

ANEXO:

***Cálculos Matemáticos: Programas de
MATHCAD***

Índice

A.1	INTRODUCCIÓN	A-3
A.2	PROGRAMAS DE MATHCAD	A-4
A.2.1	CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LAS FRECUENCIAS PROPIAS DE RESONANCIAS ACÚSTICAS EN LÁMPARAS DE DESCARGA	A-4
A.2.2	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE FRECUENCIA Y CICLO DE TRABAJO (FREC-DUTY)	A-14
A.2.3	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR EL INTERRUPTOR Y TIEMPO DE APAGADO ($I_{LMAX}-T_{OFF}$)	A-19
A.2.4	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA Y TIEMPO DE APAGADO ($I_{LMAX}-T_{OFF}$)	A-25
A.2.5	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA Y RIZADO DE CORRIENTE POR LA BOBINA ($I_{LMAX}-\Delta I_L$)	A-31
A.2.6	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR EL INTERRUPTOR Y TIEMPO DE APAGADO ($I_{LMAX}-T_{OFF}$), VARIANDO LOS PARÁMETROS DE CONTROL EN FUNCIÓN DE LA CARGA EQUIVALENTE QUE PRESENTA LA LÁMPARA.	A-37
A.2.7	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 2 INTERRUPTORES, CONTROLADO MEDIANTE FRECUENCIA (FREC)	A-43
A.2.8	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 2 INTERRUPTORES, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA (I_{LMAX})	A-49
A.2.9	ANÁLISIS DEL INVERSOR DE 2 INTERRUPTORES, CONTROLADO MEDIANTE CORRIENTE MÁXIMA POR LA BOBINA (I_{LMAX}), VARIANDO LOS PARÁMETROS DE CONTROL EN FUNCIÓN DE LA CARGA EQUIVALENTE QUE PRESENTA LA LÁMPARA.	A-55

A.1 INTRODUCCIÓN

Para la realización de la presente tesis doctoral, se han elaborado diversos programas de cálculo numérico, mediante el entorno informático MATHCAD de diseño matemático. Estos programas se presentan a continuación.

El primero de estos programas, calcula una aproximación de la situación, en el espectro de potencias, de las frecuencias propias de resonancias acústicas en lámparas de descarga.

Los demás programas permiten la comparación y análisis teórico de los diversos inversores que se han propuesto en el capítulo 5. Estos programas son:

- ❑ Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante frecuencia y ciclo de trabajo (Frec-Duty)
- ❑ Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante corriente máxima por el interruptor y tiempo de apagado ($I_{MAX}-T_{OFF}$)
- ❑ Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante corriente máxima por la bobina y tiempo de apagado ($I_{LMAX}-T_{OFF}$)
- ❑ Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante corriente máxima por la bobina y rizado de corriente por la bobina ($I_{LMAX}-\Delta I_L$)
- ❑ Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante corriente máxima por el interruptor y tiempo de apagado ($I_{MAX}-T_{OFF}$), variando los parámetros de control en función de la carga equivalente que presenta la lámpara.

- ❑ Análisis del inversor de 2 interruptores, controlado mediante frecuencia (Frec)
- ❑ Análisis del inversor de 2 interruptores, controlado mediante corriente máxima por la bobina (I_{LMAX})
- ❑ Análisis del inversor de 2 interruptores, controlado mediante corriente máxima por la bobina (I_{LMAX}), variando los parámetros de control en función de la carga equivalente que presenta la lámpara.

A.2 PROGRAMAS DE MATHCAD

A.2.1 Cálculo de la Distribución Espectral de las Frecuencias Propias de Resonancias Acústicas en Lámparas de Descarga

Resonancias Acústicas:

Ecuación de onda simplificada para un fluido perfecto, isotrópico, compresible.

$$\nabla^2 p = \frac{1}{C^2} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (\text{ec. 1})$$

$\text{grad } p = 0$ condición de contorno

Donde p es presión, t tiempo,

y C es la velocidad del sonido:

$$C = \sqrt{\frac{c_p R_g T}{c_v M_g}} \quad (\text{ec. 2})$$

c_p : calor específico a presión constante de gas monoatómico ideal
a presión constante

volumen constante

R_g : constante universal de los gases ideales

M_g : masa molar del gas

T : temperatura

TUBO CILÍNDRICO

sea tubo cilíndrico. Si el diámetro del tubo es del orden de la longitud del mismo, puede emplearse el concepto de Temperatura efectiva.

coordenadas cilíndricas:

r = radio

φ = ángulo

z = altura

En coordenadas cilíndricas, la solución viene dada por

$$p \cong \cos(m\varphi) \cos\left(\frac{\omega_z z}{C}\right) J_m\left(\frac{\omega_r r}{C}\right) e^{-2\pi i f t} \quad (\text{ec. 3})$$

con

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\omega_z^2 + \omega_r^2} \quad (\text{ec. 4})$$

$$\frac{1}{z} \cos(m \cdot \varphi) \cdot \cos\left(\frac{\omega Z \cdot z}{c}\right) \cdot J_n\left(m, \frac{\omega r \cdot r}{c}\right) \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot i \cdot f \cdot t}$$

$$0 := -\cos(m \cdot \varphi) \cdot \sin\left(\omega Z \cdot \frac{z}{c}\right) \cdot \frac{\omega Z}{c} \cdot J_n\left(m, \omega r \cdot \frac{r}{c}\right) \cdot \exp(-2 \cdot i \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

se cumple siempre en $z=0$. Igualando para $z=L$, se tiene:

$$\omega Z \cdot \frac{L}{c} := nZ \cdot \pi \quad (\text{ec. 5})$$

donde nZ es un número entero.

En cuanto al radio, derivando (ec.3) respecto al radio se tiene que:

$$\frac{d}{dr} \cos(m \cdot \varphi) \cdot \cos\left(\frac{\omega Z \cdot z}{c}\right) \cdot J_n\left(m, \frac{\omega r \cdot r}{c}\right) \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot i \cdot f \cdot t} := 0$$

$$0 := \frac{d}{dr} \cdot J_n\left(m, \omega r \cdot \frac{r}{c}\right)$$

es decir, se trata de hallar los ceros de la derivada de la función de Bessel de orden m .

igualando en $r=R$, se tiene que

$$\omega r \cdot \frac{R}{c} := \pi \cdot \alpha_{mn} \quad (\text{ec.6})$$

donde α_{mn} es la n -ésima solución que hace cero el valor de la derivada de la función de Bessel de m orden.

CALCULO DE $\alpha m n$

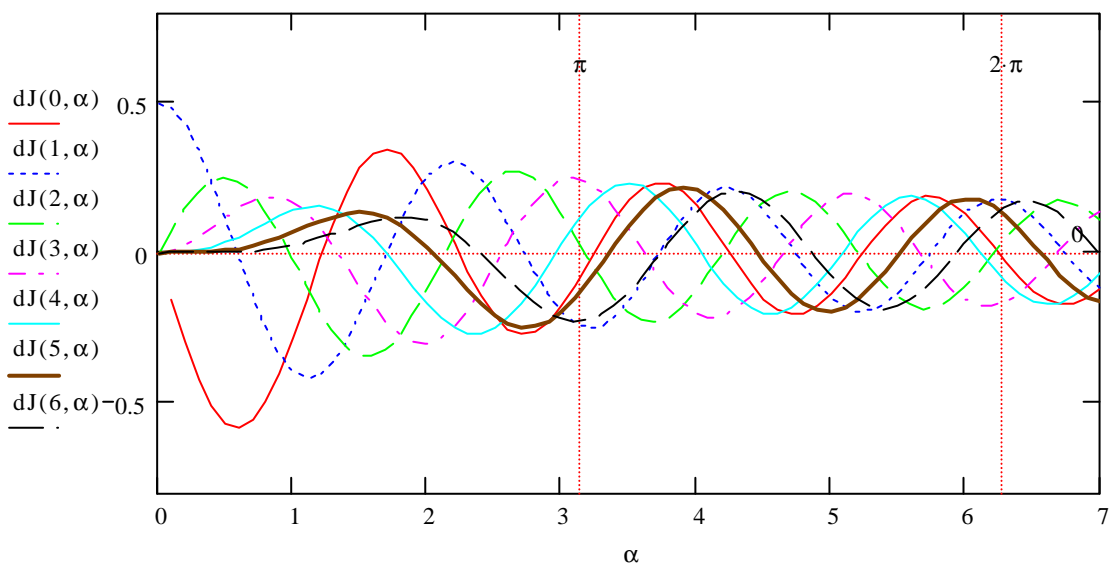
$$J(m, \alpha) := \sum_{k=0}^{20} \frac{(-1)^k}{(k+m)! \cdot k!} \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right)^{m+2 \cdot k} \quad \text{función de Bessel de orden } m$$

$$dJ\pi(m, \alpha) := \sum_{k=0}^{30} \frac{(-1)^k \cdot (m+2 \cdot k)}{(k+m)! \cdot k! \cdot 2^m \cdot 4^k} \cdot \alpha^{m+2 \cdot k-1}$$

derivada de la función de Bessel de orden m

$$dJ(m, \alpha) := dJ\pi(m, \alpha \cdot \pi)$$

$$\alpha := 0, 0.1..20$$



Los ceros de la derivada de Bessel pueden calcularse como

$$m := 0, 1 \dots 6 \quad pc := \pi$$

$$\begin{aligned}
 A0(n) &:= \left| \begin{array}{l} a \leftarrow 0 \\ \text{for } d \in 0, 1 \dots n \\ \quad \left| \begin{array}{l} \beta \leftarrow \frac{\pi \cdot (d + 0.25)}{pc} \\ \text{soluc}\alpha \leftarrow \text{root}(dJ(0, \beta), \beta) \\ a \leftarrow \text{soluc}\alpha \end{array} \right. \end{array} \right| a \\
 A1(n) &:= \left| \begin{array}{l} a \leftarrow 0 \\ \text{for } d \in 0, 1 \dots n \\ \quad \left| \begin{array}{l} \beta \leftarrow \frac{\pi \cdot (d + 1)}{pc} \\ \text{soluc}\alpha \leftarrow \text{root}(dJ(1, \beta), \beta) \\ a \leftarrow \text{soluc}\alpha \end{array} \right. \end{array} \right| a \\
 A2(n) &:= \left| \begin{array}{l} a \leftarrow 0 \\ \text{for } d \in 0, 1 \dots n \\ \quad \left| \begin{array}{l} \beta \leftarrow \frac{\pi \cdot (d)}{pc} \\ \text{soluc}\alpha \leftarrow \text{root}(dJ(2, \beta), \beta) \\ a \leftarrow \text{soluc}\alpha \end{array} \right. \end{array} \right| a \\
 A3(n) &:= \left| \begin{array}{l} a \leftarrow 0 \\ \text{for } d \in 0, 1 \dots n \\ \quad \left| \begin{array}{l} \beta \leftarrow \frac{\pi \cdot (d) \cdot 1.1}{pc} \\ \text{soluc}\alpha \leftarrow \text{root}(dJ(3, \beta), \beta) \\ a \leftarrow \text{soluc}\alpha \end{array} \right. \end{array} \right| a \\
 A4(n) &:= \left| \begin{array}{l} a \leftarrow 0 \\ \text{for } d \in 0, 1 \dots n \\ \quad \left| \begin{array}{l} \beta \leftarrow \frac{\pi \cdot (d + 0.5) \cdot 1.1}{pc} \\ \text{soluc}\alpha \leftarrow \text{root}(dJ(4, \beta), \beta) \\ a \leftarrow \text{soluc}\alpha \end{array} \right. \end{array} \right| a \\
 A5(n) &:= \left| \begin{array}{l} a \leftarrow 0 \\ \text{for } d \in 0, 1 \dots n \\ \quad \left| \begin{array}{l} \beta \leftarrow \frac{\pi \cdot (d + 1) \cdot 1.1}{pc} \\ \text{soluc}\alpha \leftarrow \text{root}(dJ(5, \beta), \beta) \\ a \leftarrow \text{soluc}\alpha \end{array} \right. \end{array} \right| a
 \end{aligned}$$

$$n := 0, 1 \dots 5$$

A0(n) =	A1(n) =	A2(n) =	A3(n) =	A4(n) =	A5(n) =
0	0.586	0	0	0.142	0.271
1.219	1.697	0.972	1.337	1.694	2.042
2.233	2.717	2.135	2.552	2.954	3.349
3.238	3.726	3.173	3.612	4.036	4.452
4.241	4.731	4.192	4.643	5.081	5.511
5.243	5.734	5.203	5.662	6.111	6.549

$$\alpha_{0,n} := A0(n) \quad \alpha_{1,n} := A1(n) \quad \alpha_{2,n} := A2(n) \quad \alpha_{3,n} := A3(n) \quad \alpha_{4,n} := A4(n)$$

$$\alpha_{5,n} := A5(n)$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0 & 1.219 & 2.233 & 3.238 & 4.241 & 5.243 \\ 0.586 & 1.697 & 2.717 & 3.726 & 4.731 & 5.734 \\ 0 & 0.972 & 2.135 & 3.173 & 4.192 & 5.203 \\ 0 & 1.337 & 2.552 & 3.612 & 4.643 & 5.662 \\ 0.142 & 1.694 & 2.954 & 4.036 & 5.081 & 6.111 \\ 0.271 & 2.042 & 3.349 & 4.452 & 5.511 & 6.549 \end{pmatrix}$$

en la matriz α se encuentran los valores de las n -ésimas soluciones de la derivada de la función de Bessel de m -ésimo orden.

Representación de Frecuencias Propias en el Espectro en Frecuencia

NMAX1 := 4 Número de resonancias hasta donde alcanza el segmento "PRINCIPAL"

NMAX := 5 Número máximo de ordenes permitidos (máximo 5)

$n_z := 0, 1 \dots NMAX$ n_z : Orden de la Resonancia

$n := 0, 1 \dots NMAX$ n : Número de Círculos Nodales

$m := 0, 1 \dots NMAX$ m : Número de Diámetros Nodales

Dimensiones del tubo (se introducen en milímetros)

$L_r := 12 \text{ mm}$

$R_r := 2.0 \text{ mm}$

$$L := \frac{L_r}{1000} \text{ m}$$

$$D := \frac{2 \cdot R_r}{1000} \quad R := \frac{R_r}{1000}$$

$$R = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = 0.012 \text{ m}$$

$$D = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

_____cálculos auxiliares (la velocidad del sonido empírica es de 500 m/s)_____

Si no se dispone de datos termodinámicos, puede asumirse que la velocidad del sonido es de unos 500 m/s

$$c := 500 \text{ m/s}$$

$$f(m, n, n_z) := \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{n_z}{L}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_{m,n}}{R}\right)^2}$$

$$f(1, 0, 0) \cdot 10^{-3} = 73.26 \quad \text{kHz} \quad \text{FRECUENCIA BÁSICA AZIMUTAL}$$

$$f(0, 1, 0) \cdot 10^{-3} = 152.398 \quad \text{kHz} \quad \text{FRECUENCIA BÁSICA RADIAL}$$

$$f(0, 0, 1) \cdot 10^{-3} = 20.833 \quad \text{kHz} \quad \text{FRECUENCIA BÁSICA LONGITUDINAL}$$

Escoger una condición para representar resonancias:

$$\text{cond1}(m, n, n_z) := (m \leq NMAX1) \cdot (n \leq NMAX1) \cdot (n_z \leq NMAX1)$$

modos del (0,0,0) al (NMAX1,NMAX1,NMAX1), pasando por cualquier valor intermedio

$$\text{cond2}(m,n,nz) := (m + n + nz = 1)$$

modos principales (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1)

$$\text{cond3}(m,n,nz) := m + n + nz = \text{NMAX1}$$

modos principales y múltiplos hasta NMAX1 [(1,0,0)
a (NMAX1,0,0), (0,1,0) a (0,NMAX1,0), (0,0,1) a
(0,0,NMAX1)]

$$\text{fprin}(m,n,nz) := \begin{cases} (f(m,n,nz)) & \text{if } \text{cond2}(m,n,nz) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{fmen}(m,n,nz) := \begin{cases} (f(m,n,nz)) & \text{if } \text{cond3}(m,n,nz) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

operaciones auxiliares

$$F := (\text{NMAX} + 1)^3 - 1 \quad g := 0, 1 \dots F \quad \text{func}(m,n,nz) := nz + 6 \cdot n + 6^2 \cdot m$$

$$\text{coord1}(Z) := \text{floor} \left[\frac{Z}{(\text{NMAX} + 1)^2} \right] \quad \text{coord2}(Z) := \text{floor} \left[\frac{Z - \text{coord1}(Z) \cdot (\text{NMAX} + 1)^2}{\text{NMAX} + 1} \right]$$

$$\text{coord3}(Z) := \text{floor} \left[Z - \left[\text{coord1}(Z) \cdot (\text{NMAX} + 1)^2 \right] - \text{coord2}(Z) \cdot (\text{NMAX} + 1) \right]$$

$$\text{FREQ}(g) := f(\text{coord2}(g), \text{coord1}(g), \text{coord3}(g))$$

$$\text{FPRIN}(g) := \text{fprin}(\text{coord2}(g), \text{coord1}(g), \text{coord3}(g))$$

$$\text{FRMIN}(g) := \text{fmen}(\text{coord2}(g), \text{coord1}(g), \text{coord3}(g))$$

ESPECTRO EN FRECUENCIAS

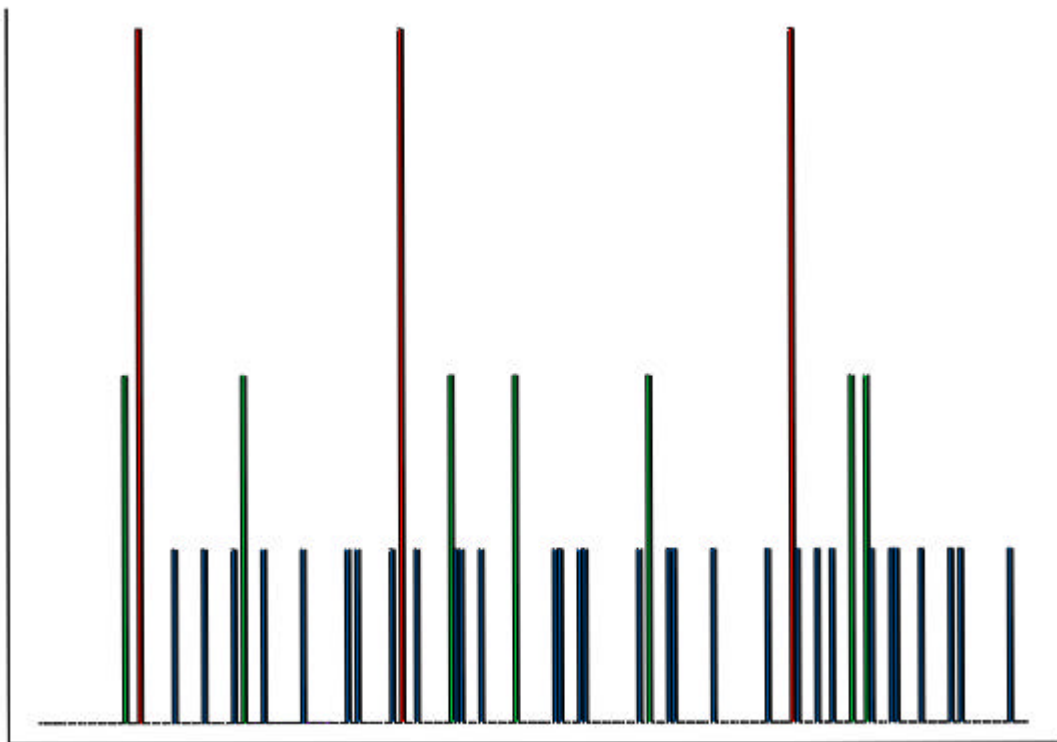
$$\text{NNMAX} := 500$$

Frecuencia máxima (en kHz)

$$\text{SPECTR} := \begin{cases} \text{for } h \in 0, 1 \dots F \\ \quad \text{SP}_{\text{floor} \left(\frac{\text{FREQ}(h)}{1000} \right)} \leftarrow 0.25 \\ \text{for } h \in F + 1, F + 2 \dots \text{NNMAX} \\ \quad \text{SP}_h \leftarrow -1 \\ \text{SP} \end{cases}$$

$$\text{SPECTRm} := \begin{cases} \text{for } h \in 0, 1 \dots F \\ \quad \text{SP}_{\text{floor} \left(\frac{\text{FRMIN}(h)}{1000} \right)} \leftarrow 0.5 \\ \text{for } h \in F + 1, F + 2 \dots \text{NNMAX} \\ \quad \text{SP}_h \leftarrow -1 \\ \text{SP} \end{cases}$$

$$\text{SPd}_f := \begin{cases} \text{SPpr}_f & \text{if } \text{SPpr}_f \geq \text{SP2}_f \\ \text{SP2}_f & \text{otherwise} \end{cases}$$



