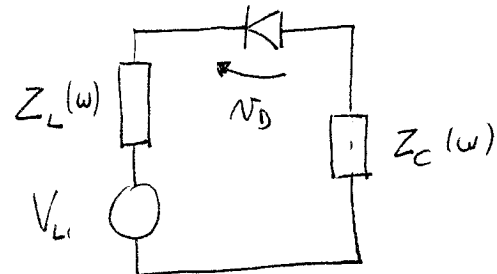


HARMONIC BALANCE: ANALISI A SINGOLA FREQUENZA

(1)

Il circuito del diodo pilotato dal solo oscillatore locale può essere quello di figura.



$Z_L(\omega)$ è l'impedenza di uscita dell'oscillatore locale

e $Z_C(\omega)$ tiene conto dell'effetto della rete di carico e degli eventuali componenti parassiti (in primis R_s).

Poniamo assumere $Z_L(n\omega_L) = Z_C(n\omega_L) = 0 \quad n \neq 1$

(anche se ~~non~~ ~~non~~ significa trascurare R_s su tutte le armoniche)

e $Z_L(\omega_L) = Z_{L0}$, $Z_C(\omega_0) = R_s$.

La presenza di un componente non lineare produce anche armoniche del segnale di pilotaggio a ω_L . Tuttavia, nelle ipotesi fatte, tali armoniche di corrente non hanno effetto e occorre considerare solo la maglia a frequenza ω_L .

Dai principi di Kirchhoff segue

$$V_L = (Z_{L0} + R_s) I_L + V_{DL}$$

dove I_L , V_{DL} sono le ampiezze delle armoniche ω_L di corrente e di v_D (sono nati in assenza di effetti capacitivi).

I_L e V_{OL} sono collegati dalla caratteristica del diodo.

(~~per semplicità non~~ (mostriamo che R_s è stata considerata separatamente)

$$I_B + I_L \cos \omega_L t = I_s \left[e^{\alpha (V_B + V_L \cos \omega_L t)} - 1 \right]$$

di cui a secondo membro vanno considerate le sole componenti a $\omega=0, \omega=\omega_L$.

Sviluppando l'esponenziale si trova

$$I_B + I_L \cos \omega_L t \approx I_s e^{\alpha V_B} \left[I_0(\alpha V_L) + 2 I_1(\alpha V_L) \cos \omega_L t \right]$$

dove I_n sono le funzioni di Bessel modificate.

In particolare

$$I_L = I_s e^{\alpha V_B} \cdot 2 I_1(\alpha V_L)$$

~~non~~ Si ottiene quindi l'equazione in ~~la~~ V_{OL}

$$V_L = (Z_{LO} + R_s) \cdot I_B \cdot 2 I_1(\alpha V_{OL}) + V_{OL}$$

essendo $I_B \approx I_s e^{\alpha V_B}$.

Risolta questa equazione è possibile calcolare il punto di lavoro del diodo, e valutare anche l'adattamento dell'oscillatore locale.

$$T := 300 \quad k_B := \frac{1.37 \cdot 10^{(-23)}}{1.602 \cdot 10^{-19}} \quad k_B \cdot T = 0.026$$

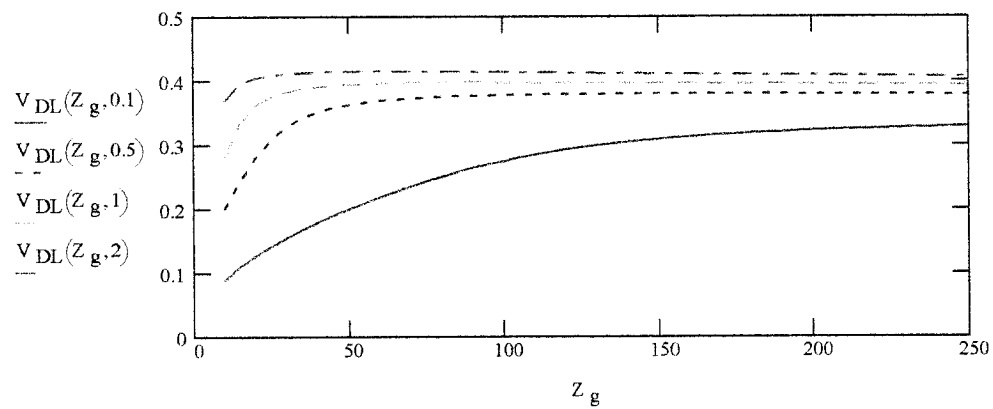
$$\text{Diode data} \quad \eta := 1.12 \quad \alpha := \frac{1}{k_B \cdot T \cdot \eta} \quad I_S := (10)^{(-9)} \cdot 22 \quad R_s := 8$$

