v ,
 $v_{qL}(t)$ es la fuente de tensión relacionada con $q_L(t)$,
 $v_{Rg}(t)$ es la tensión a través de R_g ,
 $v_{Rv}(t)$ es la tensión a través de R_v ,
 $q_{Lg}(t)$ es la coordenada generalizada para el inductor L_g o "la carga del inductor L_g ",
 $q_{Lv}(t)$ es la coordenada generalizada para el inductor L_v or "la carga del inductor L_v ".

Por lo tanto, la resistencia dinámica no lineal de las lámparas de HID se expresa como:

$$R_L = \frac{B_1}{v_{Rg}(t)} + \frac{B_2}{v_{Rv}(t)^2} = \frac{B_1 R_g}{x_1(t) - x_2(t)} + \frac{B_2 (R_v + R_a)^2}{x_2(t)^2} \quad (11)$$

O bien:

$$R_L = \frac{B_1}{v_{Rg}(t)} + \frac{B_2}{v_{Rv}(t)^2} = \frac{B_1 R_g}{\frac{dq_{Lg}(t)}{dt} - \frac{dq_{Lv}(t)}{dt}} + \frac{B_2 (R_v + R_a)^2}{\left(\frac{dq_{Lv}(t)}{dt}\right)^2} \quad (12)$$

Las ecuaciones de Euler-Lagrange para el sistema completo (considerando el circuito dual de la figura 4) son:

La energía total del sistema [8] es:

$$T_{\mu}(\dot{q}_L, \dot{q}_{Lg}) = \frac{1}{2} L \dot{q}_{Lg}^2 + \frac{1}{2} L_g \dot{q}_{Lv}^2 \quad (13)$$

La co-energía total del sistema [8] es:

$$V_{\mu}(q_C) = 0 \quad (14)$$

El co-contenido total del sistema [8] es:

$$D_{\mu}(\dot{q}_{Lg}, \dot{q}_{Lv}) = \frac{1}{2R_g} (\dot{q}_{Lg} - \dot{q}_{Lv})^2 + \frac{1}{2(R_a + R_v)} \dot{q}_{Lv}^2 \quad (15)$$

El flujo de calor aplicado [8] es:

$$F_{Lg}^{\mu} = q_L(t) = \eta p_L(t) = \eta \frac{v_{in}^2}{R_L(t)}, \quad (16)$$

es una fuente dependiente.

Substituyendo (12) en (16):

$$F_{Lg}^{\mu} = q_L(t) = \eta p_L(t) = \eta \frac{v_{in}^2}{\frac{B_1 R_g}{\dot{q}_{Lg}(t) - \dot{q}_{Lv}(t)} + \frac{B_2 (R_v + R_a)}{\dot{q}_{Lv}(t)^2}}, \quad (17)$$

F_{Lg}^{μ} es una fuente dependiente.

y:

$$F_{Lv}^{\mu} = 0 \quad (18)$$

El Lagrangiano [8] es:

$$L_{\mu} = T_{\mu}(\dot{q}_L, \dot{q}_{Lg}) - V_{\mu}(q_C) = \frac{1}{2} L \dot{q}_{Lg}^2 + \frac{1}{2} L_g \dot{q}_{Lv}^2 \quad (19)$$

Las ecuaciones extendidas de Lagrange son [5,8]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L_{\mu}}{\partial \dot{q}_{Lg}} \right) - \frac{\partial L_{\mu}}{\partial q_{Lg}} = - \frac{\partial D_{\mu}}{\partial \dot{q}_{Lg}} + F_{q_{Lg}}^{\mu} \quad (20)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L_{\mu}}{\partial \dot{q}_{Lv}} \right) - \frac{\partial L_{\mu}}{\partial q_{Lv}} = - \frac{\partial D_{\mu}}{\partial \dot{q}_{Lv}} + F_{q_{Lv}}^{\mu} \quad (21)$$

