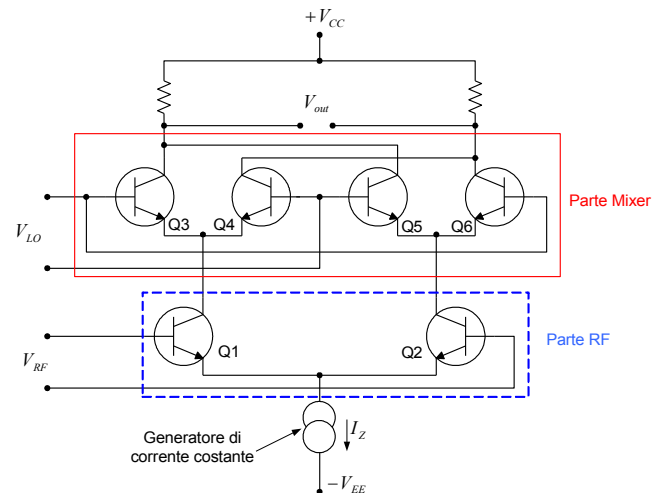


# Elettronica per le telecomunicazioni AA 2014 2015

## Il mixer di Gilbert



# Il mixer di Gilbert

Il mixer di Gilbert è la realizzazione più comune del mixer nei circuiti integrati monolitici, spesso assieme ad altri circuiti per implementare interi front-end di ricetrasmittitori

**con frequenze di lavoro fino a qualche GHz.**

- Viene chiamato in questa maniera dal nome del suo inventore, Barrie Gilbert, che lo ha proposto nella pubblicazione scientifica “*IEEE Journal of Solid-State Circuits*” nel dicembre 1968.
- In realtà non tutti gli autori riconoscono a Gilbert la paternità di questo mixer, anche se lui stesso ne difende l’originalità.
- Gilbert lavora in Oregon con Analog Devices Inc. , nel 1997 ha pubblicato una variante del “suo” mixer da lui chiamata MICROMIXER, successivamente ha proposto un circuito integrato per la rilevazione di potenza del segnale CDMA..

# Il mixer di Gilbert

Dal 1968 sono state presentate varianti rispetto lo schema “standard” a BJT:

ne esistono realizzazioni anche in MOSFET, GaAs MESFET <sup>(1)</sup>, SiGe o GaAs HBT <sup>(2)</sup>.

Inoltre con qualche modifica si realizzano facilmente varianti che svolgono le funzioni di

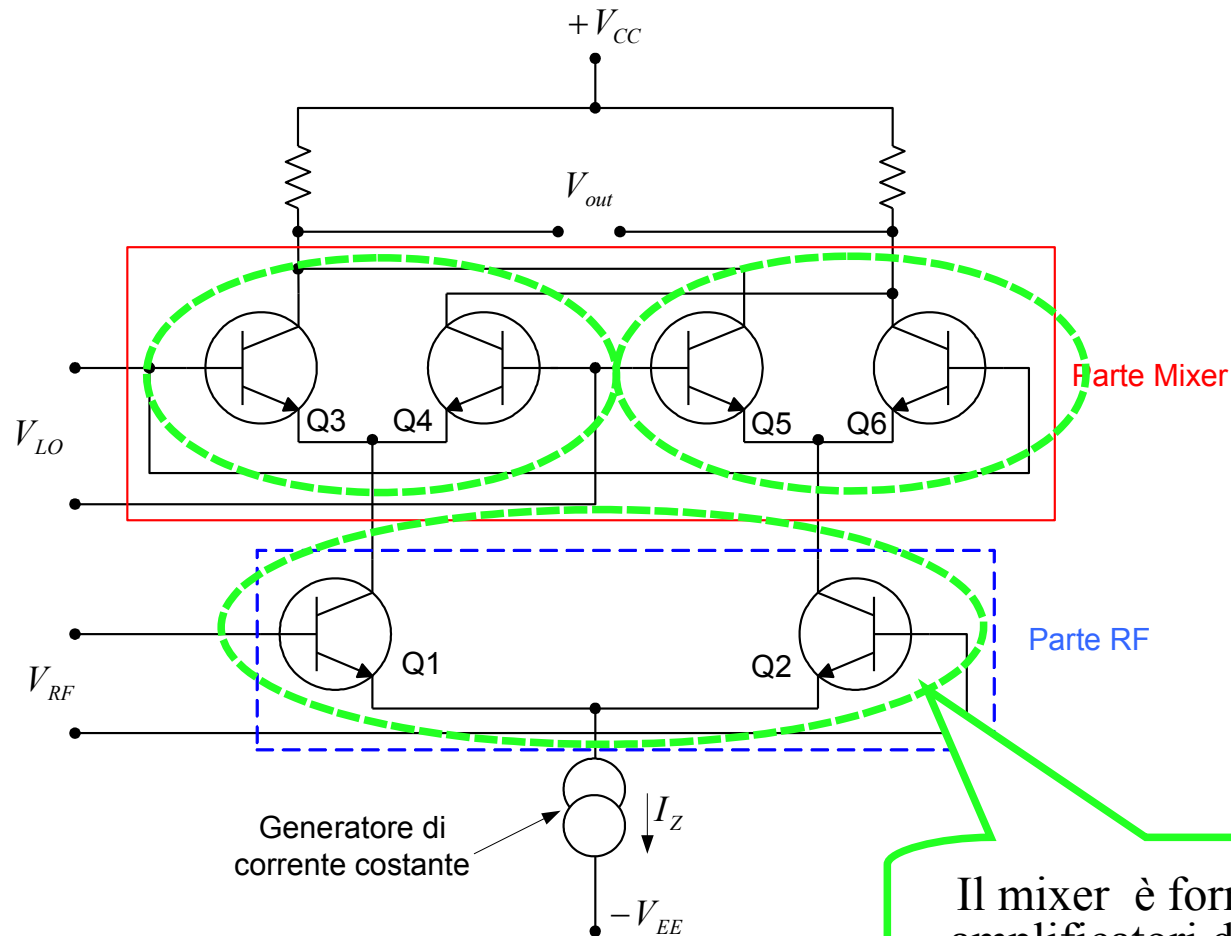
- moltiplicatore analogico a quattro quadranti,
  - amplificatore a guadagno variabile,
  - comparatore di fase
- e qualche altro ancora .