$$\text{Diode Bias} \quad V_B := 0 \quad I_B := I_S \cdot \exp(\alpha \cdot V_B) \quad \text{Available LO power} \quad P_L$$

Harmonic Balance equation solution

$$V_{DL}(Z_g, P_L) := \text{root} \left[x + \left[(Z_g + R_s) \cdot 2 \cdot I_B \cdot \Pi(\alpha \cdot x) - \sqrt{\frac{8 \cdot P_L \cdot Z_g}{1000}} \right], x \right] \quad Z_g := 10, 15, \dots, 250$$

Amplitude of LO diode voltage

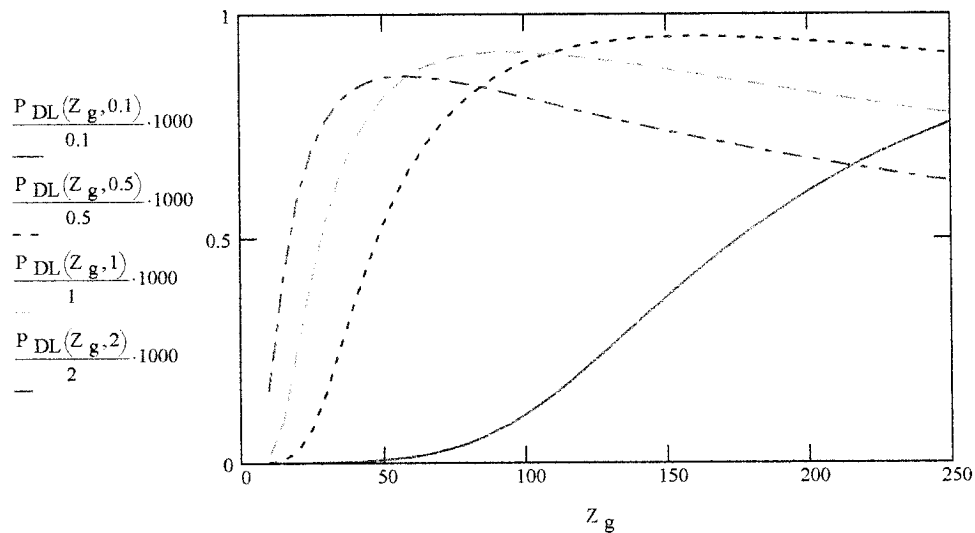


LO diode current and absorbed power

$$I_{DL}(Z_g, P_L) := 2 \cdot I_B \cdot \Pi(\alpha \cdot V_{DL}(Z_g, P_L))$$

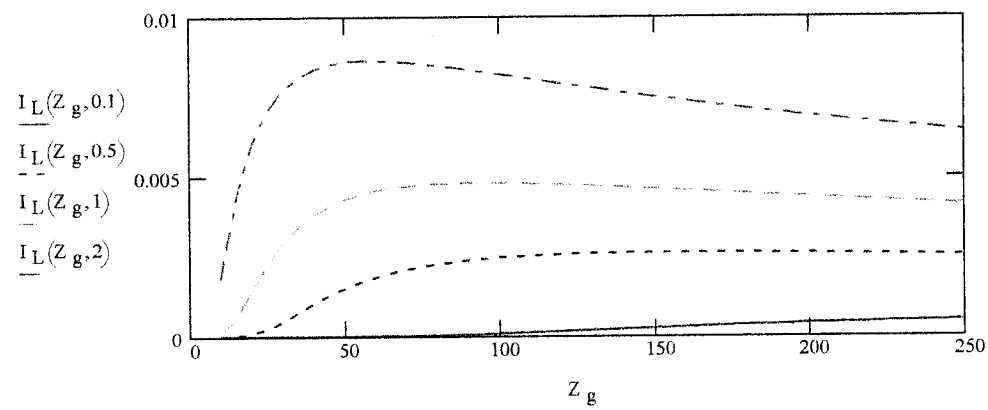
$$P_{DL}(Z_g, P_L) := V_{DL}(Z_g, P_L) \cdot \frac{I_{DL}(Z_g, P_L)}{2}$$