Al evaluar las ecuaciones (20) y (21) resulta el siguiente sistema:

$$L_g \ddot{q}_{Lg} = - \frac{1}{R_g} \dot{q}_{Lg} + \frac{1}{R_g} \dot{q}_{Lv} + \eta \frac{v_{in}^2(t)}{\frac{B_1 R_g}{\dot{q}_{Lg}(t) - \dot{q}_{Lv}(t)} + \frac{B_2 (R_v + R_a)}{\dot{q}_{Lv}(t)^2}} \quad (22)$$

$$L_v \ddot{q}_{Lv} = \frac{1}{R_g} \dot{q}_{Lg} - \frac{(R_a + R_v + R_g)}{(R_a + R_v) R_g} \dot{q}_{Lv} \quad (23)$$

Usando $x_1(t) = \dot{q}_{Lg}(t)$ y $x_2(t) = \dot{q}_{Lv}(t)$ se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\dot{x}_1(t) = - \frac{1}{L_g R_g} x_1(t) + \frac{1}{L_g R_g} x_2(t) + \frac{\eta}{L_g} \frac{v_{in}^2(t)}{\frac{B_1 R_g}{x_1(t) - x_2(t)} + \frac{B_2 (R_v + R_a)}{x_2(t)^2}} \quad (24)$$

$$\dot{x}_2(t) = \frac{1}{L_v R_g} x_1(t) - \frac{(R_a + R_v + R_g)}{L_v (R_a + R_v)} x_2(t) \quad (25)$$

Si $x_2(t)$ es la salida, entonces la ecuación que describe “la dinámica remanente” es:

$$E_1 \dot{x}_2(t)^2 + E_2 \dot{x}_2(t) + E_3 = 0 \quad (26)$$

Donde:

$$E_1 = -B_2 L_v (R_v + R_a)^2 (R_g L_g + (R_a + R_v) L_g + (R_a + R_v) L_v) \quad (27)$$

$$E_2 = (-R_g L_g B_1 - (R_a + R_v) (-L_g B_1 + v_{in}^2 \eta L_v - L_v B_1)) x_2(t)^2 \quad (28)$$

$$E_3 = ((R_a + R_v)^2 (-B_2 L_g - 2L_v B_2) - (R_a + R_v) R_g L_g B_2) x_2(t) + (-B_1 + \eta v_{in}^2) x_2(t)^3 - B_2 (R_a + R_v) x_2(t)^2 \quad (29)$$

Los puntos de equilibrio de (26) son:

$$x_2(t) = 0 \quad (30)$$

$$x_2(t) = - \frac{B_2 (R_a + R_v)}{B_1 - \eta v_{in}^2} \quad (31)$$

El plano-fase obtenido al graficar (26), véase la figura figure 6, revela que los puntos de equilibrio son inválidos o inestables.

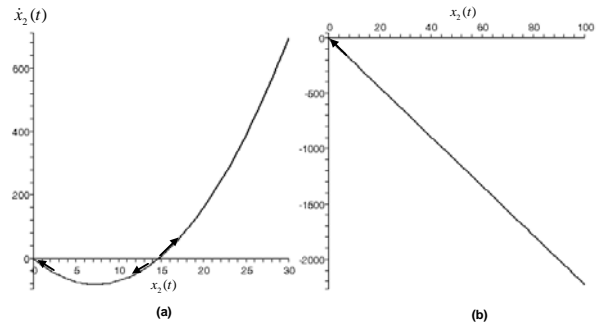


Fig. 6. Dinámica cero para una lámpara de HID alimentada con una fuente de tensión constante.

3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PARA UNA LÁMPARA DE HID ALIMENTADA CON UNA FUENTE CONSTANTE DE CORRIENTE

En la figura 7 se muestra el circuito simplificado para el análisis de estabilidad. El convertidor cd-cd trabaja como una fuente de corriente [5].

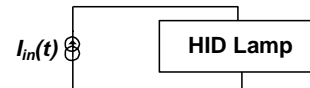


Fig. 7. Circuito simplificado de una lámpara de HID alimentada con una fuente de corriente constante.