SPd

A.2.2 Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante frecuencia y ciclo de trabajo (Frec-Duty)

INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR CONTROL FREC-DUTY

A partir de los valores de normalización,

$$P_b := 70$$

$$Z_b := 100$$

Para elegir un valor de bobina hacemos lo siguiente:

Se toma una frecuencia aproximada de en torno a 50 kHz

Haciendo el valor de permanente de una descarga exponencial como VP=5,

$$f_P := 40 \cdot 10^{-3} \quad T_P := \frac{1}{f_P} \quad V_P := 4 \quad L_b := \frac{Z_b \cdot V_P}{f_P} \quad L_b \cdot 10^{-3} = 10 \quad \text{mH}$$

$$L_b := 10 \cdot 10^{-3}$$

se obtiene entonces los demás parámetros normalizados

$$U_b := \sqrt{P_b \cdot Z_b} \quad U_b = 83.666 \quad T_b := \frac{L_b}{Z_b} \quad T_b \cdot 10^6 = 100 \quad \mu\text{s}$$

$$I_b := \sqrt{\frac{P_b}{Z_b}} \quad I_b = 0.837 \quad \omega_b := \frac{1}{T_b} \quad \omega_b \cdot 10^{-3} = 10 \quad \text{kHz}$$

$$f_b := \frac{\omega_b}{2 \cdot \pi} \quad f_b \cdot 10^{-3} = 1.592 \quad \text{kHz}$$

Parámetros que se fijan en el circuito (CONTROL **frec/duty**):

$$M_b := 1 \quad \text{Tensión normalizada del Bus de continua} \quad Q_{LAMP} := 0.8, 0.9.. 1.5 \quad \text{Carga en la lámpara}$$

$$D := 0.5 \quad \text{Ciclo de Trabajo} \quad \lambda := 1 \quad \text{Inductancia normalizada (uno)}$$

$$\tau(Q_{LAMP}) := \frac{\lambda}{Q_{LAMP}}$$

$$\Psi := 0.25 \quad \text{Periodo Normalizado (sobre 30 ó 40 } \mu\text{s)} \quad T := \Psi \cdot T_b \quad T \cdot 10^6 = 25$$

Definición de tiempos:

$$f := \frac{1}{T} \quad f \cdot 10^{-3} = 40 \quad \text{kHz}$$

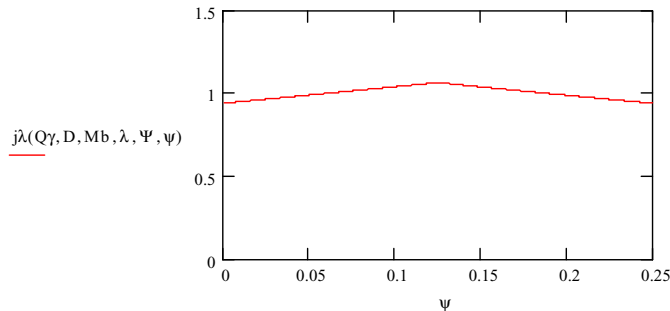
$$\psi := 0, \frac{\Psi}{1000} .. \Psi$$

Resta definir $j\lambda_{MAX}$, que se va a definir teniendo en cuenta que, tras un periodo, la corriente debe volver al mismo punto.

$$j\lambda_{MAX}(Q_{LAMP}, D, M_b, \lambda, \Psi) := \frac{\frac{M_b}{\lambda} \cdot D \cdot \Psi}{1 - e^{-\frac{\Psi \cdot (1-D)}{\tau(Q_{LAMP})}}} \quad \text{Se define la Q de las gráficas: } Q_\gamma := 1.0$$

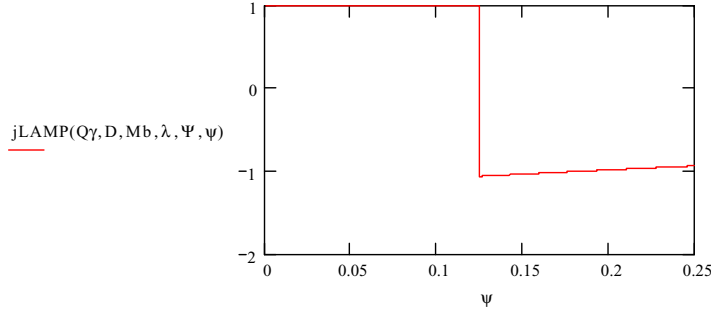
Corriente por la bobina

$$j\lambda(Q_{LAMP}, D, M_b, \lambda, \Psi, \psi) := \begin{cases} j\lambda_{MAX}(Q_{LAMP}, D, M_b, \lambda, \Psi) - \frac{M_b}{\lambda} \cdot (D \cdot \Psi - \psi) & \text{if } (0 \leq \psi < D \cdot \Psi) \\ \left(j\lambda_{MAX}(Q_{LAMP}, D, M_b, \lambda, \Psi) \cdot e^{-\frac{\psi - D \cdot \Psi}{\tau(Q_{LAMP})}} \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$



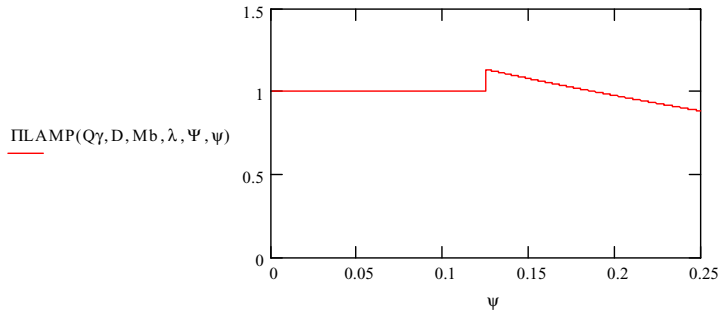
Corriente por la carga:

$$jLAMP(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb}{QLAMP} & \text{if } 0 \leq \psi < D \cdot \Psi \\ \left(-j\lambda MAX(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi) \cdot e^{-\frac{\psi - D \cdot \Psi}{\tau(QLAMP)}} \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$



Potencia Instantánea por la Carga

$$\Pi LAMP(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb^2}{QLAMP} & \text{if } 0 \leq \psi < D \cdot \Psi \\ \left(-j\lambda MAX(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi) \cdot e^{-\frac{\psi - D \cdot \Psi}{\tau(QLAMP)}} \right)^2 \cdot QLAMP & \text{otherwise} \end{cases}$$



Potencia Media entregada a la carga:

$$\Pi AVGLAMP(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi) := \frac{Mb^2 \cdot D}{QLAMP} + \frac{j\lambda MAX(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi)^2 \cdot \lambda}{2 \cdot \Psi} \left[1 - e^{-2 \cdot \frac{(1-D) \cdot \Psi}{\tau(QLAMP)}} \right]$$

$$\Pi AVGLAMP(Q\gamma, D, Mb, \lambda, \Psi) = 1.001$$

RIZADO DE CORRIENTE POR LA CARGA:

$$\Delta jLAMP(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi) := 1 - e^{-\frac{\Psi \cdot (1-D)}{\tau(QLAMP)}} \quad \Delta jLAMP(Q\gamma, D, Mb, \lambda, \Psi) = 0.118$$

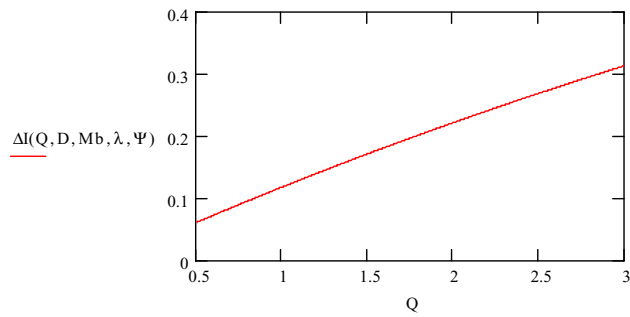
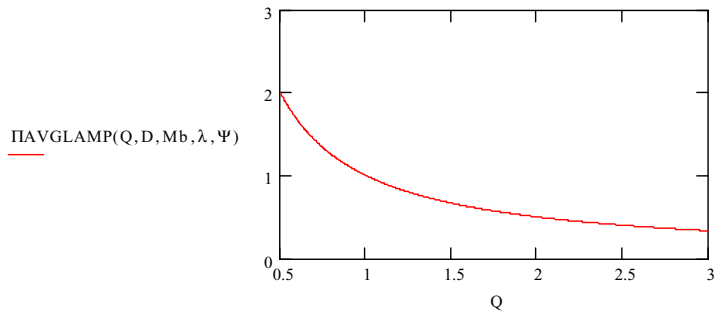
$$\Delta I(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi) := \begin{cases} \left(\Delta jLAMP(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi) \right) & \text{if } \left(j\lambda(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, D \cdot \Psi) > \frac{Mb}{QLAMP} \right) \left(\frac{Mb}{QLAMP} > j\lambda(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, \Psi) \right) \\ \left(\frac{\frac{Mb}{QLAMP} - j\lambda(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, \Psi)}{j\lambda(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, D \cdot \Psi)} \right) & \text{if } j\lambda(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, D \cdot \Psi) < \frac{Mb}{QLAMP} \\ \frac{j\lambda(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, D \cdot \Psi) - \frac{Mb}{QLAMP}}{j\lambda(QLAMP, D, Mb, \lambda, \Psi, D \cdot \Psi)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta l(Q, 0.5, D, Mb, \lambda, \Psi) = 0.061$$

$$\frac{j\lambda(Q, D, Mb, \lambda, \Psi, D \cdot \Psi) - j\lambda(Q, D, Mb, \lambda, \Psi, \Psi)}{j\lambda(Q, D, Mb, \lambda, \Psi, D \cdot \Psi)} = 0.118$$

Características en función de la Carga

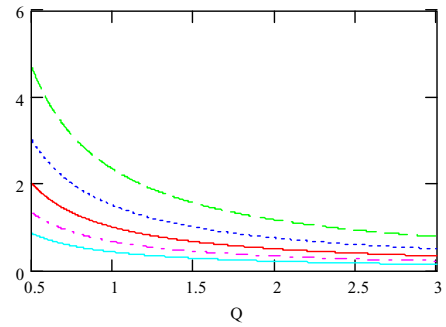
$$Q1 := 0.5 \quad Q\gamma = 1 \quad Q2 := 3 \quad Q := Q1, Q1 + \frac{Q1 + Q2}{1000} .. Q2$$



Variación de Potencia en función de Parámetros de Control

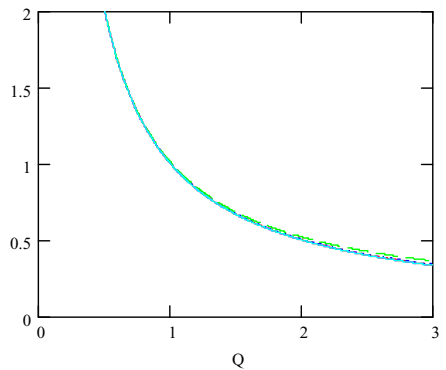
Distintos Ciclos de Trabajo

$$\begin{aligned} &\Pi_{AVGLAMP}(Q, D, Mb, \lambda, \Psi) \\ &\Pi_{AVGLAMP}(Q, 0.6, Mb, \lambda, \Psi) \\ &\Pi_{AVGLAMP}(Q, 0.7, Mb, \lambda, \Psi) \\ &\Pi_{AVGLAMP}(Q, 0.4, Mb, \lambda, \Psi) \\ &\Pi_{AVGLAMP}(Q, 0.3, Mb, \lambda, \Psi) \end{aligned}$$



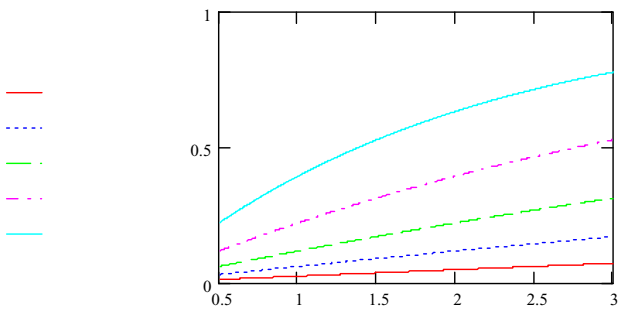
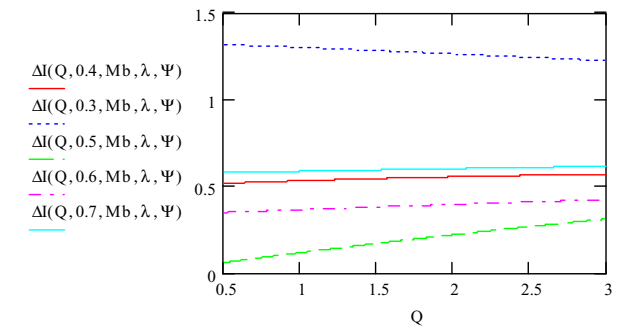
Distintas frecuencias

$$\begin{aligned} &\Pi_{AVGLAMP}(Q, D, Mb, \lambda, \Psi) \\ &\Pi_{AVGLAMP}(Q, D, Mb, \lambda, 2 \cdot \Psi) \\ &\Pi_{AVGLAMP}(Q, D, Mb, \lambda, 4 \cdot \Psi) \\ &\Pi_{AVGLAMP}(Q, D, Mb, \lambda, 0.5 \cdot \Psi) \\ &\Pi_{AVGLAMP}(Q, D, Mb, \lambda, 0.2 \cdot \Psi) \end{aligned}$$



Variación de Rizado en función de Parámetros de Control

Distintos Ciclos de Trabajo



A.2.3 Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante corriente máxima por el interruptor y tiempo de apagado ($I_{MAX}-T_{OFF}$)

INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR CONTROL IMAX-TOFF

A partir de los valores de normalización,

$$P_b := 70$$

$$Z_b := 100$$

Para elegir un valor de bobina hacemos lo siguiente:

Se toma una frecuencia aproximada de en torno a 50 kHz

Haciendo el valor de permanente de una descarga exponencial como $VP=5$,

$$f_P := 40 \cdot 10^3 \quad T_P := \frac{1}{f_P} \quad VP := 4 \quad L_b := \frac{Z_b \cdot VP}{f_P} \quad L_b \cdot 10^3 = 10 \quad \text{mH}$$

$$L_b := 10 \cdot 10^{-3}$$

se obtiene entonces los demás parámetros normalizados

$$U_b := \sqrt{P_b \cdot Z_b} \quad U_b = 83.666$$

$$I_b := \sqrt{\frac{P_b}{Z_b}} \quad I_b = 0.837$$

$$T_b := \frac{L_b}{Z_b} \quad T_b \cdot 10^6 = 100 \quad \mu\text{s}$$

$$\omega_b := \frac{1}{T_b} \quad \omega_b \cdot 10^{-3} = 10 \quad \text{kHz}$$

$$f_b := \frac{\omega_b}{2 \cdot \pi} \quad f_b \cdot 10^{-3} = 1.592 \quad \text{kHz}$$

Parámetros que se fijan en el circuito (CONTROL **Imax/Toff**):

$$M_b := 1 \quad \text{Tensión normalizada del Bus de continua}$$

$$jM_{\text{max}} := 2.05 \quad \text{Corriente Máxima en el INTERRUPTOR}$$

$$IM_{\text{max}} := jM_{\text{max}} \cdot I_b \quad IM_{\text{max}} = 1.715$$

$$QLAMP := 0.8, 0.9, 1.5 \quad \text{Carga en la lámpara}$$

$$\lambda := 1 \quad \text{Inductancia normalizada (uno)}$$

$$\tau(QLAMP) := \frac{\lambda}{QLAMP}$$

$$\Psi_{\text{off}} := 0.25 \quad \text{Toff del MOSFET.}$$

$$T_{\text{off}} := \Psi_{\text{off}} \cdot T_b \quad T_{\text{off}} \cdot 10^6 = 25 \quad \mu\text{s}$$

Se define la Q de las gráficas:

$$Q\gamma := 1.0$$

Hay que definir T, Ton, jλMAX, D, etc... en función de Imax y Toff:

$$j\lambda_{\text{MAX}}(QLAMP, M_b, \lambda, jM_{\text{max}}, \Psi_{\text{off}}) := jM_{\text{max}} - \frac{M_b}{QLAMP}$$

$$j\lambda_0(QLAMP, M_b, \lambda, jM_{\text{max}}, \Psi_{\text{off}}) := j\lambda_{\text{MAX}}(QLAMP, M_b, \lambda, jM_{\text{max}}, \Psi_{\text{off}}) \cdot e^{\frac{-\Psi_{\text{off}}}{\tau(QLAMP)}}$$

$$\Psi_{\text{on}}(QLAMP, M_b, \lambda, jM_{\text{max}}, \Psi_{\text{off}}) := \left[\left(jM_{\text{max}} - j\lambda_{\text{MAX}}(QLAMP, M_b, \lambda, jM_{\text{max}}, \Psi_{\text{off}}) \cdot e^{\frac{-\Psi_{\text{off}}}{\tau(QLAMP)}} \right) - \frac{M_b}{QLAMP} \right] \cdot \frac{\lambda}{M_b}$$

$$\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) := \Psi_{\text{off}} + \Psi_{\text{on}}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}})$$

$$D(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) := \frac{\Psi_{\text{on}}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}})}{(\Psi_{\text{off}} + \Psi_{\text{on}}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}))}$$

$$j\lambda_{\text{MAX}}(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) = 1.05 \quad \Psi_{\text{on}}(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) = 0.232$$

$$j\lambda_0(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) = 0.818$$

$$\Psi(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) = 0.482 \quad D(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) = 0.482$$

$$\begin{aligned} T\gamma &:= \Psi(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) \cdot T_b & f\gamma &:= \frac{1}{T\gamma} \\ T\gamma &= 4.823 \times 10^{-5} & f\gamma \cdot 10^{-3} &= 20.736 \text{ kHz} \end{aligned}$$

$$\Psi_{\text{origen}} := 2 \cdot \Psi(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) \quad \Psi_{\text{origen}} = 0.965$$

Definicion de tiempos:

$$\psi := 0, \frac{\Psi_{\text{origen}}}{1000} .. \Psi_{\text{origen}}$$

Resta definir $j\lambda_{\text{MAX}}$, que se va a definir teniendo en cuenta que, tras un periodo, la corriente debe volver al mismo punto.