Diode pumping efficiency



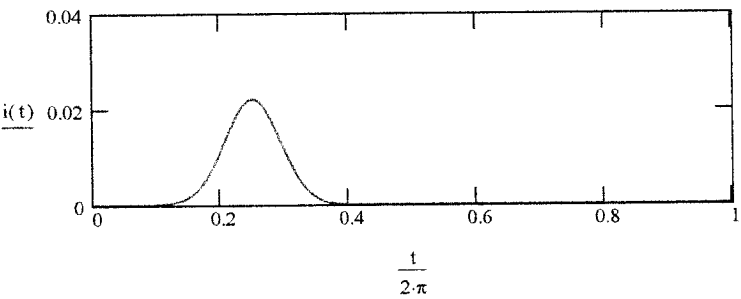
Diode
current

$$I_L(Z_g, P_L) := I_B \cdot 2 \cdot \ln(0, \alpha \cdot V_{DL}(Z_g, P_L))$$



$$t := 0, 2 \cdot \frac{\pi}{500} \dots 2 \cdot \pi \quad V_{Lo} := V_{DL}(100, 1) \quad V_{Lo} = 0.397$$

$$i(t) := I_S \cdot \exp(\alpha \cdot V_{Lo} \cdot \sin(t))$$



$$T := 300 \quad k_B := \frac{1.37 \cdot 10^{(-23)}}{1.602 \cdot 10^{-19}} \quad k_B \cdot T = 0.026$$

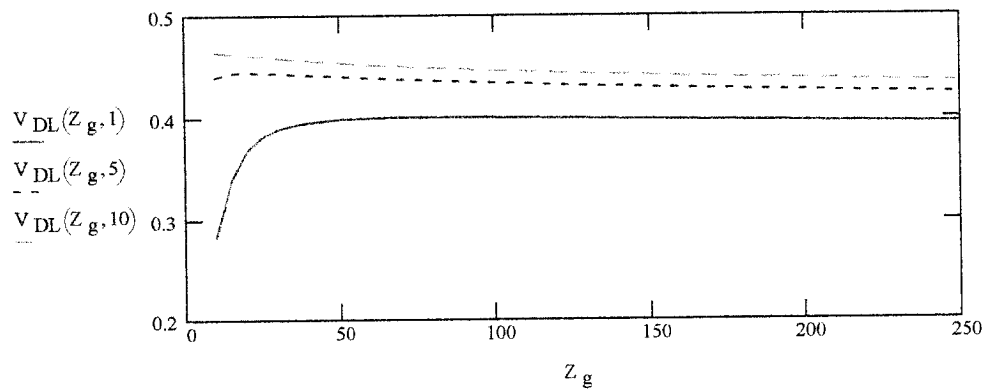
$$\text{Diode data} \quad \eta := 1.12 \quad \alpha := \frac{1}{k_B \cdot T \cdot \eta} \quad I_S := (10)^{(-9)} \cdot 22 \quad R_s := 0$$

$$\text{Diode Bias} \quad V_B := 0 \quad I_B := I_S \cdot \exp(\alpha \cdot V_B) \quad \text{Available LO power} \quad P_L$$

Harmonic Balance equation solution

$$V_{DL}(Z_g, P_L) := \text{root} \left[x + \left[(Z_g + R_s) \cdot 2 \cdot I_B \cdot \Pi(\alpha \cdot x) - \sqrt{\frac{8 \cdot P_L \cdot Z_g}{1000}} \right], x \right] \quad Z_g := 10, 15..250$$