Las ecuaciones de Euler-Lagrange para el sistema completo (considerando el circuito dual de la figura 4) son:

La energía total del sistema [8] es:

$$T_{\mu}(\dot{q}_L, \dot{q}_{Lg}) = \frac{1}{2} L \dot{q}_{Lg}^2 + \frac{1}{2} L_g \dot{q}_{Lv}^2 \quad (32)$$

La co-energía total del sistema [8] es:

$$V_{\mu}(q_C) = 0 \quad (33)$$

El co-contenido total del sistema [8] es:

$$D_{\mu}(\dot{q}_{Lg}, \dot{q}_{Lv}) = \frac{1}{2R_g} (\dot{q}_{Lg} - \dot{q}_{Lv})^2 + \frac{1}{2(R_a + R_v)} \dot{q}_{Lv}^2 \quad (34)$$

El flujo de calor aplicado [8] es:

$$F_{Lg}^{\mu} = q_L(t) = \eta p_L(t) = \eta I_m^2 R_L(t), \quad (35)$$

es una fuente dependiente.

Substituyendo (12) en (16):

$$F_{Lg}^{\mu} = q_L(t) = \eta p_L(t) = \eta I_m^2 \left(\frac{B_1 R_g}{\dot{q}_{Lg}(t) - \dot{q}_{Lv}(t)} + \frac{B_2 (R_v + R_a)^2}{\dot{q}_{Lv}(t)^2} \right), \quad (36)$$

es una fuente dependiente.

y:

$$F_{Lv}^{\mu} = 0 \quad (37)$$

El Lagrangiano [8] es:

$$L_{\mu} = T_{\mu}(\dot{q}_L, \dot{q}_{Lg}) - V_{\mu}(q_C) = \frac{1}{2} L \dot{q}_{Lg}^2 + \frac{1}{2} L_g \dot{q}_{Lv}^2 \quad (38)$$

Las ecuaciones extendidas de Lagrange son [5,8]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L_{\mu}}{\partial \dot{q}_{Lg}} \right) - \frac{\partial L_{\mu}}{\partial q_{Lg}} = - \frac{\partial D_{\mu}}{\partial \dot{q}_{Lg}} + F_{q_{Lg}}^{\mu} \quad (39)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L_{\mu}}{\partial \dot{q}_{Lv}} \right) - \frac{\partial L_{\mu}}{\partial q_{Lv}} = - \frac{\partial D_{\mu}}{\partial \dot{q}_{Lv}} + F_{q_{Lv}}^{\mu} \quad (40)$$

La evaluación de (39) y (40) resulta el siguiente sistema:

$$L_g \ddot{q}_{Lg} = - \frac{1}{R_g} \dot{q}_{Lg} + \frac{1}{R_g} \dot{q}_{Lv} + \eta I_m^2 \left(\frac{B_1 R_g}{\dot{q}_{Lg}(t) - \dot{q}_{Lv}(t)} + \frac{B_2 (R_v + R_a)^2}{\dot{q}_{Lv}(t)^2} \right) \quad (41)$$

$$L_v \ddot{q}_{Lv} = \frac{1}{R_g} \dot{q}_{Lg} - \frac{(R_a + R_v + R_g)}{(R_a + R_v) R_g} \dot{q}_{Lv} \quad (42)$$

Usando $x_1(t) = \dot{q}_{Lg}(t)$ y $x_2(t) = \dot{q}_{Lv}(t)$ se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\dot{x}_1(t) = - \frac{1}{L_g R_g} x_1(t) + \frac{1}{L_g R_g} x_2(t) + \frac{1}{L_g} \eta I_m^2 \left(\frac{B_1 R_g}{x_1(t) - x_2(t)} + \frac{B_2 (R_v + R_a)^2}{x_2(t)^2} \right) \quad (43)$$

$$\dot{x}_2(t) = \frac{1}{L_v R_g} x_1(t) - \frac{(R_a + R_v + R_g)}{L_v (R_a + R_v) R_g} x_2(t) \quad (44)$$