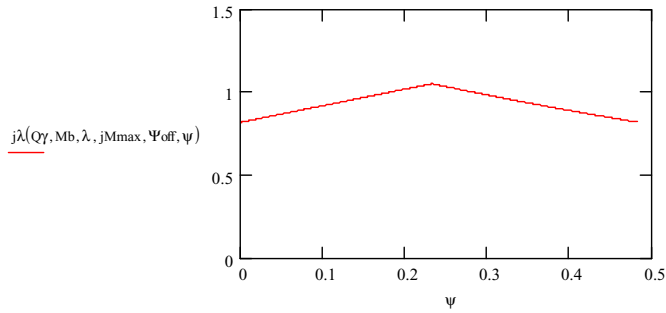
Corriente por la bobina

$$\text{Carga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}, \psi) := \left[j\lambda_{\text{MAX}}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) - \frac{\text{Mb}}{\lambda} \cdot (D(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) \cdot \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) - \psi) \right]$$

$$\text{Descarga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}, \psi) := j\lambda_{\text{MAX}}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) \cdot e^{-\frac{\psi - D(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) \cdot \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}})}{\tau(\text{QLAMP})}}$$

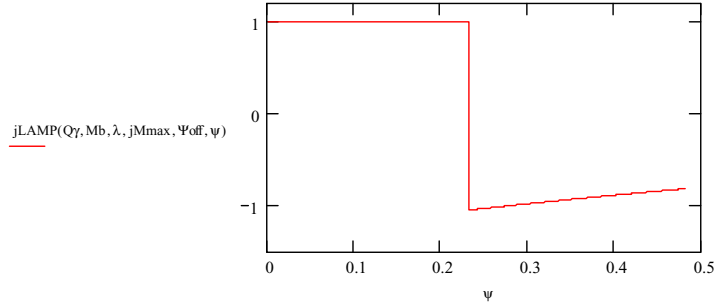
$$D\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) := D(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) \cdot \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}})$$

$$j\lambda(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}, \psi) := \begin{cases} \text{Carga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}, \psi) & \text{if } (0 \leq \psi < D\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}})) \\ \text{Descarga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}, \psi) & \text{if } (D\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}}) \leq \psi < \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\text{Mmax}, \Psi_{\text{off}})) \end{cases}$$



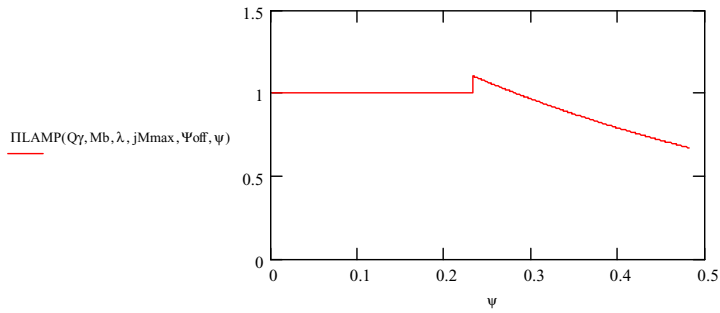
Corriente por la carga:

$$jLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb}{QLAMP} & \text{if } 0 \leq \psi < D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \\ (-Descarga(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi)) & \text{if } D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \leq \psi < \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \end{cases}$$



Potencia Instantánea por la Carga

$$\Pi LAMP(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb^2}{QLAMP} & \text{if } 0 \leq \psi < D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \\ Descarga(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi)^2 \cdot QLAMP & \text{if } D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \leq \psi < \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \end{cases}$$



Potencia Media entregada a la carga:

$$\Pi AVGLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := \frac{Mb^2 \cdot D(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})}{QLAMP} + \frac{j\lambda MAX(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})^2 \cdot \lambda}{2 \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})} \cdot \left(1 - e^{-2 \frac{\Psi_{off}}{\tau(QLAMP)}} \right)$$

$$\Pi AVGLAMP(Q\gamma, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) = 0.931$$

RIZADO DE CORRIENTE POR LA CARGA:

$$\Delta jLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := 1 - e^{-\frac{\Psi_{off}}{\tau(QLAMP)}}$$

$$\Delta l(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) := \begin{cases} (\Delta jLAMP(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})) & \text{if } j\lambda MAX(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) \geq \frac{Mb}{QLAMP} > j\lambda 0(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) \\ \left(\frac{\frac{Mb}{QLAMP} - j\lambda 0(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})}{j\lambda MAX(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})} \right) & \text{if } j\lambda MAX(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) \leq \frac{Mb}{QLAMP} \\ \frac{j\lambda MAX(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) - \frac{Mb}{QLAMP}}{j\lambda MAX(Q_{LAMP}, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta l(Q\gamma, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) = 0.221$$

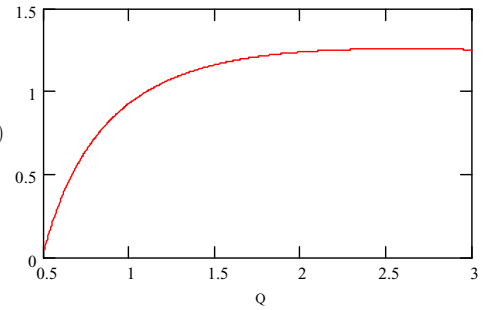
$$\frac{j\lambda MAX(Q\gamma, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) - j\lambda 0(Q\gamma, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})}{j\lambda MAX(Q\gamma, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})} = 0.221$$

Características frente a Variaciones en la Carga

$$Q1 := 0.5 \quad Q\gamma = 1 \quad Q2 := 3 \quad Q := Q1, Q1 + \frac{Q1 + Q2}{1000} .. Q2$$

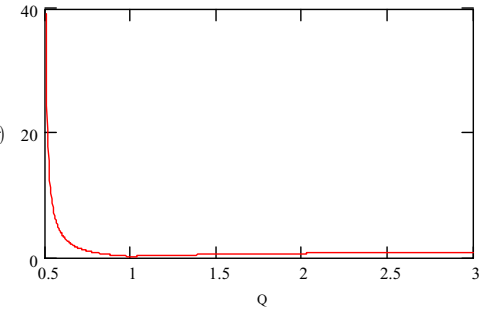
Potencia Media

$$\Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})$$



Rizado de Corriente

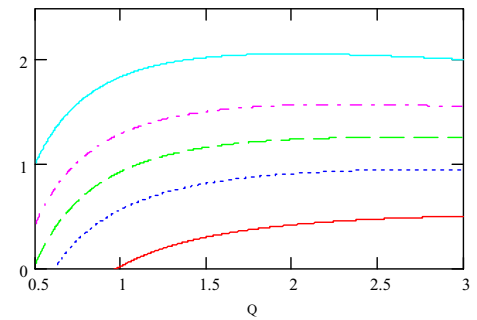
$$\Delta l(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})$$



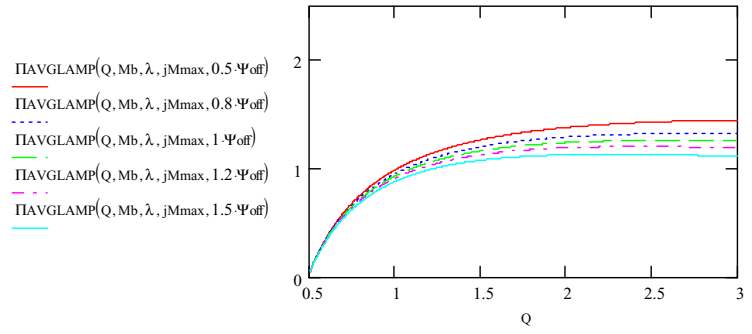
Variación de la Potencia frente a Parámetros de Control

Variación de Corriente Máxima

$$\begin{aligned} & \Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, 0.5 \cdot jM_{max}, \Psi_{off}) \\ & \Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, 0.8 \cdot jM_{max}, \Psi_{off}) \\ & \Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) \\ & \Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, 1.2 \cdot jM_{max}, \Psi_{off}) \\ & \Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, 1.5 \cdot jM_{max}, \Psi_{off}) \end{aligned}$$



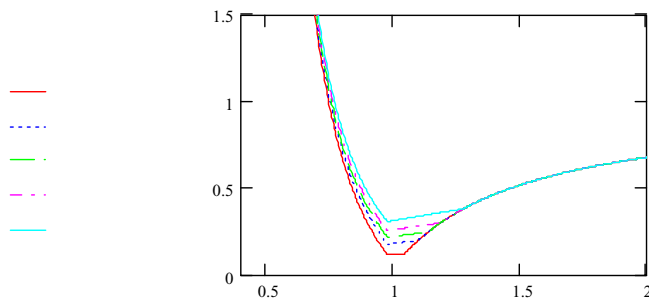
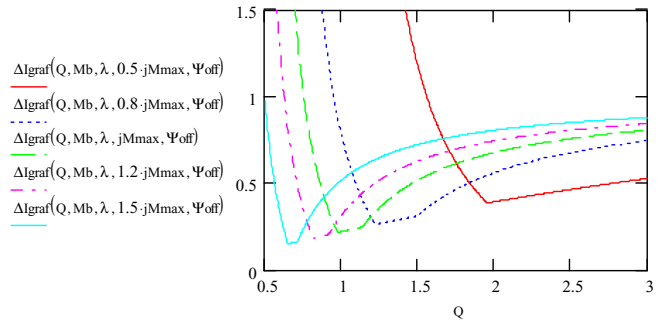
Variación de Toff



Variación del Rizado frente a Parámetros de Control

$$\Delta I_{graf}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := \begin{cases} \Delta I(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) & \text{if } (|\Delta I(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})| < 2) \\ 2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Variación de Corriente Máxima



A.2.4 Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante corriente máxima por la bobina y tiempo de apagado (I_{LMAX} - T_{OFF})

INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR CONTROL IL_{MAX}-Toff

A partir de los valores de normalización,

$$P_b := 70$$

$$Z_b := 100$$

Para elegir un valor de bobina hacemos lo siguiente:

Se toma una frecuencia aproximada de en torno a 50 kHz

Haciendo el valor de permanente de una descarga exponencial como VP=5,

$$f_P := 40 \cdot 10^3 \quad T_P := \frac{1}{f_P} \quad V_P := 4 \quad L_b := \frac{Z_b \cdot V_P}{f_P} \quad L_b \cdot 10^3 = 10 \quad \text{mH}$$

$$L_b := 10 \cdot 10^{-3}$$

se obtiene entonces los demás parámetros normalizados

$$U_b := \sqrt{P_b \cdot Z_b} \quad U_b = 83.666$$

$$I_b := \sqrt{\frac{P_b}{Z_b}} \quad I_b = 0.837$$

$$T_b := \frac{L_b}{Z_b} \quad T_b \cdot 10^6 = 100 \quad \mu\text{s}$$

$$\omega_b := \frac{1}{T_b} \quad \omega_b \cdot 10^{-3} = 10 \quad \text{kHz}$$

$$f_b := \frac{\omega_b}{2 \cdot \pi} \quad \text{kHz}$$

Se define la Q de las gráficas:

$$Q_\gamma := 1.0$$

Parámetros que se fijan en el circuito (CONTROL IL_{max}/Toff):

$$M_b := 1$$

$$Q_{LAMP} := 0.8, 0.9 \dots 1.5 \quad \text{Carga en la lámpara}$$

$$\lambda := 1 \quad \text{Inductancia normalizada (uno)}$$

$$\tau(Q_{LAMP}) := \frac{\lambda}{Q_{LAMP}}$$

El control IL_{max}/Toff

$$j\lambda_{MAX} := 1.06 \quad \text{Corriente Máxima en la CARGA (igual a I_{MAX} en la bobina)}$$

$$I_{Lmax} := j\lambda_{MAX} \cdot I_b \quad I_{Lmax} = 0.887$$

$$\Psi_{off} := 0.1 \quad \text{Tiempo de apagado del Interruptor}$$

$$T_{off} := \Psi_{off} \cdot T_b \quad T_{off} \cdot 10^6 = 10 \quad \mu\text{s}$$

$$j\lambda_0(Q_{LAMP}, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) := j\lambda_{MAX} \cdot \left[e^{-\left(\frac{\Psi_{off}}{\tau(Q_{LAMP})} \right)} \right]$$

$$j\lambda_0(Q_\gamma, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) = 0.959$$

$$I_{L0} := I_b \cdot j\lambda_0(Q_\gamma, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) \quad I_{L0} = 0.802 \quad \text{Corriente Mínima en la carga}$$

Hay que definir T, D, jM_{max}, etc... en función de IL_{max} e IL_{min}:

$$jM_{max}(Q_{LAMP}, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) := j\lambda_{MAX} + \frac{M_b}{Q_{LAMP}}$$

$$\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) := \frac{j\lambda_{\text{MAX}} - j\lambda_0(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}})}{\text{Mb}} \cdot \lambda + \tau(\text{QLAMP}) \cdot \ln\left(\frac{j\lambda_{\text{MAX}}}{j\lambda_0(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}})}\right)$$

$$\Psi(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) = 0.201$$

$$T := T_b \cdot \Psi(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \quad T \cdot 10^6 = 20.087 \quad \mu\text{s}$$

$$D(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) := \frac{j\lambda_{\text{MAX}} - j\lambda_0(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}})}{\text{Mb} \cdot \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}})} \cdot \lambda$$

$$D(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) = 0.502$$

$$j\lambda_{\text{MAX}} = 1.06$$

$$j\lambda_0(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) = 0.959$$

$$\Psi(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) = 0.201 \quad D(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) = 0.502$$

$$T\gamma := \Psi(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \cdot T_b \quad f\gamma := \frac{1}{T\gamma}$$

$$T\gamma = 2.009 \times 10^{-5} \quad f\gamma \cdot 10^{-3} = 49.783 \quad \text{kHz}$$

$$\Psi_{\text{origen}} := 2 \cdot \Psi(Q\gamma, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \quad \Psi_{\text{origen}} = 0.402$$

Definición de tiempos:

$$\psi := 0, \frac{\Psi_{\text{origen}}}{1000} \dots \Psi_{\text{origen}}$$

Resta definir $j\lambda_{\text{MAX}}$, que se va a definir teniendo en cuenta que, tras un periodo, la corriente debe volver al mismo punto.

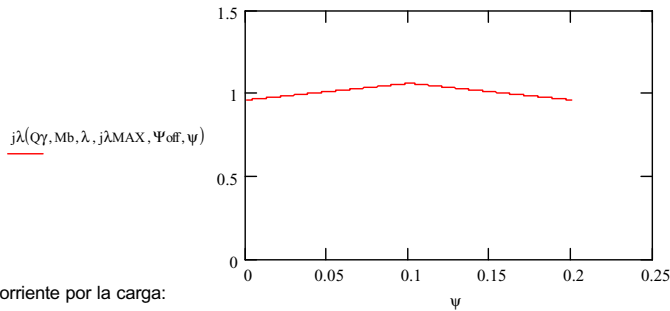
Corriente por la bobina

$$\text{Carga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}, \psi) := j\lambda_{\text{MAX}} - \frac{\text{Mb}}{\lambda} \cdot (D(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \cdot \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) - \psi)$$

$$\text{Descarga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}, \psi) := j\lambda_{\text{MAX}} \cdot e^{-\frac{\psi - D(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \cdot \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}})}{\tau(\text{QLAMP})}}$$

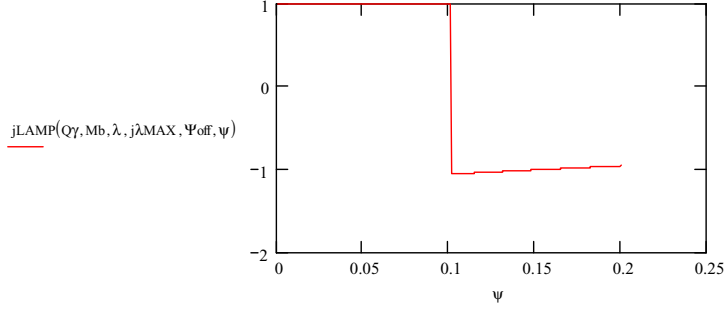
$$D\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) := D(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \cdot \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}})$$

$$j\lambda(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}, \psi) := \begin{cases} \text{Carga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}, \psi) & \text{if } 0 \leq \psi < D\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \\ \text{Descarga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}, \psi) & \text{if } (D\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \leq \psi < \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}})) \end{cases}$$



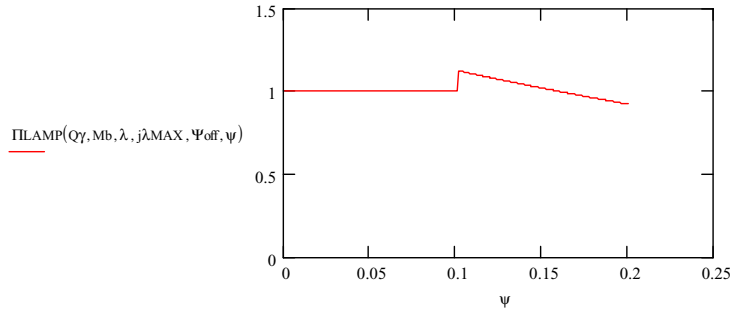
Corriente por la carga:

$$j\text{LAMP}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}, \psi) := \begin{cases} \frac{\text{Mb}}{\text{QLAMP}} & \text{if } 0 \leq \psi < D\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \\ (-\text{Descarga}(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}, \psi)) & \text{if } (D\Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}}) \leq \psi < \Psi(\text{QLAMP}, \text{Mb}, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \Psi_{\text{off}})) \end{cases}$$



Potencia Instantánea por la Carga

$$\Pi LAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb^2}{QLAMP} & \text{if } 0 \leq \psi < D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) \\ \left(Descarga(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}, \psi)^2 \cdot QLAMP \right) & \text{if } D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) \leq \psi < \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) \end{cases}$$



Potencia Media entregada a la carga:

$$\Pi AVGLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) := \frac{Mb^2 \cdot D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off})}{QLAMP} + \frac{j\lambda_{MAX}^2 \cdot \lambda \cdot \left[1 - e^{-2 \frac{(1-D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off})) \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off})}{\tau(QLAMP)}} \right]}{2 \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off})}$$

$$\Pi AVGLAMP(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) = 1.009$$

RIZADO DE CORRIENTE POR LA CARGA:

$$\Delta I(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) := \begin{cases} \left(\frac{j\lambda_{MAX} - j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off})}{j\lambda_{MAX}} \right) & \text{if } j\lambda_{MAX} \geq \frac{Mb}{QLAMP} > j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) \\ \left(\frac{\frac{Mb}{QLAMP} - j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off})}{j\lambda_{MAX}} \right) & \text{if } j\lambda_{MAX} \leq \frac{Mb}{QLAMP} \\ \frac{j\lambda_{MAX} - \frac{Mb}{QLAMP}}{j\lambda_{MAX}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

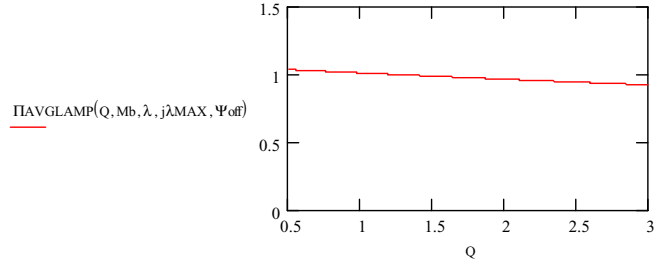
$$\Delta I(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off}) = 0.095$$

$$\frac{j\lambda_{MAX} - j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Psi_{off})}{j\lambda_{MAX}}$$

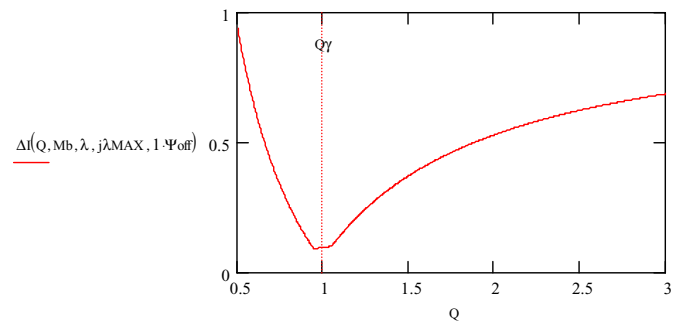
Características Frente a Variaciones de Carga

$$Q1 := 0.5 \quad Q\gamma = 1 \quad Q2 := 3 \quad Q := Q1 + Q1 + \frac{Q1 + Q2}{1000} \dots Q2$$

Potencia Media

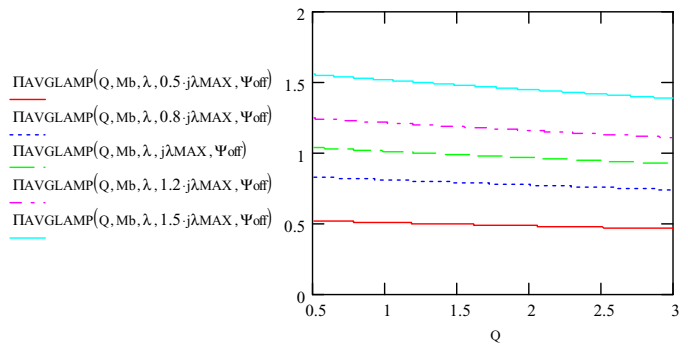


Rizado de Corriente

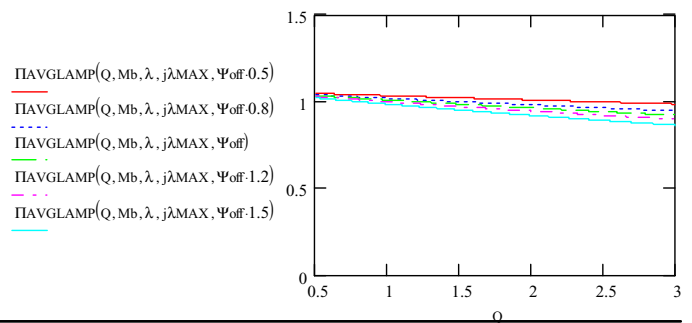


Variación de Potencia frente a Cambios en Parámetros de Control

Variaciones de Corriente Máxima

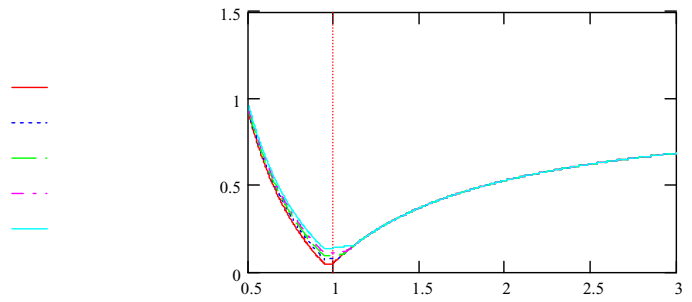
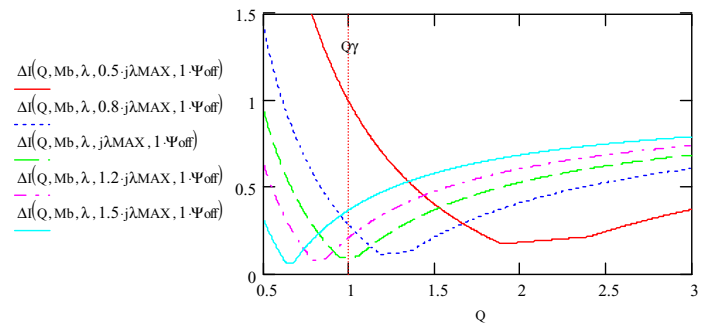