Amplitude of LO diode voltage

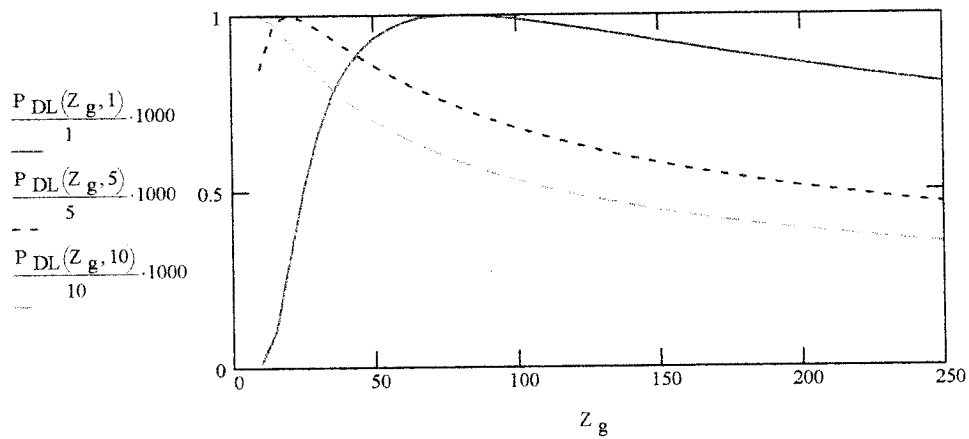


LO diode current and absorbed power

$$I_{DL}(Z_g, P_L) := 2 \cdot I_B \cdot \Pi(\alpha \cdot V_{DL}(Z_g, P_L))$$

$$P_{DL}(Z_g, P_L) := V_{DL}(Z_g, P_L) \cdot \frac{I_{DL}(Z_g, P_L)}{2}$$

Diode pumping efficiency



$$T := 300 \quad k_B := \frac{1.37 \cdot 10^{(-23)}}{1.602 \cdot 10^{-19}} \quad k_B \cdot T = 0.026$$

$$\text{Diode data} \quad \eta := 1.12 \quad \alpha := \frac{1}{k_B \cdot T \cdot \eta} \quad I_S := (10)^{(-9)} \cdot 22 \quad R_s := 8$$

$$\text{Diode Bias} \quad V_B := 0.2 \quad I_B := I_S \cdot \exp(\alpha \cdot V_B) \quad I_B = 2.319 \cdot 10^{-5}$$

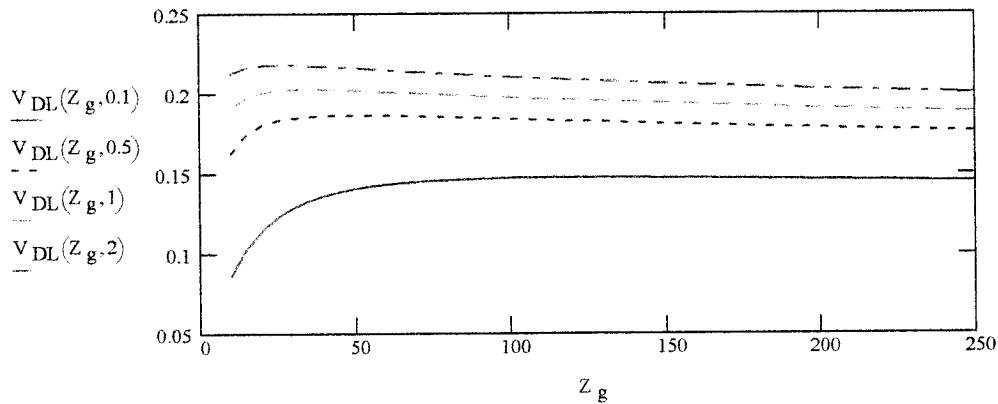
Harmonic Balance equation solution

Available LO power P_L

$$V_{DL}(Z_g, P_L) := \text{root} \left[x + \left[(Z_g + R_s) \cdot 2 \cdot I_B \cdot \Pi(\alpha \cdot x) - \sqrt{\frac{8 \cdot P_L \cdot Z_g}{1000}} \right], x \right]$$

$$Z_g := 10, 15 \dots 250$$

Amplitude of LO diode voltage



LO diode current and absorbed power

$$I_{DL}(Z_g, P_L) := 2 \cdot I_B \cdot \Pi(\alpha \cdot V_{DL}(Z_g, P_L))$$

$$P_{DL}(Z_g, P_L) := V_{DL}(Z_g, P_L) \cdot \frac{I_{DL}(Z_g, P_L)}{2}$$

Diode pumping efficiency