Si $x_2(t)$ es la salida, entonces la ecuación que describe “la dinámica remanente” es:

$$E_1 \dot{x}_2(t)^2 + E_2 \dot{x}_2(t) + E_3 = 0 \quad (45)$$

Donde:

$$E_1 = -L_v \left((R_v + R_a)^2 (L_v + L_g) + L_g R_g (R_v + R_a) \right) x_2(t)^2 \quad (46)$$

$$E_2 = - \left((L_g + 2L_v) (R_a + R_v) + R_g L_g \right) x_2(t)^3 + L_v (R_a + R_v)^4 \eta I_m^2(t)^2 B_2 \quad (47)$$

$$E_3 = -x_2(t)^4 + (R_a + R_v)^2 \eta I_m^2(t) B_1 x_2(t)^2 + (R_a + R_v)^3 \eta I_m^2(t) B_2 x_2(t) \quad (48)$$

Los puntos de equilibrio de (45) son:

$$x_2(t)^3 - (R_a + R_v)^2 \eta I_m^2(t) B_1 x_2(t) - \eta I_m^2(t)^2 B_2 (R_a + R_v)^3 = 0 \quad (49)$$

El plano-fase obtenido al graficar(45), véase la figura 8, revela que el único punto válido es estable.

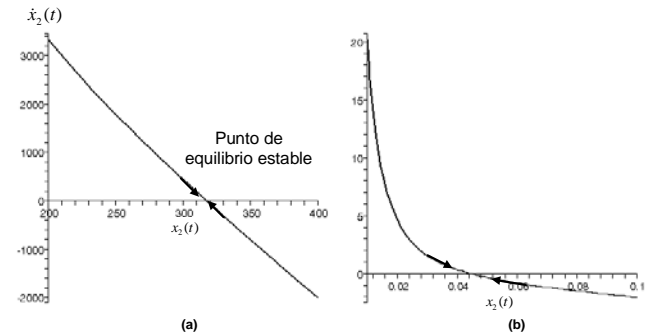


Fig. 8. Dinámica cero para una lámpara de HID alimentada con una fuente de corriente constante.

4. ANALISIS DE ESTABILIDAD PARA UNA LAMPARA DE HID ALIMENTADA CON UNA FUENTE DE POTENCIA CONSTANTE

En la figura 9 se muestra el circuito simplificado para el análisis de estabilidad. El convertidor cd-cd trabaja como una fuente de potencia [5].

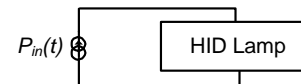


Fig. 9. Circuito simplificado de una lámpara de HID alimentada con una fuente de potencia constante.

Las ecuaciones de Euler-Lagrange para el sistema completo (considerando el circuito dual de la figura 10) son:

La energía total del sistema [8] es:

$$T_{\mu}(\dot{q}_L, \dot{q}_{Lv}) = \frac{1}{2} L \dot{q}_{Lg}^2 + \frac{1}{2} L_g \dot{q}_{Lv}^2 \quad (50)$$

La co-energía total del sistema [8] es:

$$V_{\mu}(q_C) = 0 \quad (51)$$

El co-contenido total del sistema [8] es:

$$D_{\mu}(\dot{q}_{Lg}, \dot{q}_{Lv}) = \frac{1}{2R_g} (\dot{q}_{Lg} - \dot{q}_{Lv})^2 + \frac{1}{2(R_a + R_v)} \dot{q}_{Lv}^2 \quad (52)$$

El flujo de calor aplicado [8] es:

$$F_{L_g}^{\mu} = q_L(t) = \eta p_L(t) = \eta P_m, \quad (53)$$

es una fuente dependiente.

y:

$$F_{L_v}^{\mu} = 0 \quad (54)$$

El Lagrangiano [8] es:

$$L_{\mu} = T_{\mu}(\dot{q}_L, \dot{q}_{L_g}) - V_{\mu}(q_C) = \frac{1}{2} L \dot{q}_{L_g}^2 + \frac{1}{2} L_g \dot{q}_{L_v}^2 \quad (55)$$