Variaciones de Toff



Variación de Rizado frente a Cambios en Parámetros de Control

Variaciones de Corriente Máxima



A.2.5 Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante corriente máxima por la bobina y rizado de corriente por la bobina ($I_{LMAX}-\Delta I_L$)

INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR CONTROL I_{MAX}-I_{MIN} (por la Bobina)

A partir de los valores de normalización,

$$P_b := 70$$

$$Z_b := 100$$

Para elegir un valor de bobina hacemos lo siguiente:

Se toma una frecuencia aproximada de en torno a 50 kHz

Haciendo el valor de permanente de una descarga exponencial como VP=5,

$$f_P := 40 \cdot 10^3 \quad T_P := \frac{1}{f_P} \quad V_P := 4 \quad L_b := \frac{Z_b \cdot V_P}{f_P} \quad L_b \cdot 10^3 = 10 \quad \text{mH}$$

$$L_b := 10 \cdot 10^{-3}$$

se obtiene entonces los demás parámetros normalizados

$$U_b := \sqrt{P_b \cdot Z_b} \quad U_b = 83.666$$

$$I_b := \sqrt{\frac{P_b}{Z_b}} \quad I_b = 0.837$$

$$T_b := \frac{L_b}{Z_b} \quad T_b \cdot 10^6 = 100 \quad \mu\text{s}$$

$$\omega_b := \frac{1}{T_b} \quad \text{kHz}$$

$$f_b := \frac{\omega_b}{2 \cdot \pi} \quad f_b \cdot 10^{-3} = 1.592 \quad \text{kHz}$$

Se define la Q de las gráficas:

$$Q_\gamma := 1.0$$

Parámetros que se fijan en el circuito (CONTROL I_{Lmax}/I_{Lmin}):

$$M_b := \sqrt{Q_\gamma} \quad \text{Tensión normalizada del Bus de continua (normalmente 1, pero multiplicado por el factor raíz de } Q_\gamma \text{ (realimentación) de manera que la potencia sea nominal)}$$

$$Q_{LAMP} := 0.8, 0.9, 1.5 \quad \text{Carga en la lámpara}$$

$$\lambda := 1 \quad \text{Inductancia normalizada (uno)}$$

$$\tau(Q_{LAMP}) := \frac{\lambda}{Q_{LAMP}}$$

El control I_{max}/I_{min} es equivalente a hacer un control I_{Lmax}/ΔI_L. Además, este control se realiza sobre la corriente POR LA BOBINA; Esto se debe a que la implementación física debe ser I_{max}/I_{min}, que puede realizarse únicamente en la bobina (o en la lámpara)

$$j\lambda_{MAX} := \frac{1.06}{\sqrt{Q_\gamma}} \quad \text{Corriente Máxima en la bobina} \quad I_{Lmax} := j\lambda_{MAX} \cdot I_b \quad I_{Lmax} = 0.887$$

$$\Delta j\lambda := 0.10 \quad \text{rizado de corriente por unidad en LA BOBINA}$$

$$j\lambda_0(Q_{LAMP}, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) := j\lambda_{MAX} \cdot (1 - \Delta j\lambda) \quad \text{Corriente Mínima en la bobina}$$

$$j\lambda_0(Q_\gamma, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) = 0.954$$

Hay que definir T, D, jMmax, etc... en función de ILmax e ILmin:

$$jM_{\max}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) := j\lambda_{\max} + \frac{Mb}{QLAMP}$$

$$\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) := \frac{j\lambda_{\max} - j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda)}{Mb} \cdot \lambda + \tau(QLAMP) \cdot \ln\left(\frac{j\lambda_{\max}}{j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda)}\right)$$

$$\Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) = 0.211$$

$$\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) := \frac{\Delta j\lambda \cdot j\lambda_{\max}}{Mb} \cdot \lambda + \tau(QLAMP) \cdot \ln\left[\frac{j\lambda_{\max}}{j\lambda_{\max} \cdot (1 - \Delta j\lambda)}\right]$$

$$\Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) = 0.211$$

$$T := T_b \cdot \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) \quad T \cdot 10^6 = 21.136 \quad \mu s$$

$$D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) := \frac{j\lambda_{\max} - j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda)}{Mb \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda)} \cdot \lambda$$

$$D(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) = 0.502$$

$$j\lambda_{\max} = 1.06$$

$$j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) = 0.954$$

$$\Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) = 0.211$$

$$D(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) = 0.502$$

$$T\gamma := \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) \cdot T_b$$

$$f\gamma := \frac{1}{T\gamma}$$

$$T\gamma = 2.114 \times 10^{-5}$$

$$f\gamma \cdot 10^{-3} = 47.313 \quad kHz$$

$$\Psi_{\text{origen}} := 2 \cdot \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda)$$

$$\Psi_{\text{origen}} = 0.423$$

Definicion de tiempos:

$$\psi := 0, \frac{\Psi_{\text{origen}}}{1000} \dots \Psi_{\text{origen}}$$

Resta definir jλMAX, que se va a definir teniendo en cuenta que, tras un periodo, la corriente debe volver al mismo punto.

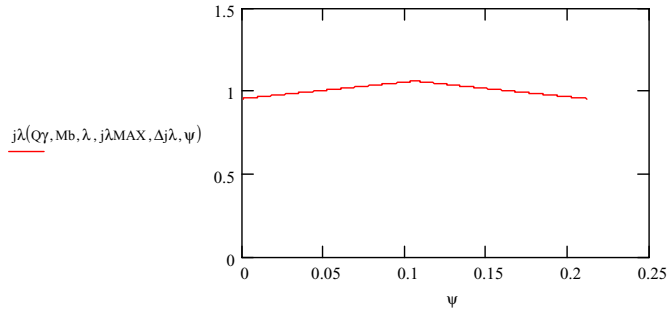
Corriente por la bobina

$$\text{Carga}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda, \psi) := j\lambda_{\max} - \frac{Mb}{\lambda} \cdot (D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) - \psi)$$

$$\text{Descarga}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda, \psi) := j\lambda_{\max} \cdot e^{-\frac{\psi - D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda)}{\tau(QLAMP)}}$$

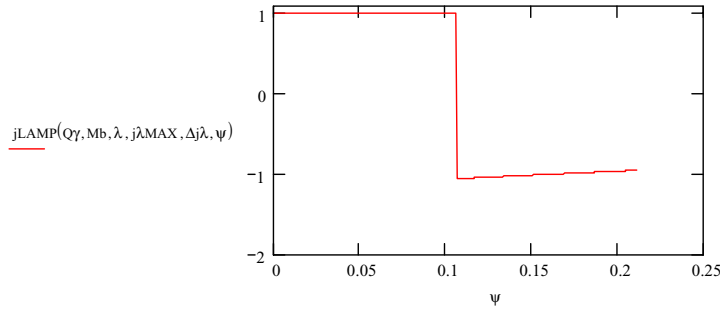
$$D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) := D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda)$$

$$j\lambda(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda, \psi) := \begin{cases} \text{Carga}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda, \psi) & \text{if } 0 \leq \psi < D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) \\ \text{Descarga}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda, \psi) & \text{if } (D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda) \leq \psi < \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{\max}, \Delta j\lambda)) \end{cases}$$



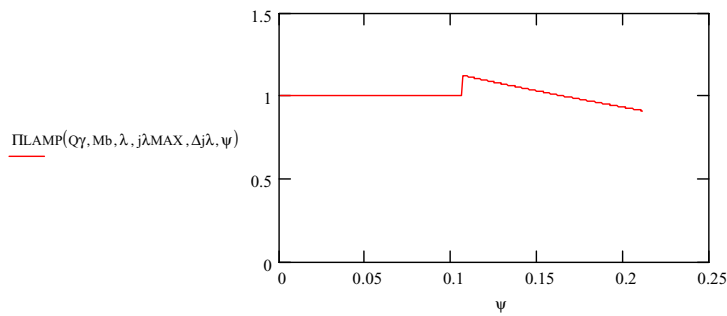
Corriente por la carga:

$$jLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb}{QLAMP} & \text{if } 0 \leq \psi < D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \\ -Descarga(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda, \psi) & \text{if } (D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \leq \psi < \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)) \end{cases}$$



Potencia Instantánea por la Carga

$$\Pi LAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb^2}{QLAMP} & \text{if } 0 \leq \psi < D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \\ \left[(Descarga(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda, \psi))^2 \cdot QLAMP \right] & \text{if } (D\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \leq \psi < \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)) \end{cases}$$



Potencia Media entregada a la carga:

$$\Pi AVGLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) := \frac{Mb^2 \cdot D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)}{QLAMP} + \frac{j\lambda_{MAX}^2 \cdot \lambda \cdot \left[1 - e^{-2 \frac{(1-D(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)) \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)}{\tau(QLAMP)}}} \right]}{2 \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)}$$

RIZADO DE CORRIENTE POR LA CARGA:

$$\Delta I(Q\lambda, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) := \begin{cases} (\Delta j\lambda) & \text{if } j\lambda_{MAX} \geq \frac{Mb}{Q\lambda_{AMP}} > j\lambda_0(Q\lambda, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \\ \left(\frac{\frac{Mb}{Q\lambda_{AMP}} - j\lambda_0(Q\lambda, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)}{j\lambda_{MAX}} \right) & \text{if } j\lambda_{MAX} \leq \frac{Mb}{Q\lambda_{AMP}} \\ \frac{j\lambda_{MAX} - \frac{Mb}{Q\lambda_{AMP}}}{j\lambda_{MAX}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta I(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) = 0.1$$

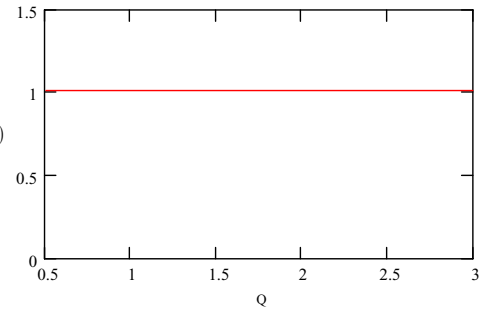
$$\frac{j\lambda_{MAX} - j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)}{j\lambda_{MAX}} = 0.1$$

Características Frente a Variaciones de Carga

$$Q1 := 0.5 \quad Q\gamma = 1 \quad Q2 := 3 \quad Q := Q1, Q1 + \frac{Q1 + Q2}{1000} \dots Q2$$

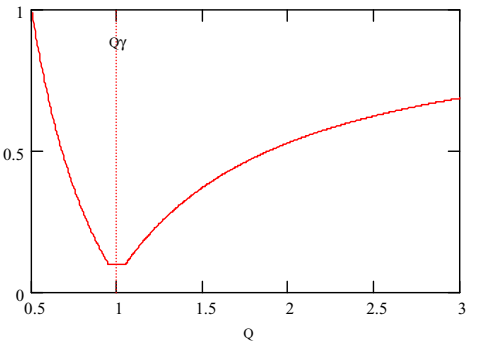
Potencia Media

$$\text{PIAVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda)$$



Rizado de Corriente

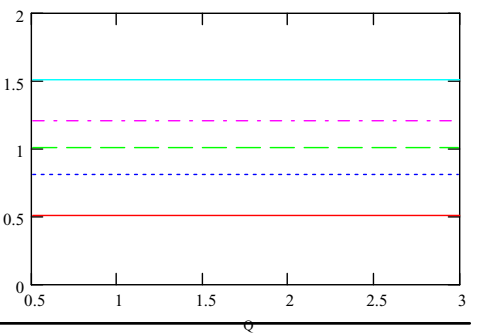
$$\Delta I(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, 1 \cdot \Delta j\lambda)$$



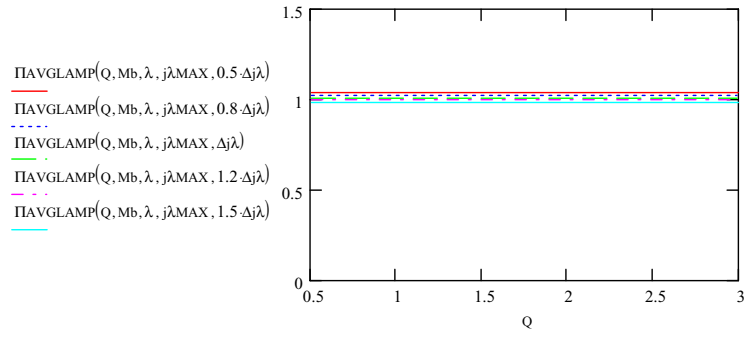
Variación de la Potencia Frente a Parámetros de Control

Variación de Corriente Máxima

$$\begin{aligned} &\text{PIAVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, 0.5 \cdot j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \\ &\text{PIAVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, 0.8 \cdot j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \\ &\text{PIAVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \\ &\text{PIAVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, 1.2 \cdot j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \\ &\text{PIAVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, 1.5 \cdot j\lambda_{MAX}, \Delta j\lambda) \end{aligned}$$

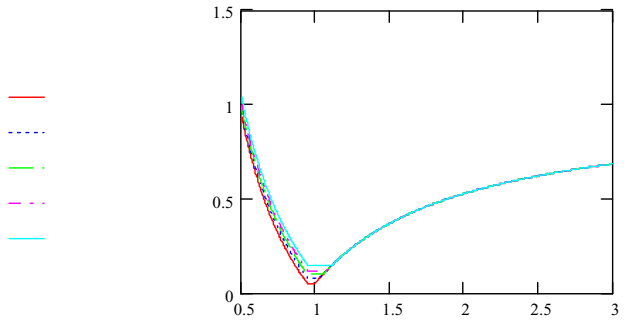
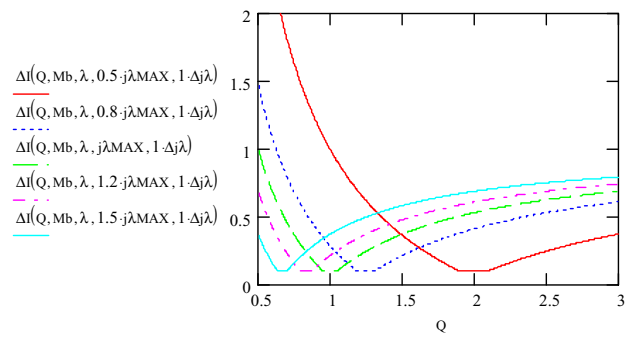


Variación del Rizado de Corriente



Variación de la Potencia Frente a Parámetros de Control

Variación de Corriente Máxima



A.2.6 Análisis del inversor de 1 interruptor, controlado mediante corriente máxima por el interruptor y tiempo de apagado ($I_{MAX}-T_{OFF}$), variando los parámetros de control en función de la carga equivalente que presenta la lámpara.

INVERSOR DE 1 INTERRUPTOR: CONTROL IMAX-TOFF, CON VARIACIONES EN LOS PARÁMETROS DE CONTROL

A partir de los valores de normalización,

$$P_b := 70$$

$$Z_b := 100$$

Para elegir un valor de bobina hacemos lo siguiente:

Se toma una frecuencia aproximada de en torno a 50 kHz

Haciendo el valor de permanente de una descarga exponencial como VP=5,

$$f_P := 80 \cdot 10^3 \quad T_P := \frac{1}{f_P} \quad V_P := 4 \quad L_b := \frac{Z_b \cdot V_P}{f_P} \quad L_b \cdot 10^3 = 5 \quad \text{mH}$$

$$L_b := 10 \cdot 10^{-3}$$

se obtiene entonces los demás parámetros normalizados

$$U_b := \sqrt{P_b \cdot Z_b} \quad U_b = 83.666$$

$$I_b := \sqrt{\frac{P_b}{Z_b}} \quad I_b = 0.837$$

$$T_b := \frac{L_b}{Z_b} \quad T_b \cdot 10^6 = 100 \quad \mu\text{s}$$

$$\omega_b := \frac{1}{T_b} \quad \omega_b \cdot 10^{-3} = 10 \quad \text{kHz}$$

$$f_b := \frac{\omega_b}{2 \cdot \pi} \quad f_b \cdot 10^{-3} = 1.592 \quad \text{kHz}$$

$$Q := 0.8, 0.9, 1.5 \quad \text{Carga en la lámpara}$$

Se define la Q de las gráficas:

$$Q\gamma := 1.0$$

Parámetros que se fijan en el circuito (CONTROL **Imax/Toff**):

$$M_b(Q) := \sqrt{Q} \quad \text{Tensión normalizada del Bus de continua}$$

$$jM_{\max}(Q) := \frac{2.05}{\sqrt{Q}} \quad \text{Corriente Máxima en el INTERRUPTOR}$$

Parámetros de Control EN FUNCIÓN DE LA CARGA

$$IM_{\max} := jM_{\max}(Q\gamma) \cdot I_b \quad IM_{\max} = 1.715$$

$$\lambda := 1 \quad \text{Inductancia normalizada (uno)}$$

$$\tau(Q) := \frac{\lambda}{Q}$$

$$\Psi_{\text{off}}(Q) := \frac{0.10}{Q} \quad \text{Toff del MOSFET.}$$

$$\Psi_{\text{off}}(Q) = 0.1 \quad T_{\text{off}} := \Psi_{\text{off}}(Q\gamma) \cdot T_b \quad T_{\text{off}} \cdot 10^6 = 10 \quad \mu\text{s}$$

Hay que definir T, Ton, jλMAX, D, etc... en función de Imax y Toff:

$$j\lambda_{\text{MAX}}(Q, M_b, \lambda, jM_{\max}, \Psi_{\text{off}}) := jM_{\max}(Q) - \frac{M_b(Q)}{Q}$$

$$j\lambda_0(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := j\lambda_{MAX}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \cdot e^{\frac{-\Psi_{off}(Q)}{\tau(Q)}}$$

$$\Psi_{on}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := \left[\left(jMmax(Q) - j\lambda_{MAX}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \cdot e^{\frac{-\Psi_{off}(Q)}{\tau(Q)}} \right) - \frac{Mb(Q)}{Q} \right] \cdot \frac{\lambda}{Mb(Q)}$$

$$\Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := \Psi_{off}(Q) + \Psi_{on}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})$$

$$D(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := \frac{\Psi_{on}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})}{(\Psi_{off}(Q) + \Psi_{on}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}))}$$

$$j\lambda_{MAX}(Q\gamma, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) = 1.05 \quad \Psi_{on}(Q\gamma, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) = 0.1$$

$$j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) = 0.95$$

$$\Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) = 0.2 \quad D(Q\gamma, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) = 0.5$$

$$T\gamma := \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \cdot T_b \quad f\gamma := \frac{1}{T\gamma}$$

$$T\gamma = 1.999 \times 10^{-5} \quad f\gamma \cdot 10^{-3} = 50.02 \quad \text{kHz}$$

$$\Psi_{origen} := 2 \cdot \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \quad \Psi_{origen} = 0.4$$

Definicion de tiempos:

$$\psi := 0, \frac{\Psi_{origen}}{1000} \dots \Psi_{origen}$$

Resta definir $j\lambda_{MAX}$, que se va a definir teniendo en cuenta que, tras un periodo, la corriente debe volver al mismo punto.

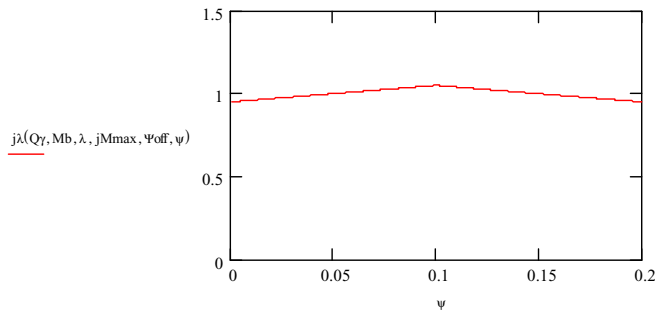
Corriente por la Bobina

$$Carga(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) := j\lambda_{MAX}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) - \frac{Mb(Q)}{\lambda} \cdot (D(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) - \psi)$$

$$Descarga(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) := j\lambda_{MAX}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \cdot e^{\frac{-\psi - D(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})}{\tau(Q)}}$$

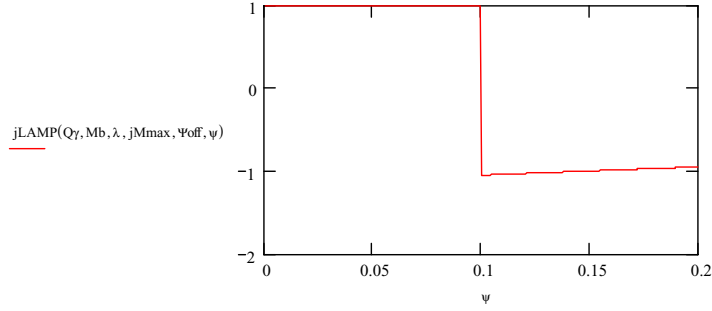
$$D\Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := D(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})$$

$$j\lambda(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) := \begin{cases} Carga(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) & \text{if } (0 \leq \psi < D\Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})) \\ Descarga(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) & \text{if } (D\Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \leq \psi < \Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})) \end{cases}$$



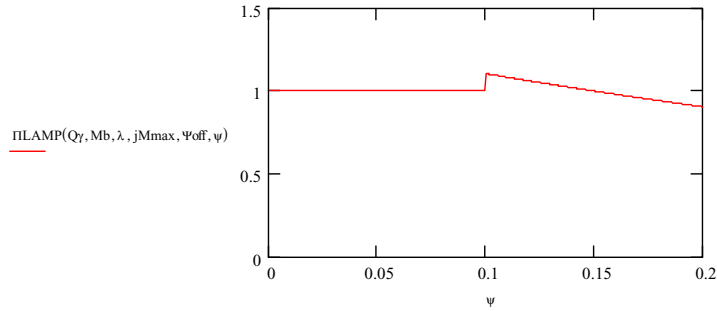
Corriente por la carga:

$$jLAMP(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb(Q)}{Q} & \text{if } 0 \leq \psi < D(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \\ (-Descarga(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi)) & \text{if } (D\Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \leq \psi < \Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})) \end{cases}$$



Potencia Instantánea por la Carga

$$\Pi LAMP(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb(Q)^2}{Q} & \text{if } 0 \leq \psi < D\Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \\ \left[(-Descarga(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}, \psi))^2 \cdot Q \right] & \text{if } (D\Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) \leq \psi < \Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})) \end{cases}$$



Potencia Media entregada a la carga:

$$\Pi AVGLAMP(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := \frac{Mb(Q)^2 \cdot D(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})}{Q} + \frac{j\lambda MAX(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})^2 \cdot \lambda}{2 \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})} \cdot \left(1 - e^{-2 \frac{\Psi_{off}(Q)}{\tau(Q)}} \right)$$

$$\Pi AVGLAMP(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) = 1$$

RIZADO DE CORRIENTE POR LA CARGA:

$$\Delta jLAMP(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := 1 - e^{-\frac{\Psi_{off}(Q)}{\tau(Q)}}$$

$$\Delta I(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) := \begin{cases} (\Delta jLAMP(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})) & \text{if } j\lambda MAX(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) \geq \frac{Mb(Q)}{Q} > j\lambda 0(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) \\ \left(\frac{\frac{Mb(Q)}{Q} - j\lambda 0(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})}{j\lambda MAX(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})} \right) & \text{if } j\lambda MAX(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) \leq \frac{Mb(Q)}{Q} \\ \frac{j\lambda MAX(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) - \frac{Mb(Q)}{Q}}{j\lambda MAX(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta I(Q\gamma, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) = 0.095$$

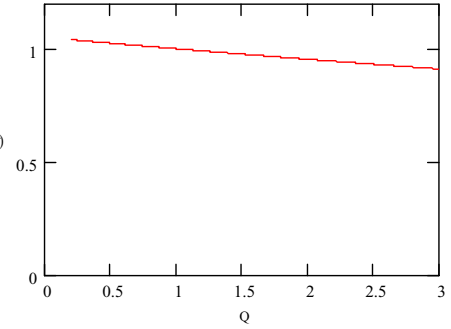
$$\frac{j\lambda MAX(Q\gamma, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off}) - j\lambda 0(Q\gamma, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})}{j\lambda MAX(Q\gamma, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})} = 0.095$$

Características Frente a Variaciones en la Carga

$$Q1 := 0.2 \quad Q\gamma = 1 \quad Q2 := 3 \quad Q := Q1, Q1 + \frac{Q1 + Q2}{1000} \dots Q2$$

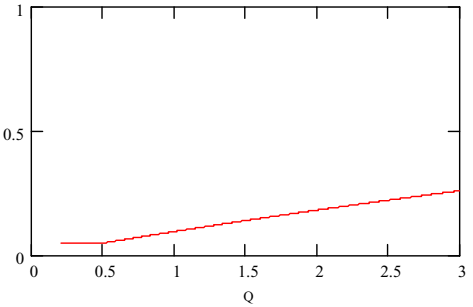
Potencia Media

$\Pi AVGLAMP(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})$



Rizado de Corriente

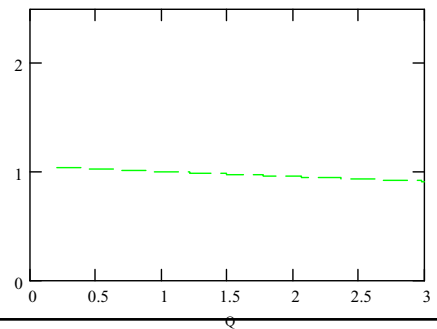
$\Delta I(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})$



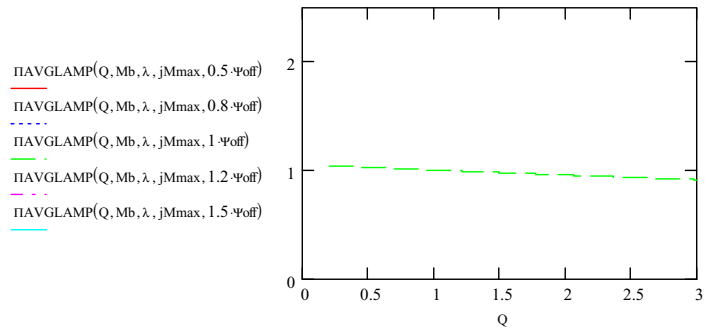
Potencia Frente a Variaciones en los Parámetros de Control

Variación de Corriente Máxima

$\Pi AVGLAMP(Q, Mb, \lambda, 0.5 \cdot jM_{max}, \Psi_{off})$
 $\Pi AVGLAMP(Q, Mb, \lambda, 0.8 \cdot jM_{max}, \Psi_{off})$
 $\Pi AVGLAMP(Q, Mb, \lambda, jM_{max}, \Psi_{off})$
 $\Pi AVGLAMP(Q, Mb, \lambda, 1.2 \cdot jM_{max}, \Psi_{off})$
 $\Pi AVGLAMP(Q, Mb, \lambda, 1.5 \cdot jM_{max}, \Psi_{off})$



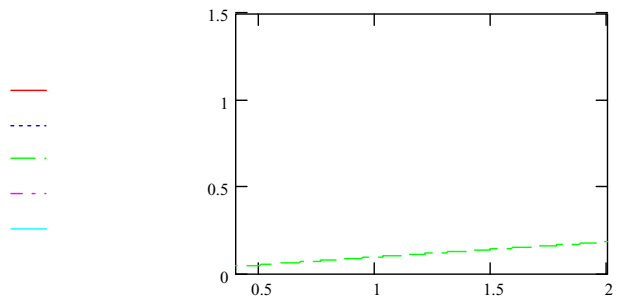
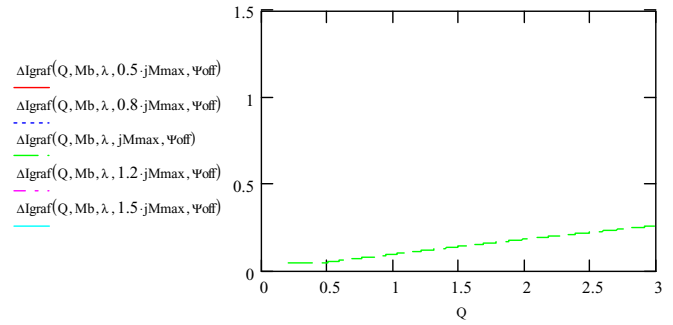
Variación de Toff



Potencia Frente a Variaciones en los Parámetros de Control

$$\Delta I_{graf}(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) := \begin{cases} \Delta I(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off}) & \text{if } (|\Delta I(Q, Mb, \lambda, jMmax, \Psi_{off})| < 2) \\ 2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Variación de Corriente Máxima



A.2.7 Análisis del inversor de 2 interruptores, controlado mediante frecuencia (Frec)

INVERSOR DE 2 INTERRUPTOR CONTROL freq

A partir de los valores de normalización,

$$P_b := 70$$

$$Z_b := 100$$

Para elegir un valor de bobina hacemos lo siguiente:

Se toma una frecuencia aproximada de en torno a 50 kHz

Haciendo el valor de permanente de una descarga exponencial como VP=5,

$$f_P := 40 \cdot 10^3 \quad T_P := \frac{1}{f_P} \quad V_P := 4 \quad L_b := \frac{Z_b \cdot V_P}{f_P} \quad L_b \cdot 10^3 = 10 \quad \text{mH}$$

$$L_b := 10 \cdot 10^{-3}$$

$$\Pi_{nom} := 1$$

se obtiene entonces los demás parámetros normalizados

$$U_b := \sqrt{P_b \cdot Z_b} \quad U_b = 83.666$$

$$I_b := \sqrt{\frac{P_b}{Z_b}} \quad I_b = 0.837$$

$$T_b := \frac{L_b}{Z_b}$$

$$\omega_b := \frac{1}{T_b} \quad \omega_b \cdot 10^{-3} = 10 \quad \text{kHz}$$

$$f_b := \frac{\omega_b}{2 \cdot \pi} \quad f_b \cdot 10^{-3} = 1.592 \quad \text{kHz}$$

Se define la Q de las gráficas:

$$Q_\gamma := 2$$

Parámetros que se fijan en el circuito (CONTROL ILmax):

$$M_b := \frac{42}{U_b} \quad M_b = 0.502$$

$$Q_{LAMP} := 0.8, 0.9, \dots, 1.5 \quad \text{Carga en la lámpara}$$

$$\lambda := 1 \quad \text{Inductancia normalizada (uno)}$$

$$\tau(Q_{LAMP}) := \frac{\lambda}{Q_{LAMP}}$$

El control ILmax

$$\Psi := 0.1 \quad \text{Periodo}$$

$$\Delta I_L(Q_{LAMP}, M_b, \lambda, \Psi) := \frac{\Psi \cdot M_b}{2 \cdot \lambda} \quad \Delta I_L(Q_\gamma, M_b, \lambda, \Psi) = 0.025$$

$$j\lambda_{MAX}(Q_{LAMP}, M_b, \lambda, \Psi) := \frac{M_b}{Q_{LAMP}} \cdot \left[\frac{-\left(1 - e^{\frac{-\Psi \cdot Q_{LAMP}}{2 \cdot \lambda}}\right) + 2 \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(1 + e^{\frac{-\Psi \cdot Q_{LAMP}}{2 \cdot \lambda}}\right) \cdot \frac{\Psi \cdot Q_{LAMP}}{4 \cdot \lambda \cdot M_b^2} \cdot (M_b^2 - \Pi_{nom} \cdot Q_{LAMP})}}{\left(1 - e^{\frac{-\Psi \cdot Q_{LAMP}}{2 \cdot \lambda}}\right)}}}{1 + e^{\frac{-\Psi \cdot Q_{LAMP}}{2 \cdot \lambda}}}$$

$$j\lambda_{MAX}(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi) = 0.73$$

$$j\lambda_{MAX}(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) := \frac{\frac{Mb \cdot \left(1 - e^{\frac{-\Psi \cdot QLAMP}{2\lambda}}\right)}{QLAMP} + \frac{Mb \cdot \Psi}{\lambda \cdot 2}}{1 - e^{\frac{-\Psi \cdot QLAMP}{2\lambda}}}$$

esta es la ecuación que garantiza régimen permanente

$$j\lambda_{MAX}(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi) = 0.515$$

$$j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) := j\lambda_{MAX}(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) - \Delta I_L(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi)$$

$$j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi) = 0.49$$

$$I_{L0} := I_b \cdot j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi) \quad I_{L0} = 0.41 \quad \text{Corriente Mínima en la carga}$$

$$j\lambda_{MAX}(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) := j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) + \Delta I_L(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi)$$

$$j\lambda_{MAX}(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi) = 0.515$$

$$I_{LMAX} := I_b \cdot j\lambda_{MAX}(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi) \quad I_{LMAX} = 0.431$$

Hay que definir T, D, jMmax, etc... en función de ILmax e ILmin:

$$T := T_b \cdot \Psi \quad T \cdot 10^6 = 10 \quad \mu s$$

$$D := 0.5$$

$$j\lambda_{MAX}(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi)$$

$$j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi) = 0.49$$

$$\Psi = 0.1$$

$$D = 0.5$$

$$T\gamma := \Psi \cdot T_b \quad f_\gamma := \frac{1}{T_\gamma} \quad f_\gamma \cdot 10^{-3} = 100 \quad \text{kHz}$$

$$\Psi_{origen} := 5 \cdot \Psi \quad \Psi_{origen} = 0.5$$

Definición de tiempos:

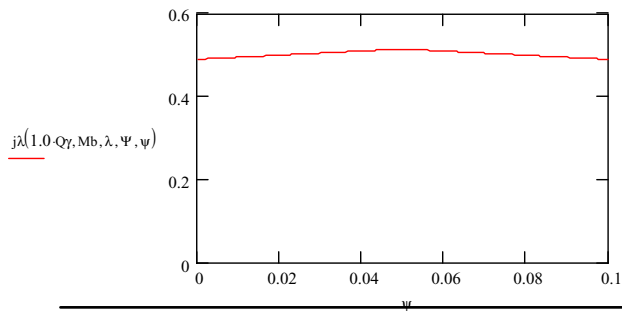
$$\psi := 0, \frac{\Psi_{origen}}{1000} .. \Psi_{origen}$$

Corriente por la bobina

$$j\lambda(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi, \psi) := \begin{cases} \left(j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) + \frac{Mb}{\lambda} \cdot \psi \right) & \text{if } 0 \leq \psi < D \cdot \Psi \\ \frac{Mb}{QLAMP} - \left(\frac{Mb}{QLAMP} - j\lambda_{MAX}(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) \right) \cdot e^{\left(\frac{\psi - D \cdot \Psi}{\tau(QLAMP)} \right)} & \text{if } (D \cdot \Psi \leq \psi \leq \Psi) \end{cases}$$

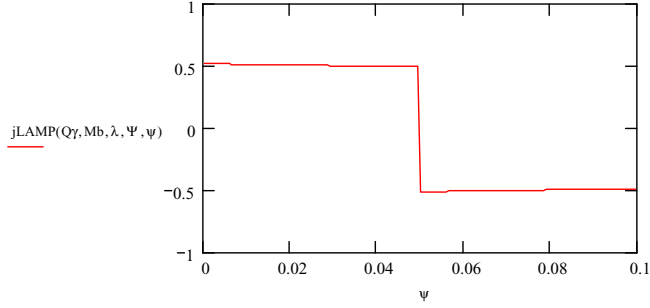
$$j\lambda(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi, 0) = 0.49$$

$$j\lambda(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi, \Psi) = 0.49$$



Corriente por la carga:

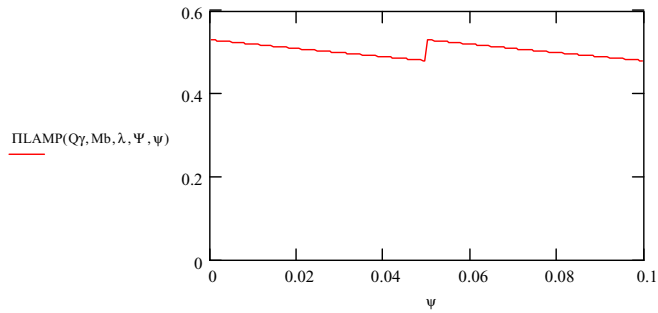
$$jLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb}{QLAMP} - \left(\frac{Mb}{QLAMP} - j\lambda MAX(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) \right) e^{-\left(\frac{\psi}{\tau(QLAMP)} \right)} & \text{if } 0 \leq \psi < D \cdot \Psi \\ \left[\frac{Mb}{QLAMP} - \left(\frac{Mb}{QLAMP} - j\lambda MAX(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) \right) e^{-\left(\frac{\psi - D \cdot \Psi}{\tau(QLAMP)} \right)} \right] & \text{if } (D \cdot \Psi \leq \psi < \Psi) \end{cases}$$



Potencia Instantánea por la Carga

$$\Pi LAMP(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi, \psi) := jLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi, \psi)^2 \cdot QLAMP$$

$$Q\gamma = 2$$



Potencia Media entregada a la carga:

$$\Pi AVGLAMP1(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) := \frac{Mb^2}{QLAMP} + \frac{\lambda \cdot (j\lambda MAX(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) \cdot QLAMP - Mb)^2}{QLAMP^2 \cdot \Psi} \cdot \left(1 - e^{-\frac{-\Psi}{\tau(QLAMP)}} \right)$$

$$\Pi AVGLAMP2(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) := \frac{4 \cdot \lambda \cdot Mb}{\Psi \cdot QLAMP^2} \cdot (j\lambda MAX(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) \cdot QLAMP - Mb) \cdot \left(1 - e^{-\frac{-\Psi}{2 \cdot \tau(QLAMP)}} \right)$$

$$\Pi AVGLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) := \Pi AVGLAMP1(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) + \Pi AVGLAMP2(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi)$$

$$\Pi AVGLAMP(Q\gamma, Mb, \lambda, \Psi) = 0.504$$

RIZADO DE CORRIENTE POR LA CARGA:

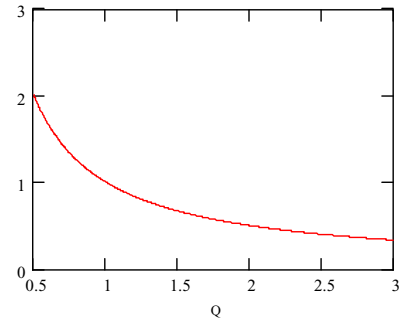
$$\Delta I(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) := \frac{j\lambda MAX(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi) - j\lambda 0(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi)}{j\lambda MAX(QLAMP, Mb, \lambda, \Psi)}$$

Características frente a la Carga

$$Q1 := 0.5 \quad Q\gamma := 1 \quad Q2 := 3 \quad Q := Q1, Q1 + \frac{Q1 + Q2}{1000} .. Q2$$

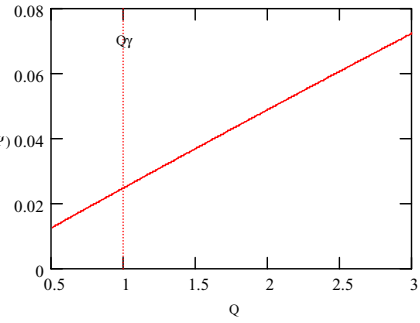
Potencia Media

$\Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, \Psi)$



Rizado de Corriente

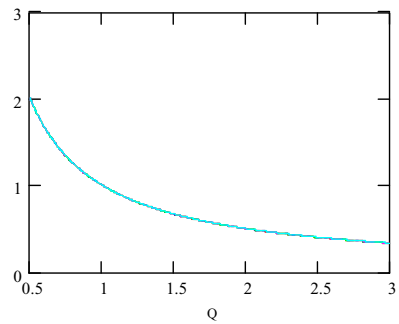
$\Delta I(Q, Mb, \lambda, \Psi)$



Variaciones de las Características frente a cambios en el Parámetro de Control

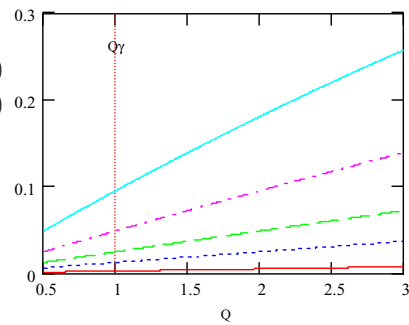
Potencia Media

$\Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, \Psi \cdot 1)$
 $\Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, \Psi \cdot 5)$
 $\Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, \Psi)$
 $\Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, \Psi \cdot 2)$
 $\Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, \Psi \cdot 4)$