Las ecuaciones extendidas de Lagrange son [5,8]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L_{\mu}}{\partial \dot{q}_{L_g}} \right) - \frac{\partial L_{\mu}}{\partial q_{L_g}} = - \frac{\partial D_{\mu}}{\partial \dot{q}_{L_g}} + F_{q_{L_g}}^{\mu} \quad (56)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L_{\mu}}{\partial \dot{q}_{L_v}} \right) - \frac{\partial L_{\mu}}{\partial q_{L_v}} = - \frac{\partial D_{\mu}}{\partial \dot{q}_{L_v}} + F_{q_{L_v}}^{\mu} \quad (57)$$

La evaluación de (58) y (59) resulta el siguiente sistema:

$$L_g \ddot{q}_{L_g} = - \frac{1}{R_g} \dot{q}_{L_g} + \frac{1}{R_g} \dot{q}_{L_v} + \eta P_m \quad (58)$$

$$L_v \ddot{q}_{L_v} = \frac{1}{R_g} \dot{q}_{L_g} - \frac{(R_a + R_v + R_g)}{(R_a + R_v) R_g} \dot{q}_{L_v} \quad (59)$$

Usando $x_1(t) = \dot{q}_{L_g}(t)$ y $x_2(t) = \dot{q}_{L_v}(t)$ se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\dot{x}_1(t) = - \frac{1}{L_g R_g} x_1(t) + \frac{1}{L_g R_g} x_2(t) + \frac{1}{L_g} \eta P_m \quad (60)$$

$$\dot{x}_2(t) = \frac{1}{L_v R_g} x_1(t) - \frac{(R_a + R_v + R_g)}{L_v (R_a + R_v) R_g} x_2(t) \quad (61)$$

Si $x_2(t)$ es la salida, entonces la ecuación que describe “la dinámica remanente” es:

$$-((L_v + L_g)(R_v + R_a) + L_g R_g) \dot{z}_2 + (R_v + R_a) \eta P_m = 0 \quad (62)$$

Los puntos de equilibrio de (45) son:

$$z_2 = \eta P_m (R_a + R_v) \quad (63)$$

El plano-fase obtenido al graficar (62), véase la figura 10, revela que el único punto válido es estable.

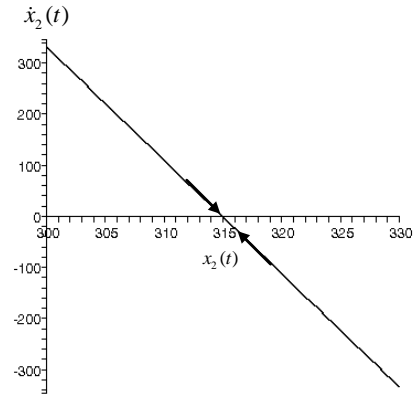


Fig. 10. Dinámica cero para una lámpara de HID alimentada con una fuente de potencia constante.

5. SIMULACIONES Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se probó una lámpara de HID (CDM-TD70/830, philips) con los siguientes parámetros: $P_{in} = 70W$, $V_{in}(t) = 90V$, $I_{in} = 0.777A$.

En la figura 11, se muestran las simulaciones de una lámpara de HID alimentada con una fuente constante de tensión, véase la figura 2. Se muestran la tensión de entrada (V_{in}), la corriente en la lámpara ($I_L(t)$) y $x_2(t)$. Se observa que el sistema es inestable, es decir $x_2(t)$ se incrementa en forma indiscriminada.

En la figura 12, se muestran las simulaciones de una lámpara de HID alimentada con una fuente constante de corriente, véase la figura 7. Se muestran la corriente de entrada (I_{in}), la tensión en la lámpara y $x_2(t)$. Se observa que el sistema es estable, es decir $x_2(t)$ converge hacia el punto de operación válido.

En la figura 13, se muestran las simulaciones de una lámpara de HID alimentada con una fuente constante de potencia, figura 9, véase la figura 2. Se muestran la potencia de entrada (P_{in}), la corriente en la lámpara ($I_L(t)$) y $x_2(t)$. Se observa que el sistema es estable, es decir $x_2(t)$ converge hacia el punto de operación válido.

En la figura 14, se muestran resultados experimentales de un balastro electrónico no resonante (véase la figura 15) que trabaja como una fuente de corriente. Se observa que el sistema es estable, es decir $I_L(t)$ converge hacia el punto de operación válido.

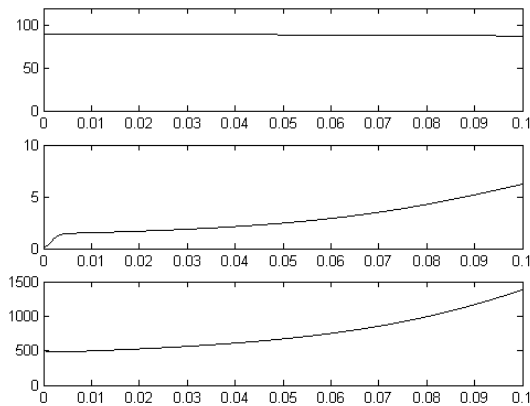


Fig. 11. Simulaciones de una lámpara de HID alimentada con una fuente de tensión constante: de arriba hacia abajo, V_m , $I_L(t)$, $x_2(t)$.

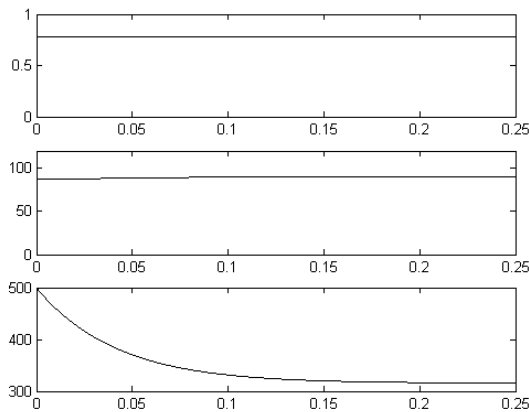


Fig. 12. Simulaciones de una lámpara de HID alimentada con una fuente de corriente constante: de arriba hacia abajo, I_m , $V_L(t)$, $x_2(t)$.

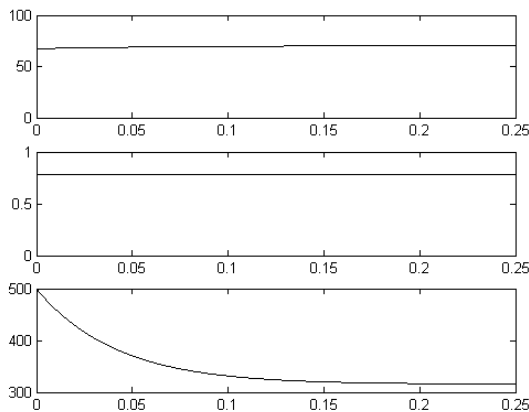


Fig. 13. Simulaciones de una lámpara de HID alimentada con una fuente de potencia constante: de arriba hacia abajo, P_m , $I_L(t)$, $x_2(t)$.

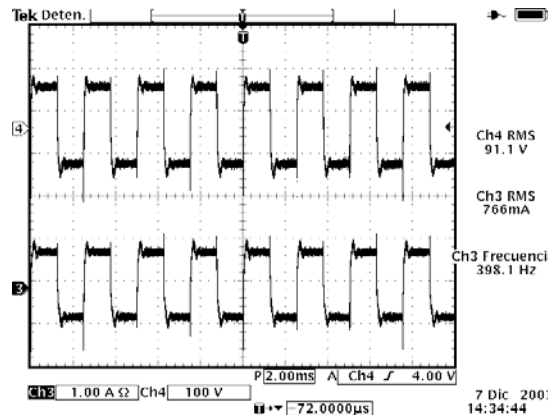


Figure 14. Resultados experimentales de un balastro electrónico que trabaja como una fuente de corriente constante: las formas de ondas fueron tomadas a potencia nominal (70W): Tensión en la lámpara (arriba) y corriente en la lámpara (abajo).