Rizado de Corriente

$\Delta I(Q, Mb, \lambda, \Psi \cdot 0.1)$
 $\Delta I(Q, Mb, \lambda, \Psi \cdot 0.5)$
 $\Delta I(Q, Mb, \lambda, \Psi)$
 $\Delta I(Q, Mb, \lambda, \Psi \cdot 2)$
 $\Delta I(Q, Mb, \lambda, \Psi \cdot 4)$



A.2.8 Análisis del inversor de 2 interruptores, controlado mediante corriente máxima por la bobina (I_{LMAX})

INVERSOR DE 2 INTERRUPTOR CONTROL IL_{MAX}

A partir de los valores de normalización,

$$P_b := 70$$

$$Z_b := 100$$

Para elegir un valor de bobina hacemos lo siguiente:

Se toma una frecuencia aproximada de en torno a 50 kHz

Haciendo el valor de permanente de una descarga exponencial como $VP=5$,

$$f_P := 40 \cdot 10^3 \quad T_P := \frac{1}{f_P} \quad VP := 4 \quad L_b := \frac{Z_b \cdot VP}{f_P} \quad L_b \cdot 10^3 = 10 \quad \text{mH}$$

$$L_b := 10 \cdot 10^{-3}$$

se obtiene entonces los demás parámetros normalizados

$$U_b := \sqrt{P_b \cdot Z_b} \quad U_b = 83.666$$

$$I_b := \sqrt{\frac{P_b}{Z_b}} \quad I_b = 0.837$$

$$T_b := \frac{L_b}{Z_b} \quad T_b \cdot 10^6 = 100 \quad \mu\text{s}$$

$$\omega_b := \frac{1}{T_b} \quad \omega_b \cdot 10^{-3} = 10 \quad \text{kHz}$$

$$f_b := \frac{\omega_b}{2 \cdot \pi} \quad f_b \cdot 10^{-3} = 1.592 \quad \text{kHz}$$

Se define la Q de las gráficas:

$$Q_\gamma := 1$$

Parámetros que se fijan en el circuito (CONTROL IL_{max}):

$$M_b := \frac{42}{U_b} \quad M_b = 0.502 \quad U_{bus} := M_b \cdot U_b \quad U_{bus} = 42$$

$$Q_{LAMP} := 0.8, 0.81 \dots 1.5 \quad \text{Carga en la lámpara}$$

$$\lambda := 1 \quad \text{Inductancia normalizada (uno)}$$

$$\tau(Q_{LAMP}) := \frac{\lambda}{Q_{LAMP}}$$

El control IL_{max}

$$j\lambda_{MAX} := 1.05 \quad \text{Corriente Máxima en la CARGA} \quad I_{max} := j\lambda_{MAX} \cdot I_b \quad I_{max} = 0.878$$

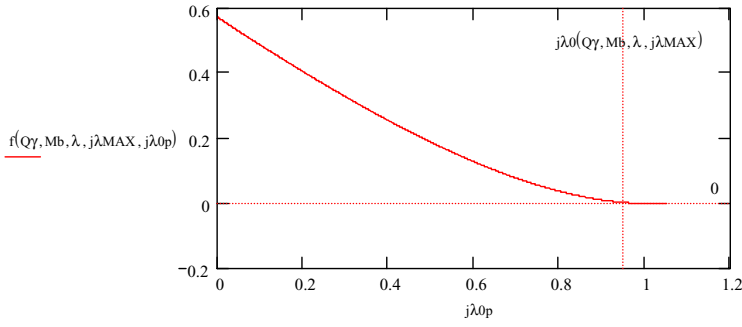
$$j\lambda_{MAX_lim} := 2 \cdot \frac{M_b}{Q_\gamma} \quad j\lambda_{MAX_lim} = 1.004$$

$$j\lambda_{Op} := 0, 0.001 \dots j\lambda_{MAX}$$

$$f(Q_{LAMP}, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}, X) := \frac{M_b}{Q_{LAMP}} - \left(\frac{M_b}{Q_{LAMP}} - j\lambda_{MAX} \right) e^{-\left(\frac{j\lambda_{MAX} - X}{M_b} \right) Q_{LAMP}} - X$$

$$X := .2$$

$$j\lambda_0(Q_{LAMP}, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}) := \text{root}(f(Q_{LAMP}, M_b, \lambda, j\lambda_{MAX}, X), X)$$



$$j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.951$$

$$IL_0 := Ib \cdot j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \quad IL_0 = 0.795 \quad \text{Corriente Mínima en la carga}$$

Hay que definir T, D, jλmax, etc... en función de ILmax e ILmin:

$$\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := \frac{j\lambda_{MAX} - j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{Mb} \cdot \lambda \cdot 2$$

$$\Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.396$$

$$T := Tb \cdot \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \quad T \cdot 10^6 = 39.613 \quad \mu s$$

$$j\lambda_{0comprobacion}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := j\lambda_{MAX} - \frac{Mb \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{2 \cdot \lambda}$$

$$j\lambda_{0comprobacion}(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.951$$

$$D := 0.5$$

$$j\lambda_{MAX} = 1.05$$

$$j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.951$$

$$\Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.396 \quad D = 0.5$$

$$T\gamma := \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \cdot Tb \quad f\gamma := \frac{1}{T\gamma}$$

$$T\gamma = 3.03 \times 10^{-4} \quad f\gamma \cdot 10^{-3} = 3.301 \quad \text{kHz}$$

$$\Psi_{origen} := 5 \cdot \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \quad \Psi_{origen} = 1.981$$

Definición de tiempos:

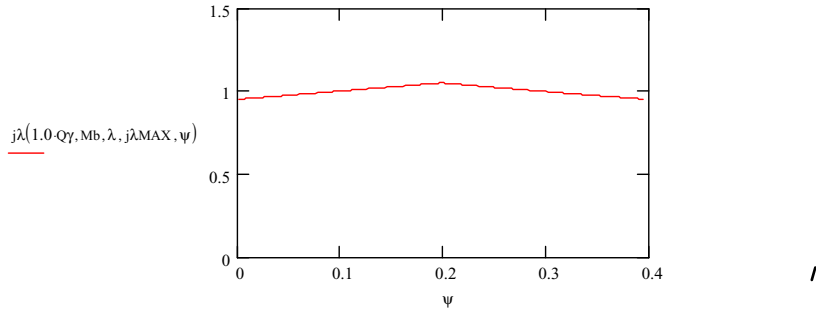
$$\psi := 0, \frac{\Psi_{origen}}{1000} \dots \Psi_{origen}$$

Corriente por la bobina

$$Carga(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) := j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) + \frac{Mb}{\lambda} \cdot \psi$$

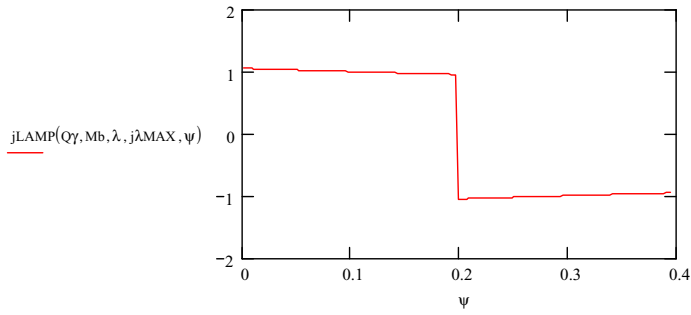
$$Descarga(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) := \frac{Mb}{QLAMP} - \left(\frac{Mb}{QLAMP} - j\lambda_{MAX} \right) \cdot e^{-\left(\frac{\psi - D \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{\tau(QLAMP)} \right)}$$

$$j\lambda(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) := \begin{cases} \text{Carga}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) & \text{if } 0 \leq \psi < D \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \\ \text{Descarga}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) & \text{if } (D \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \leq \psi < \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})) \end{cases}$$



Corriente por la carga:

$$jLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) := \begin{cases} \frac{Mb}{QLAMP} - \left(\frac{Mb}{QLAMP} - j\lambda_{MAX} \right) e^{-\left(\frac{\psi}{\tau(QLAMP)} \right)} & \text{if } 0 \leq \psi < D \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \\ -(\text{Descarga}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi)) & \text{if } (D \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \leq \psi < \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})) \end{cases}$$



Potencia Instantánea por la Carga

$$\Pi LAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) := QLAMP \cdot jLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi)^2$$

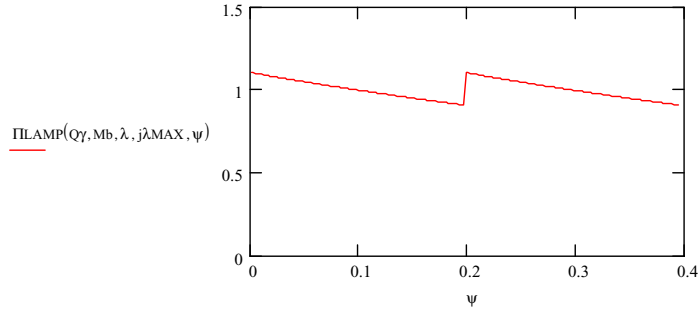
$$jLAMP_{RMS}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := \sqrt{\frac{\int_0^{\frac{\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{2}} jLAMP(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi)^2 d\psi}{\frac{\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{2}}}$$

$$jLAMP_{RMS}(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 1$$

$$MLAMP_{RMS}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := QLAMP \cdot jLAMP_{RMS}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})$$

$$MLAMP_{RMS}(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 1$$

$$\Pi_{comprobacion}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := jLAMP_{RMS}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})^2 \cdot QLAMP$$



Potencia Media entregada a la carga:

$$\begin{aligned} \Pi_{AVGLAMP}(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) &:= \frac{Mb^2}{QLAMP} + \frac{\lambda \cdot (j\lambda_{MAX} \cdot QLAMP - Mb)^2 \cdot \left(1 - e^{\frac{-\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{\tau(QLAMP)}}\right)}{QLAMP^2 \cdot \Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})} + \\ &+ \frac{4 \cdot \lambda \cdot Mb \cdot \left[(j\lambda_{MAX} \cdot QLAMP - Mb) \cdot \left(1 - e^{\frac{-\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{2 \cdot \tau(QLAMP)}}\right) \right]}{\Psi(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \cdot QLAMP^2} \end{aligned}$$

$$\Pi_{AVGLAMP}(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.999$$

RIZADO DE CORRIENTE POR LA CARGA:

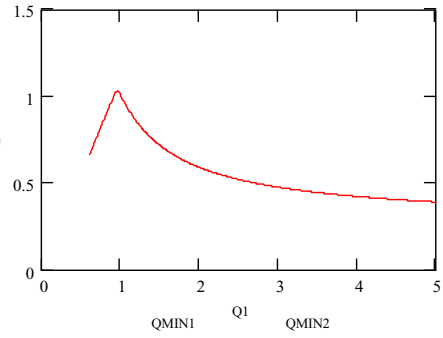
$$\Delta I(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := \frac{j\lambda_{MAX} - j\lambda_0(QLAMP, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{j\lambda_{MAX}} \quad \Delta I(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.095$$

Características en función de la Carga

$$Q_{MIN} := 0.6 \quad Q_{FIN} := 5 \quad Q_1 := Q_{MIN}, Q_{MIN} + 0.01 \dots Q_{FIN}$$

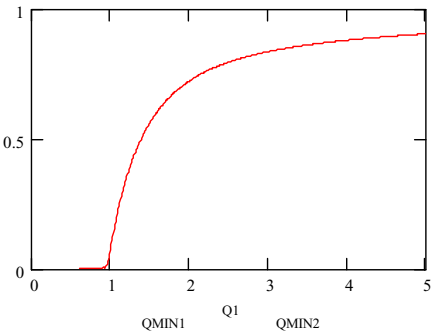
Potencia Media

$$\Pi_{AVGLAMP}(Q_1, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})$$



Rizado de Corriente

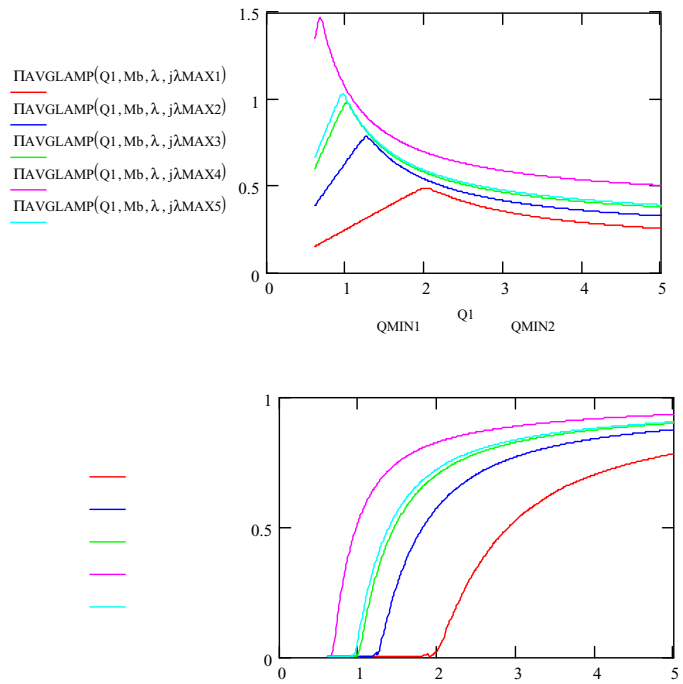
$$\Delta I(Q_1, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})$$



Variación de Características con el Parámetro de Control

$j\lambda_{MAX1} := 0.5$ $j\lambda_{MAX3} := 1$ $j\lambda_{MAX5} := 1.05$
 $j\lambda_{MAX2} := 0.8$ $j\lambda_{MAX4} := 1.5$

potencia



A.2.9 Análisis del inversor de 2 interruptores, controlado mediante corriente máxima por la bobina (I_{LMAX}), variando los parámetros de control en función de la carga equivalente que presenta la lámpara.

INVERSOR DE 2 INTERRUPTOR CONTROL $I_{L\text{MAX}}$ CON VARIACIONES PROPUESTAS

A partir de los valores de normalización, referentes a valores nominales de lámpara nueva

$$P_b := 70$$

$$Z_b := 100$$

Para elegir un valor de bobina hacemos lo siguiente:

Se toma una frecuencia aproximada de en torno a 50 kHz

Haciendo el valor de permanente de una descarga exponencial como $VP=5$,

$$f_P := 40 \cdot 10^3 \quad T_P := \frac{1}{f_P} \quad VP := 4 \quad L_b := \frac{Z_b \cdot VP}{f_P} \quad L_b \cdot 10^3 = 10 \quad \text{mH}$$

$$L_b := 10 \cdot 10^{-3}$$

se obtiene entonces los demás parámetros normalizados

$$U_b := \sqrt{P_b \cdot Z_b} \quad U_b = 83.666$$

$$I_b := \sqrt{\frac{P_b}{Z_b}} \quad I_b = 0.837$$

$$T_b = \frac{L_b}{Z_b} \quad T_b \cdot 10^6 = 100 \quad \mu\text{s}$$

$$\omega_b := \frac{1}{T_b} \quad \omega_b \cdot 10^{-3} = 10 \quad \text{kHz}$$

$$f_b := \frac{\omega_b}{2 \cdot \pi} \quad f_b \cdot 10^{-3} = 1.592 \quad \text{kHz}$$

Se define la Q de las gráficas:

$$Q\gamma := 1$$

Parámetros que se fijan en el circuito (CONTROL $I_{L\text{max}}$):

$$\text{Varc}(Q) := \sqrt{Q} \quad \text{función que hará variar el valor de } M_b \text{ y } j\lambda_{\text{MAX}} \text{ con las variaciones de } Q$$

$$M_{b0} := \frac{1}{2} \quad \text{tensión de bus de partida, obtenida del inversor degenerado de } \lambda = \text{inf.}$$

$$U_{\text{bus}} := M_{b0} \cdot U_b \quad U_{\text{bus}} = 41.833$$

$$M_b(Q) := \text{Varc}(Q) \cdot M_{b0}$$

$$Q := 0.8, 0.81 \dots 2 \quad \text{Carga en la lámpara}$$

$\lambda := 1$ Inductancia normalizada (uno)

$$\tau(Q) := \frac{\lambda}{Q}$$

El control ILmax

$$j\lambda_{MAX_lim} := 2 \cdot \frac{Mb(Q\gamma)}{Q\gamma} \quad \text{Valor límite correspondiente al inversor degenerado}$$

$$j\lambda_{MAX_lim} = 1 \quad \text{El valor que se tomará debe ser algo mayor}$$

$$j\lambda_{MAX0} := 1.04$$

$$j\lambda_{MAX}(Q) := \frac{j\lambda_{MAX0}}{Varc(Q)}$$

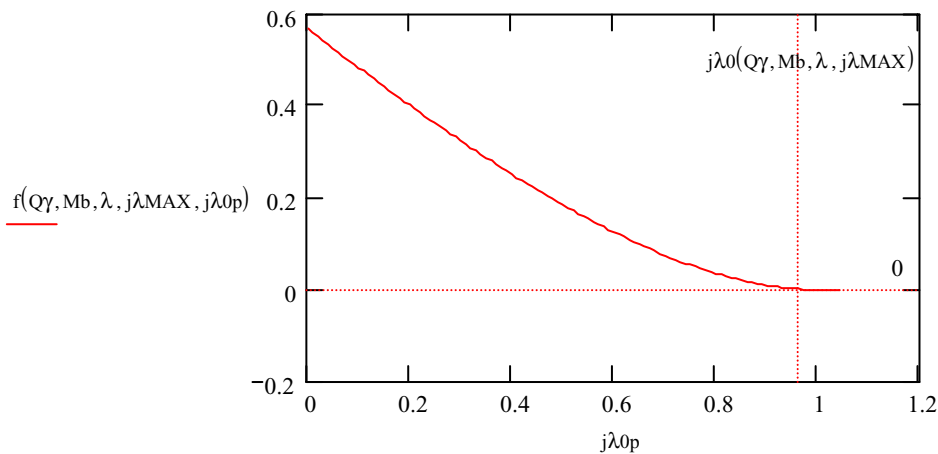
Cálculo numérico de $j\lambda_0$

$$j\lambda_{0p} := 0, 0.01.. j\lambda_{MAX}(1)$$

$$f(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, X) := \frac{Mb(Q)}{Q} - \left(\frac{Mb(Q)}{Q} - j\lambda_{MAX}(Q) \right) \cdot e^{-\left(\frac{j\lambda_{MAX}(Q) - X}{Mb(Q)} \right) \cdot Q} - X$$

$$X := .2 \quad \text{Valor inicial}$$

$$j\lambda_0(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := \text{root}(f(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, X) \cdot 100, X)$$



$$j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.962$$

$$IL_0 := Ib \cdot j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \quad IL_0 = 0.805 \quad \text{Corriente Mínima en la carga}$$

$$I_{max} := j\lambda_{MAX}(1) \cdot Ib \quad I_{max} = 0.87 \quad \text{Corriente Máxima en la CARGA}$$

$$(I_{max} - IL_0) \cdot 10 = 0.652 \quad \text{valor de tensión en el que discriminar}$$

$$\Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = \frac{j\lambda_{MAX}(Q) - j\lambda_0(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{Mb(Q)}$$

$$\Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.312$$

$$T := Tb \cdot \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \quad T \cdot 10^6 = 31.195 \quad \mu s$$

$$D := 0.5$$

$$j\lambda_{MAX}(Q\gamma) = 1.04$$

$$j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.962$$

$$\Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 0.312 \quad D = 0.5$$

$$T\gamma := \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \cdot Tb \quad f\gamma := \frac{1}{T\gamma}$$

$$T\gamma = 3.12 \times 10^{-5} \quad f\gamma \cdot 10^{-3} = 32.056 \quad kHz$$

$$\Psi_{origen} := 1 \cdot \Psi(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \quad \Psi_{origen} = 0.312$$

Definicion de tiempos:

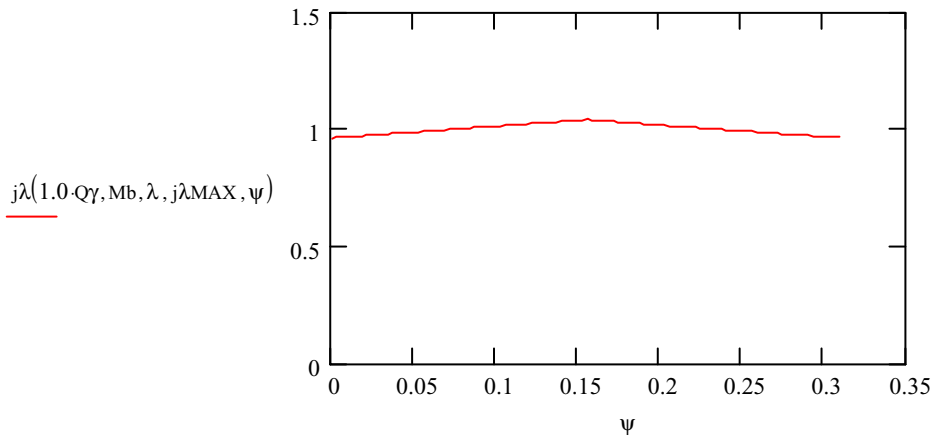
$$\psi := 0, \frac{\Psi_{origen}}{100} .. \Psi_{origen}$$

Corriente por la bobina

$$carga(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) := j\lambda_0(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) + \frac{Mb(Q)}{\lambda} \cdot \psi$$

$$descarga(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) := \frac{Mb(Q)}{Q} - \left(\frac{Mb(Q)}{Q} - j\lambda_{MAX}(Q) \right) \cdot e^{-\left(\frac{\psi - D \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{\tau(Q)} \right)}$$

$$j\lambda(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) := \begin{cases} carga(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) & \text{if } 0 \leq \psi < D \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \\ descarga(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi) & \text{if } (D \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) \leq \psi < \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})) \end{cases}$$

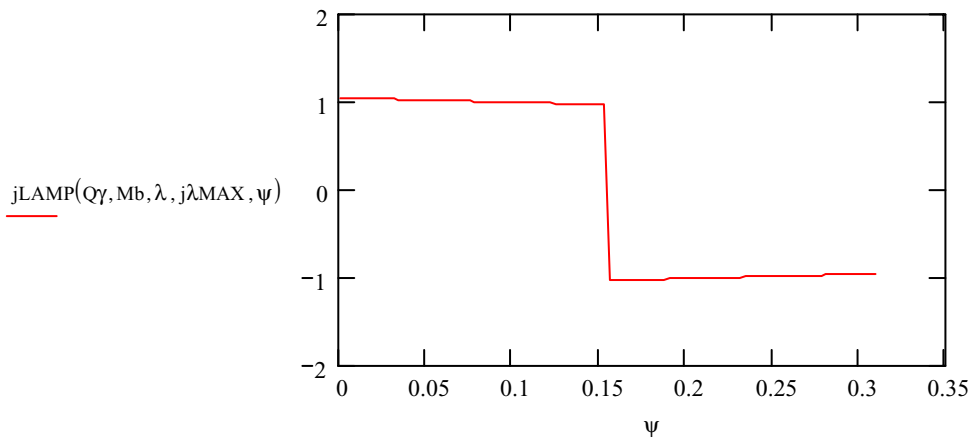


Corriente por la carga:

$$Q_{\text{semip1}}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \psi) := \frac{Mb(Q)}{Q} - \left(\frac{Mb(Q)}{Q} - j\lambda_{\text{MAX}}(Q) \right) \cdot e^{-\left(\frac{\psi}{\tau(Q)} \right)}$$

$$Q_{\text{semip2}}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \psi) := - \left[\frac{Mb(Q)}{Q} - \left(\frac{Mb(Q)}{Q} - j\lambda_{\text{MAX}}(Q) \right) \cdot e^{-\left(\frac{\psi - D \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}})}{\tau(Q)} \right)} \right]$$

$$jLAMP(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \psi) := \begin{cases} Q_{\text{semip1}}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \psi) & \text{if } 0 \leq \psi < D \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}) \\ Q_{\text{semip2}}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \psi) & \text{if } (D \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}) \leq \psi < \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}})) \end{cases}$$



Potencia Instantánea por la Carga

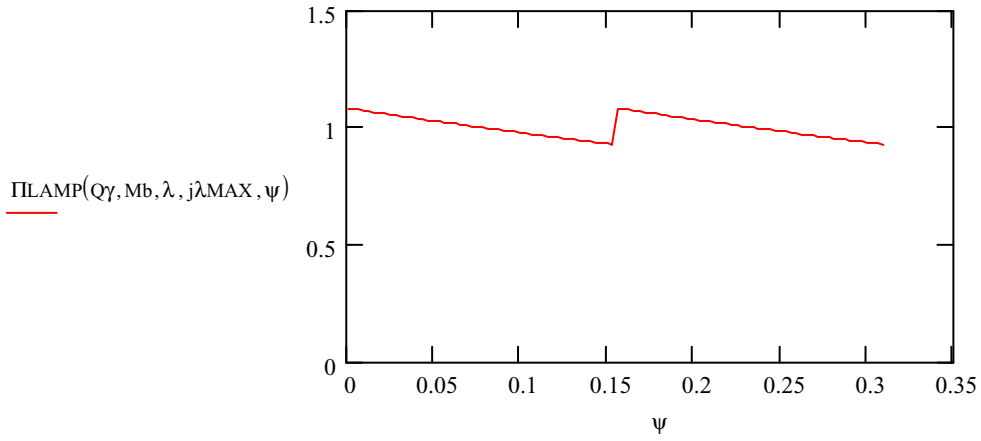
$$\Pi LAMP(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \psi) := Q \cdot jLAMP(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{\text{MAX}}, \psi)^2$$

$$jLAMP_{RMS}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := \sqrt{\frac{\int_0^{\frac{\Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{2}} jLAMP(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}, \psi)^2 d\psi}{\frac{\Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{2}}}$$

$$jLAMP_{RMS}(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 1$$

$$MLAMP_{RMS}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := Q \cdot jLAMP_{RMS}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})$$

$$MLAMP_{RMS}(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 1$$



Potencia Media entregada a la carga:

$$\Pi_{AVGLAMP}(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := \frac{Mb(Q)^2}{Q} + \frac{\frac{-\Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{2 \cdot \tau(Q)} + \frac{4 \cdot Mb(Q)}{Mb(Q) - j\lambda_{MAX}(Q) \cdot Q}}{1 + e^{\frac{Q^2 \cdot \Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{\lambda \cdot (Mb(Q) - j\lambda_{MAX}(Q) \cdot Q)^2 \cdot \left(1 - e^{\frac{-\Psi(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{2 \cdot \tau(Q)}}\right)}}}$$

$$\Pi_{AVGLAMP}(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) = 1$$

RIZADO DE CORRIENTE POR LA CARGA:

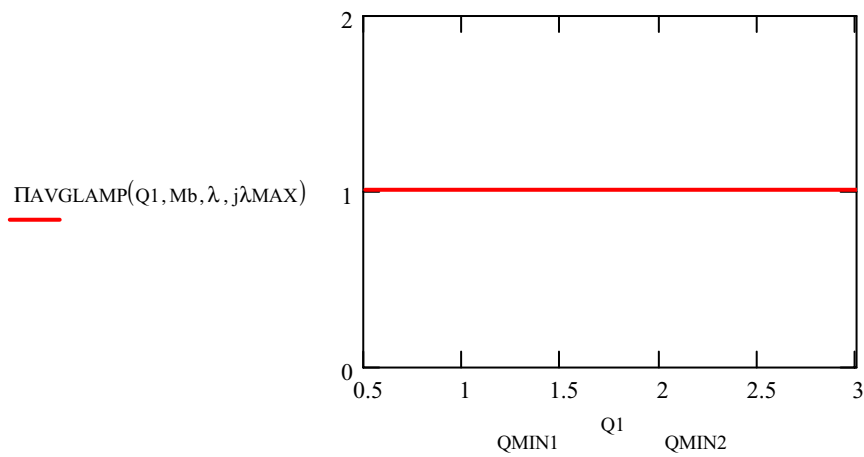
$$\Delta I(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX}) := \frac{j\lambda_{MAX}(Q) - j\lambda_0(Q, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{j\lambda_{MAX}(Q)}$$

$$\frac{j\lambda_{MAX}(Q\gamma) - j\lambda_0(Q\gamma, Mb, \lambda, j\lambda_{MAX})}{j\lambda_{MAX}(Q\gamma)} = 0.075$$

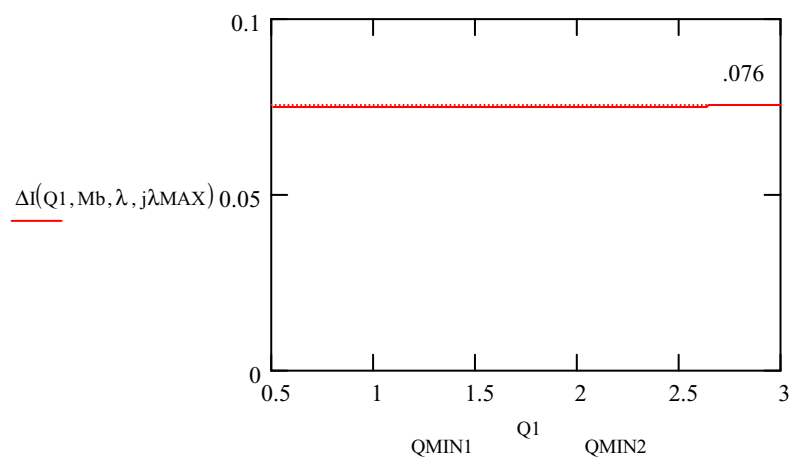
$Q_{FIN} := 3$

$Q_1 := 0.5, 0.5 + 0.01 \dots Q_{FIN}$

CARACTERÍSTICA DE POTENCIA MEDIA



CARACTERÍSTICA DE RIZADO DE CORRIENTE



CONTENIDOS ARMÓNICOS DE LA POTENCIA EN FUNCIÓN DE FORMAS DE ONDA DE CORRIENTE

Forma de onda cuasi cuadrada con rampa

$P_m := 1$ potencia media por la lámpara

$T := 1$ periodo normalizado

$t := 0, 0.001 \dots 1$ tiempos

$D := 0.4, 0.405 \dots 0.6$ Margen de ciclos de trabajo

$D_n := 0.5195$ Valor para representar gráficamente

$x1(D) := D \cdot T$ $x2(D) := T$ Coordenadas de tiempos de la rampa

$pctgi := 0.15$ rizado pico a pico de corriente en la rampa sobre la corriente media por la rampa

$I_m := \sqrt{P_m}$ Corriente absoluta Media por la Lámpara

$$I_r(D, pctgi) = \frac{1}{\sqrt{(1-D) \left[\frac{(1-D)}{D} + \frac{4}{3} \frac{[(pctgi-1)^3 + 1]}{(pctgi-2)^2 \cdot pctgi} \right]}}$$

Valor de la corriente en la zona plana en función del rizado y del ciclo de trabajo

$$I_r(D_n, pctgi) = 1.039$$

$$I_p(D, pctgi) := I_r(D, pctgi) \cdot \left(\frac{1-D}{D} \right)$$

Valores Máximo y Mínimo de la Corriente

$$I_{max}(D, pctgi) := I_r(D, pctgi) \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{2} \cdot pctgi} \quad I_{max}(D_n, pctgi) = 1.123$$

$$I_{min}(D, pctgi) := I_r(D, pctgi) \cdot \left(\frac{1 - pctgi}{1 - \frac{1}{2} \cdot pctgi} \right) \quad I_{min}(D_n, pctgi) = 0.955$$

Rizado de Corriente

$$\Delta I(D, pctgi) := \frac{I_{max}(D, pctgi) - I_{min}(D, pctgi)}{I_{max}(D, pctgi)} \quad \frac{1 - D_n}{D_n} = 0.925$$

$$\Delta I(D_n, pctgi) = 0.15$$

Forma de onda de corriente

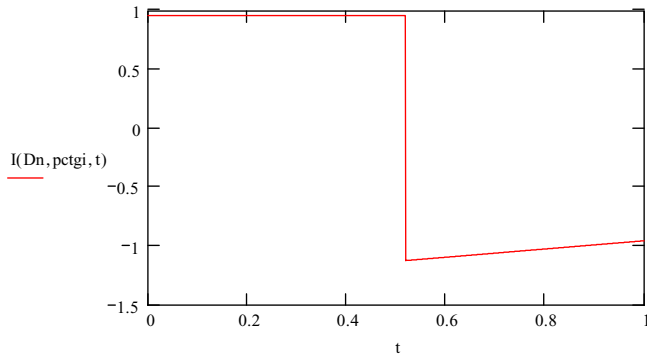
$$y1(D, pctgi) := I_{max}(D, pctgi) \quad y2(D, pctgi) := I_{min}(D, pctgi)$$

$$m1(D, pctgi) := \frac{y1(D, pctgi) - y2(D, pctgi)}{x1(D) - x2(D)} \quad b1(D, pctgi) := \frac{y2(D, pctgi) \cdot x1(D) - y1(D, pctgi) \cdot x2(D)}{x1(D) - x2(D)}$$

$$m1(D, pctgi) := I_r(D, pctgi) \cdot \frac{pctgi}{\left(1 - \frac{pctgi}{2} \right) (D-1) \cdot T}$$

$$b1(D, pctgi) := I_r(D, pctgi) \cdot \frac{D \cdot (1 - pctgi) - 1}{\left(1 - \frac{pctgi}{2} \right) (D-1)}$$

$$I(D, \text{pctgi}, t) := \begin{cases} I_p(D, \text{pctgi}) & \text{if } 0 \leq t < D \cdot T \\ [-m_l(D, \text{pctgi}) \cdot t + b_l(D, \text{pctgi})] & \text{otherwise} \end{cases}$$



CORRIENTE

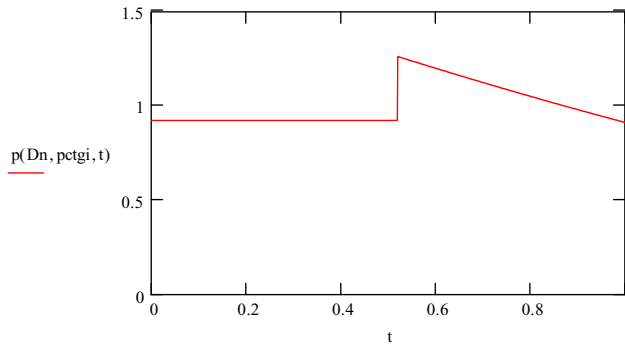
Coordenadas de la potencia instantánea en los extremos de la rampa de corriente

$$y1(D, \text{pctgi}) := \left[\text{Im} \cdot \frac{D}{1-D} \cdot (1 + \text{pctgi}) \right]^2 \quad y2(D, \text{pctgi}) := \left[\text{Im} \cdot \frac{D}{1-D} \cdot (1 - \text{pctgi}) \right]^2$$

$$b(D, \text{pctgi}) := \frac{y2(D, \text{pctgi}) \cdot x1(D) - y1(D, \text{pctgi}) \cdot x2(D)}{x1(D) - x2(D)}$$

$$m(D, \text{pctgi}) := \frac{y1(D, \text{pctgi}) - y2(D, \text{pctgi})}{x1(D) - x2(D)}$$

$$p(D, \text{pctgi}, t) := \begin{cases} I_p(D, \text{pctgi})^2 & \text{if } 0 \leq t < D \cdot T \\ [m_l(D, \text{pctgi}) \cdot (t) + b_l(D, \text{pctgi})]^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$



POTENCIA INSTANTÁNEA

$$p(Dn, \text{pctgi}, Dn \cdot T) = 1.262$$

$$p(Dn, \text{pctgi}, T) = 0.912$$

$$\Delta P(Dn, \text{pctgi}) := (p(Dn, \text{pctgi}, Dn \cdot T) - p(Dn, \text{pctgi}, T)) \cdot 100$$

$$\Delta P(Dn, \text{pctgi}) = 35.025$$

$$p_m(D, \text{pctgi}) := \frac{\int_0^T p(D, \text{pctgi}, t) dt}{T} \quad p_m(Dn, \text{pctgi}) = 1$$

TRANSFORMADA DE FOURIER

$$n := 0, 1 \dots 10$$

$$A(D, n) := \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(D, t) \cdot \cos\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{T}\right) dt \quad B(D, n) := \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(D, t) \cdot \sin\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{T}\right) dt$$

$$C(D, n) = \sqrt{(A(D, n))^2 + (B(D, n))^2} \quad \text{PCM}(D, n) := \frac{C(D, n)}{pm(D)}$$

**Forma de onda cuasi cuadrada con descarga exponencial
(Inversor 1 Interruptor)**

Los ciclos de trabajo y los tiempos son lo mismo. Necesitamos introducir la constante de tiempos de la descarga.

pctgR := 15 porcentaje del rizado pico a pico de corriente en la descarga
sobre la corriente media por la rampa

Im := $\sqrt{P_m}$ Corriente absoluta Media por la Lámpara

Rizado de corriente pctgR = 15 Pm = 1
Dn = 0.519

$$\Delta IR(D) := \frac{\text{pctgR}}{100} \quad \frac{\text{pctgR}}{100} = 0.15 \quad \Delta IR(Dn) = 0.15$$

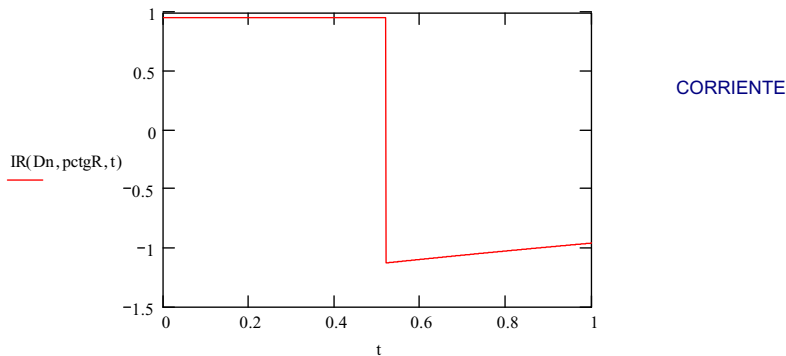
$$\tau(D, \text{pctgR}) := \frac{-(1-D) \cdot T}{\ln\left(1 - \frac{\text{pctgR}}{100}\right)} \quad \tau(Dn, \text{pctgR}) = 2.957$$

$$I_{\text{max2}}(D, \text{pctgR}) := \sqrt{\frac{1}{\frac{\tau(D, \text{pctgR})^2 \cdot \left(\frac{\text{pctgR}}{100}\right)^2}{T^2 \cdot D} + \frac{\tau(D, \text{pctgR})}{2 \cdot T} \left[1 - e^{-2 \cdot \frac{(1-D) \cdot T}{\tau(D, \text{pctgR})}}\right]}}$$

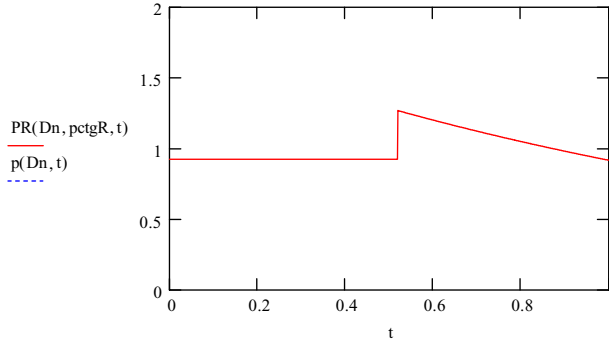
$$I_{\text{max2}}(Dn, \text{pctgR}) = 1.126$$

$$IR1(D, \text{pctgR}) := \left| \frac{\frac{\text{pctgR}}{100} \cdot I_{\text{max2}}(D, \text{pctgR}) \cdot \tau(D, \text{pctgR})}{T \cdot D} \right| \quad IR1(Dn, \text{pctgR}) = 0.961$$

$$IR(D, \text{pctgR}, t) := \begin{cases} IR1(D, \text{pctgR}) & \text{if } 0 \leq t \leq D \cdot T \\ \left[-I_{\text{max2}}(D, \text{pctgR}) \cdot e^{\frac{-(t-D \cdot T)}{\tau(D, \text{pctgR})}} \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$



$$PR(D, \text{pctgR}, t) := IR(D, \text{pctgR}, t)^2$$



POTENCIA INSTANTÁNEA

$$pRm(D, \text{pctgR}) := \frac{\int_0^T PR(D, \text{pctgR}, t) dt}{T} \quad pRm(Dn, \text{pctgR}) = 1$$