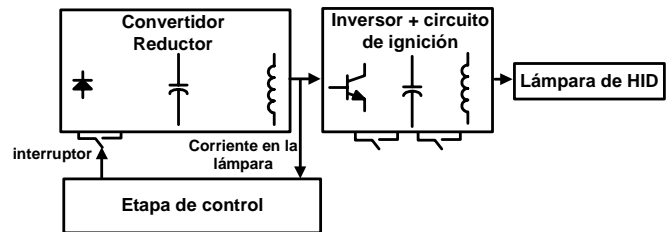


Fig.15. Balastro no resonante trabajando como una fuente de corriente constante.

6. CONCLUSIONES

Se presento un análisis de estabilidad para lámparas de HID basado en el análisis de la dinámica remanente. Se analizaron tres casos, en los cuales se alimentaba a la lámpara con: a) fuente de tensión constante, b) una fuente de corriente constante, c) una fuente potencia constante. Se utilizo un modelo dinámico no lineal para lámparas de HID. El análisis incluye no linealidades del sistema por lo tanto es mas preciso que un análisis con la metodología clásica de control. Los resultados del análisis concuerdan con los resultados de simulación y experimentales, por lo tanto dicho análisis es útil para el diseño de balastros no resonantes.

La estabilidad del sistema es inestable si la lámpara se alimenta con una fuente constante de tensión. Para los otros dos casos (fuente de corriente y potencia constante) el sistema es estable.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT) y el consejo nacional de educación y tecnología (COSNET), México.

REFERENCIAS

- [1] J. J. Groot and J. A. J. M. Van Vliet, "**The high-pressure sodium lamp**", Editorial Macmillan Education, 1986.
- [2] E. Deng, "**I. Negative incremental impedance of fluorescent lamp**", Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, 1995.
- [3] E. Deng and S. Cuk, "**Negative incremental impedance and stability of fluorescent lamp**", Applied Power Electronic Conference, APEC'97, pp. 1050-1056.
- [4] Ribas, J., Alonso, J.M., Calleja, A.J., Lopez, E., Cardesin, J., Garcia, J., Rico, M., "**Arc stabilization in low-frequency square-wave electronic ballast for metal halide lamps**", Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '03, pps: 1179 -1184.
- [5] R. Osorio, M. Ponce, M. A. Oliver, "**ANALYSIS AND DESIGN OF A DIMMING CONTROL USING SLIDING MODE CONTROL STRATEGY FOR ELECTRONIC BALLAST FREE OF ACOUSTIC RESONANCES**", IEEE Applied Power Electronic Conference, APEC-04.
- [6] R. Osorio, M. Ponce, M. A. Oliver, "**Control por Modos Deslizantes en Corriente Aplicado a un Balastro Electrónico Libre de Resonancias Acústicas**", Congreso Latinoamericano de Control Automático, CLCA'04, a presentarse en Mayo.
- [7] A. Isidori, "**Nonlinear Control Systems**", Springer Verlag, London, Ltd., 1995, chapter 1.
- [8] R. Ortega, A. Loria, J. Nicklasson, H. Sira-Ramirez, "**Passivity-Based Control of Euler-Lagrange System**", Springer Verlag, London, Ltd., 1998, chapter 1.
- [9] H. Sira-Ramirez, R. A. Perez-Moreno, R. Ortega, G. Esteban, "**Passivity-Based Controllers for the Stabilization of DC-to-DC Power Converter**", Conference on decision and Control, pp: 3471 –3476.
- [10] R. Osorio, M. Ponce, M. A. Oliver, "**Simplified Thermal-Electric Dynamic Model for HID lamps**", Power Electronics Specialists Conference, PESC'04, to be presented in June, 2004.
- [11] P.E. Wellstead, "**Introducing to Physical System Modeling**", Academic Press' 1979.