TRANSFORMADA DE FOURIER

$$n := 0, 1, \dots, 10$$

$$AR(D, \text{pctgR}, n) := \frac{1}{T} \cdot \int_0^T PR(D, \text{pctgR}, t) \cdot \cos\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{T}\right) dt$$

$$BR(D, \text{pctgR}, n) := \frac{1}{T} \cdot \int_0^T PR(D, \text{pctgR}, t) \cdot \sin\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{T}\right) dt$$

$$CR(D, \text{pctgR}, n) := \sqrt{(AR(D, \text{pctgR}, n))^2 + (BR(D, \text{pctgR}, n))^2}$$

$$PCMR(D, n) := \frac{CR(D, \text{pctgR}, n)}{pRm(D, \text{pctgR})}$$

$$An(D, \text{pctgR}, n) := \frac{-\tau(D, \text{pctgR}) \cdot I_{\max 2}(D, \text{pctgR})^2}{2 \cdot (T^2 + n^2 \cdot \pi^2 \cdot \tau(D, \text{pctgR})^2)} \left[T \cdot e^{-2 \cdot \frac{(1-D) \cdot T}{\tau(D, \text{pctgR})}} - (T \cdot \cos(2 \cdot D \cdot n \cdot \pi) - n \cdot \pi \cdot \tau(D, \text{pctgR}) \cdot \sin(2 \cdot D \cdot n \cdot \pi)) \right] + \frac{IR1(D, \text{pctgR})^2}{n \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \sin(D \cdot 2 \cdot n \cdot \pi)$$

$$Bn1(D, \text{pctgR}, n) := \frac{-\tau(D, \text{pctgR}) \cdot I_{\max 2}(D, \text{pctgR})^2}{2 \cdot (T^2 + n^2 \cdot \pi^2 \cdot \tau(D, \text{pctgR})^2)} \left[\left[n \cdot \pi \cdot \tau(D, \text{pctgR}) \cdot e^{-2 \cdot \frac{(1-D) \cdot T}{\tau(D, \text{pctgR})}} - n \cdot \pi \cdot \tau(D, \text{pctgR}) \cdot \cos(2 \cdot D \cdot n \cdot \pi) \right] - T \cdot \sin(2 \cdot D \cdot n \cdot \pi) \right]$$

$$Bn2(D, \text{pctgR}, n) := \frac{IR1(D, \text{pctgR})^2}{2 \cdot n \cdot \pi} \cdot \frac{(\cos(2 \cdot n \cdot \pi \cdot D) - 1)}{1}$$

$$Bn(D, \text{pctgR}, n) := Bn1(D, \text{pctgR}, n) - Bn2(D, \text{pctgR}, n)$$

$$CR(D, \text{pctgR}, n) := \sqrt{(An(D, \text{pctgR}, n))^2 + (Bn(D, \text{pctgR}, n))^2}$$

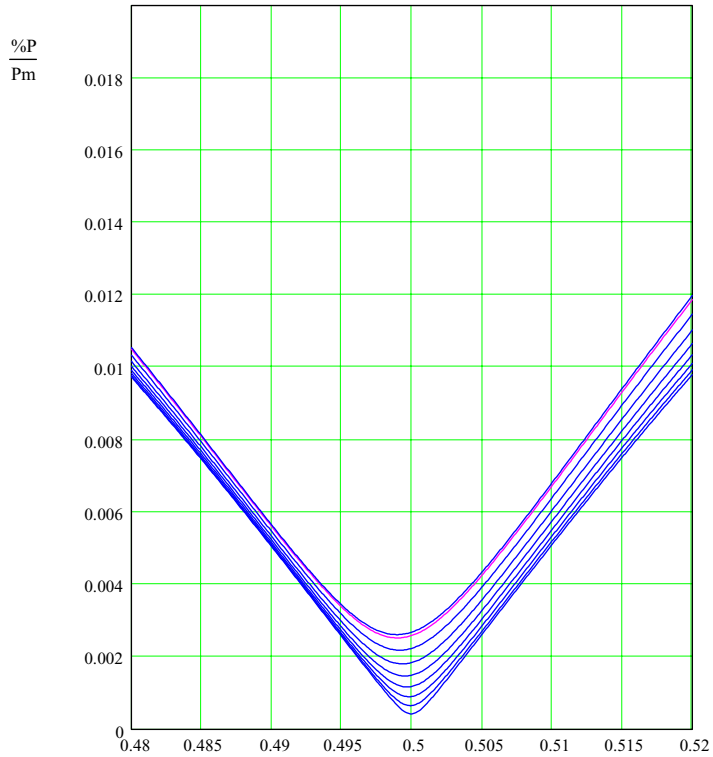
pctgR: PORCENTAJES DE RIZADO DE CORRIENTE ABSOLUTA

D: CICLO DE TRABAJO

D := 0.48, 0.4801 .. 0.52

NÚMERO DE ARMÓNICO

n := 5



Forma de onda cuasi cuadrada con dos descargas exponenciales (Inversor 2 Interruptor)

El ciclo de trabajo va a ser siempre 0.5; por comodidad, se sigue dejando los parámetros en función del duty.

pctg := 12 porcentaje del rizado pico a pico de corriente en la descarga sobre la corriente media por la rampa

pctgD := pctg

$I_m := \sqrt{P_m}$ Corriente absoluta Media por la Lámpara

$\Delta I_R(D) := \frac{\text{pctgD}}{100 \cdot 2} \cdot I_m$ Rizado de corriente $\Delta I_R(D_n) := 0.15$

Corrientes Máxima y Mínima

$$I_{\max}(D) := I_m + \frac{\Delta I_R(D_n)}{2} \quad I_{\min}(D) := I_m - \frac{\Delta I_R(D_n)}{2}$$

Constante de tiempos

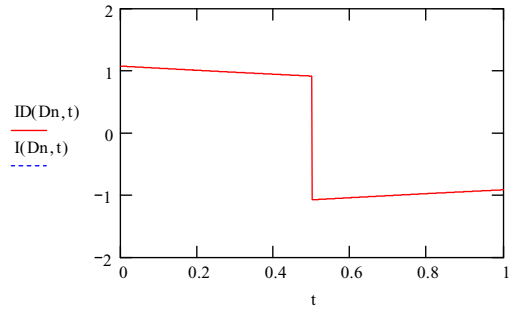
$$\tau(D) := \frac{-0.5 \cdot T}{\ln(1 - \Delta I_R(D))} \quad \tau(D_n) = 3.077$$

Corriente en la carga

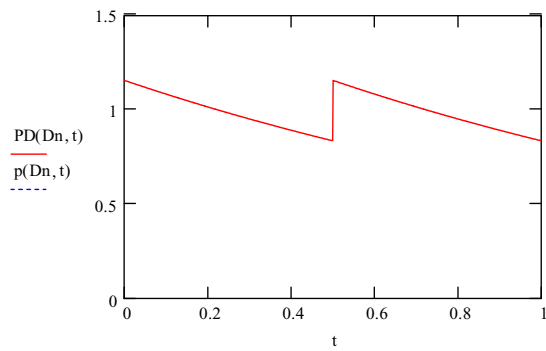
POTENCIA EN LA CARGA

$$ID(D, t) := \begin{cases} \left[\begin{array}{c} \frac{- (t)}{\tau(D)} \\ I_{\max}(D) \cdot e^{\frac{- (t)}{\tau(D)}} \end{array} \right] & \text{if } 0 \leq t < 0.5 \cdot T \\ \left[\begin{array}{c} \frac{- (t-0.5T)}{\tau(D)} \\ -I_{\max}(D) \cdot e^{\frac{- (t-0.5T)}{\tau(D)}} \end{array} \right] & \text{if } 0.5 \cdot T \leq t < T \end{cases}$$

$$PD(D, t) := (ID(D, t))^2$$



CORRIENTE



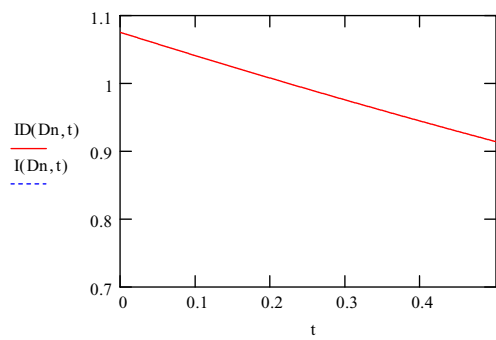
POTENCIA

DEFINIENDOLA DE NUEVO EN UN SEMIPERIDO:

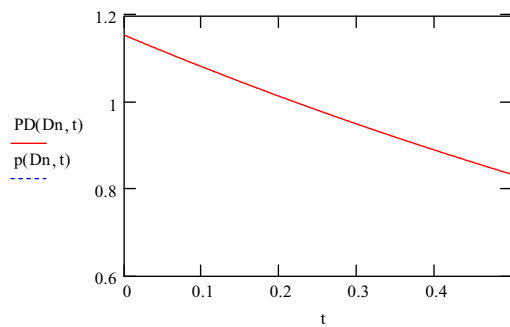
$$T_d := \frac{T}{2}$$

$$ID(D, t) := I_{\max}(D) \cdot e^{\frac{- (t)}{\tau(D)}}$$

$$PD(D, t) := (ID(D, t))^2$$



CORRIENTE



POTENCIA

$$pDm(D) = \frac{\int_0^{T_d} PD(D, t) dt}{T_d} \quad pDm(Dn) = 0.987$$

TRANSFORMADA DE FOURIER

$$n := 0, 1..10$$

$$AD(D, n) := \frac{1}{T_d} \cdot \int_0^{T_d} PD(D, t) \cdot \cos\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{T_d}\right) dt \quad BD(D, n) := \frac{1}{T_d} \cdot \int_0^{T_d} PD(D, t) \cdot \sin\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{T_d}\right) dt$$

$$CD(D, n) := \sqrt{(AD(D, n))^2 + (BD(D, n))^2} \quad PCMD(D, n) := \frac{CD(D, n)}{pDm(D)}$$

$$PCMD(Dn, 1) = 0.052$$

$$PCMD(Dn, 2) = 0.026$$

Forma de onda rectangular asimétrica

$Pm := 1$ potencia media por la lámpara

$T := 1$ periodo normalizado

$t := 0, 0.001..1$ tiempos

$D := 0.4, 0.405..0.6$ Margen de ciclos de trabajo

$x1(D) := D \cdot T$ $x2(D) := T$ Coordenadas de tiempos

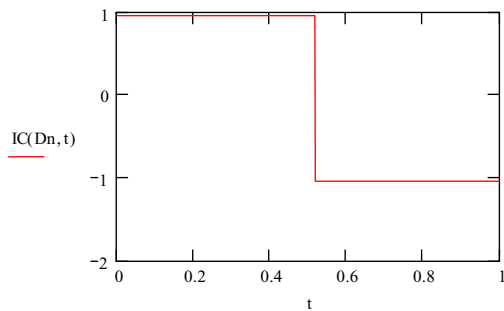
$Im := \sqrt{Pm}$ Corriente absoluta Media por la Lámpara

$IIC(D) := Im \cdot \sqrt{\frac{1-D}{D}}$ Valor de la corriente en la zona plana en función del rizado y del ciclo de trabajo

$$IIC(Dn) = 0.962$$

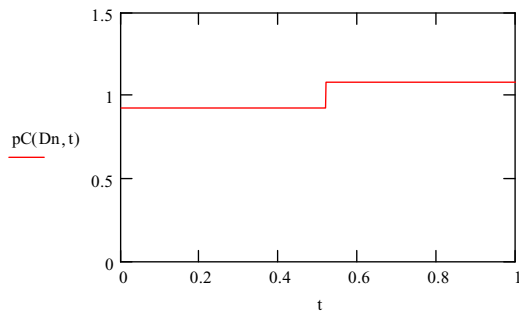
Forma de onda de corriente

$$IC(D, t) := \begin{cases} IIC(D) & \text{if } 0 \leq t < D \cdot T \\ -IIC(D) \cdot \frac{D}{1-D} & \text{otherwise} \end{cases}$$



Coordenadas de la potencia instantánea en los extremos de la rampa de corriente

$$pC(D, t) := IC(D, t)^2$$



$$\Delta PC(Dn) := |(pC(Dn, 0) - pC(Dn, T)) \cdot 100|$$

$$\Delta PC(Dn) = 15.624$$

$$pCm(D) := \frac{\int_0^T pC(D, t) dt}{T} \quad pCm(Dn) = 1$$

TRANSFORMADA DE FOURIER

$$n := 0, 1 \dots 10$$

$$AC(D, n) := \frac{1}{T} \cdot \int_0^T pC(D, t) \cdot \cos\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{T}\right) dt \quad BC(D, n) := \frac{1}{T} \cdot \int_0^T pC(D, t) \cdot \sin\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{T}\right) dt$$

$$CC(D, n) := \sqrt{(AC(D, n))^2 + (BC(D, n))^2} \quad PCMC(D, n) := \frac{CC(D, n)}{pCm(D)}$$

$$AC2(D, n) := \frac{1}{2 \cdot n \cdot \pi} \cdot \frac{1 - 2 \cdot D}{D \cdot (1 - D)} \cdot \sin(2 \cdot n \cdot D \cdot \pi) \quad n := 1, 2 \dots 10$$

$$BC2(D, n) := \frac{1}{2 \cdot n \cdot \pi} \cdot \frac{1 - 2 \cdot D}{D \cdot (1 - D)} \cdot (1 - \cos(2 \cdot n \cdot D \cdot \pi))$$

$$CC2(D, n) := \sqrt{AC2(D, n)^2 + BC2(D, n)^2}$$

Forma de onda cuadrada con tiempos muertos

$$Pm := 1 \quad \text{potencia media por la lámpara}$$

$$T := 1 \quad \text{periodo normalizado}$$

$$t := 0, 0.001 \dots 1 \quad \text{tiempos}$$

$$D := 0.4, 0.405 \dots 0.6 \quad \text{Margen de ciclos de trabajo}$$

$$x1(D) := D \cdot T \quad x2(D) := T \quad \text{Coordenadas de tiempos}$$

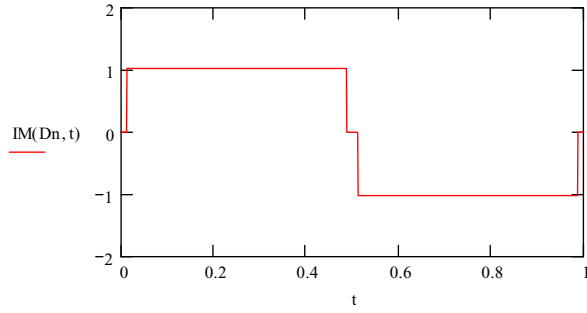
$$d := 0.024 \quad \delta := \frac{d}{T} \quad \delta = 0.024$$

$$Im := \sqrt{Pm} \quad \text{Corriente absoluta Media por la Lámpara}$$

$$IIM(D) := Im \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - 2 \cdot \delta}} \quad \text{Valor de la corriente en la zona plana en función del rizado y del ciclo de trabajo}$$

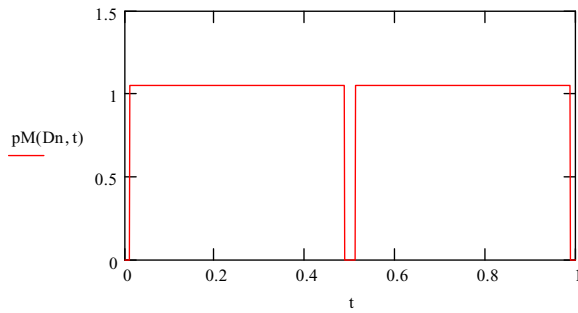
$$IIM(Dn) = 1.025$$

$$IM(D, t) \begin{cases} I1M(D) & \text{if } \frac{\delta}{2} \leq t < \left(\frac{T}{2} - \frac{\delta}{2}\right) \\ 0 & \text{if } \left(\frac{T}{2} - \frac{\delta}{2}\right) \leq t < \left(\frac{T}{2} + \frac{\delta}{2}\right) \\ (-I1M(D)) & \text{if } \left(\frac{T}{2} + \frac{\delta}{2}\right) \leq t < T - \frac{\delta}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Potencia

$$pM(D, t) := IM(D, t)^2$$



$$Td := T \quad pMm(D) := \frac{\int_0^{Td} pM(D, t) dt}{Td} \quad pMm(Dn) = 1$$

TRANSFORMADA DE FOURIER

$$n := 0, 1 \dots 10$$

$$AM(D, n) := \frac{1}{Td} \int_0^{Td} pM(D, t) \cdot \cos\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{Td}\right) dt \quad BM(D, n) := \frac{1}{Td} \int_0^{Td} pM(D, t) \cdot \sin\left(n \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{t}{Td}\right) dt$$

$$CM(D, n) := \sqrt{(AM(D, n))^2 + (BM(D, n))^2} \quad PCMM(D, n) := \frac{CM(D, n)}{pMm(D)}$$

$$PCMM(0.5, 0) = 1$$

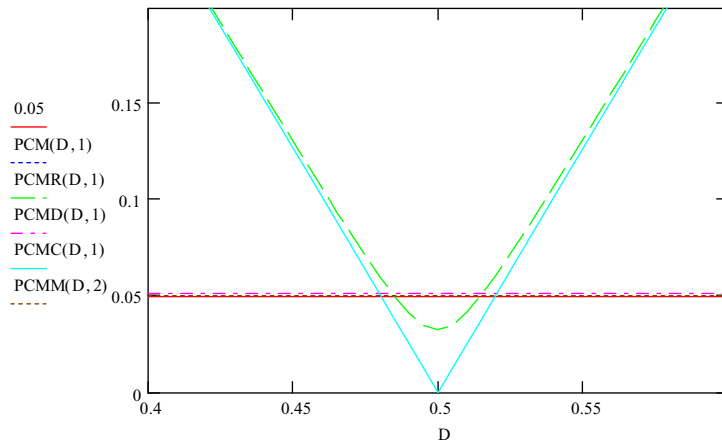
$$PCMM(0.5, 1) = 0$$

$$PCMM(0.5, 2) = 0.05$$

$$PCd(\delta) := \left[\frac{1}{(1 - 2 \cdot \delta) \cdot \pi} \right] \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \delta)$$

$$PCd(\delta) = 0.05$$

REPRESENTACIÓN COMPARATIVA DE LOS DIFERENTES %P/P vs. DUTY



Armónicos de la forma de onda de potencia por la carga:

$$x := 0.5, 0.51 \dots 29$$

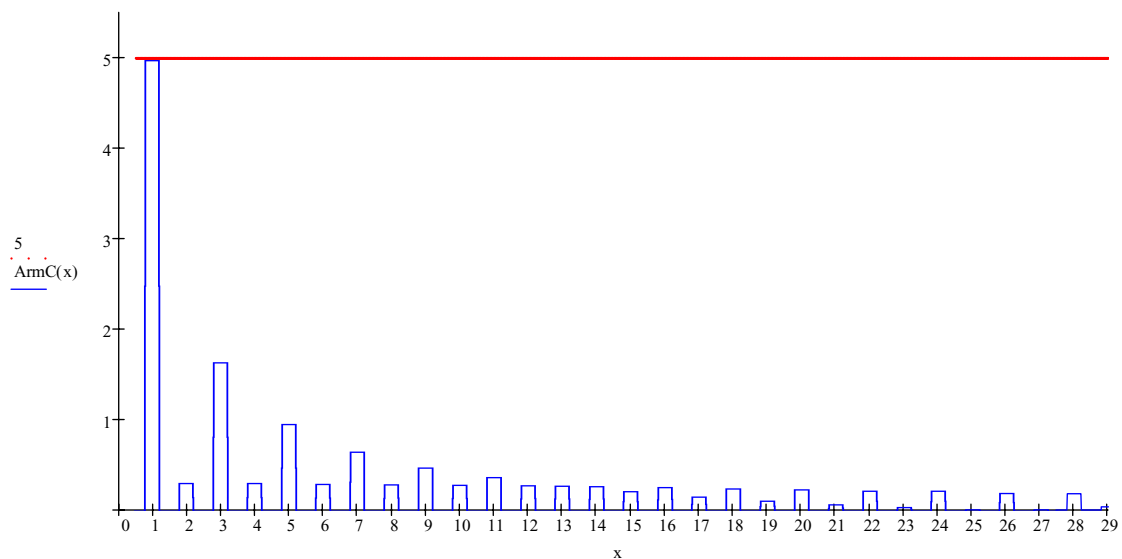
$$\text{Arm}(x) := \begin{cases} C(Dn, \text{round}(x)) \cdot 100 & \text{if } |x - \text{round}(x)| \leq 0.2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{ArmR}(x) := \begin{cases} CR(Dn, \text{round}(x)) \cdot 100 & \text{if } |x - \text{round}(x)| \leq 0.2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{ArmD}(x) := \begin{cases} CD(Dn, \text{round}(x)) \cdot 100 & \text{if } |x - \text{round}(x)| \leq 0.2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{ArmC}(x) := \begin{cases} CC(Dn, \text{round}(x)) \cdot 100 & \text{if } |x - \text{round}(x)| \leq 0.2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{ArmM}(x) := \begin{cases} CM(Dn, \text{round}(x)) \cdot 100 & \text{if } |x - \text{round}(x)| \leq 0.2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



FORMAS DE ONDA INSTANTANEAS DE POTENCIA