*(1) Production MESFETs are operated up to approximately 45 GHz*

*(2) Demonstrated to cut off at a speed of 710 GHz*

# Il mixer di Gilbert

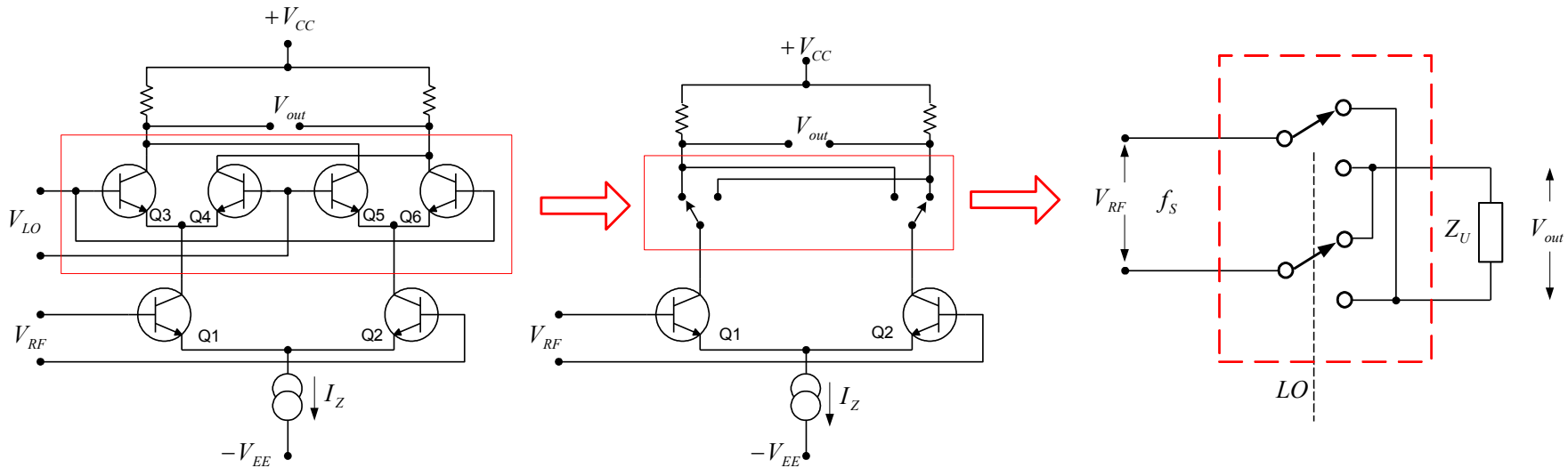
Schema semplificato (mancano i circuiti di polarizzazione) del mixer di Gilbert realizzato con BJT.



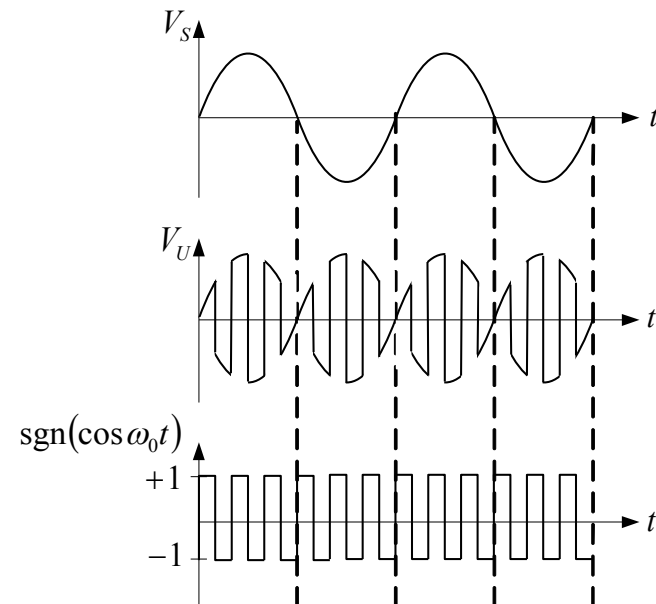
Il mixer è formato da tre amplificatori differenziali

# Il mixer di Gilbert

## Il processo di mescolazione

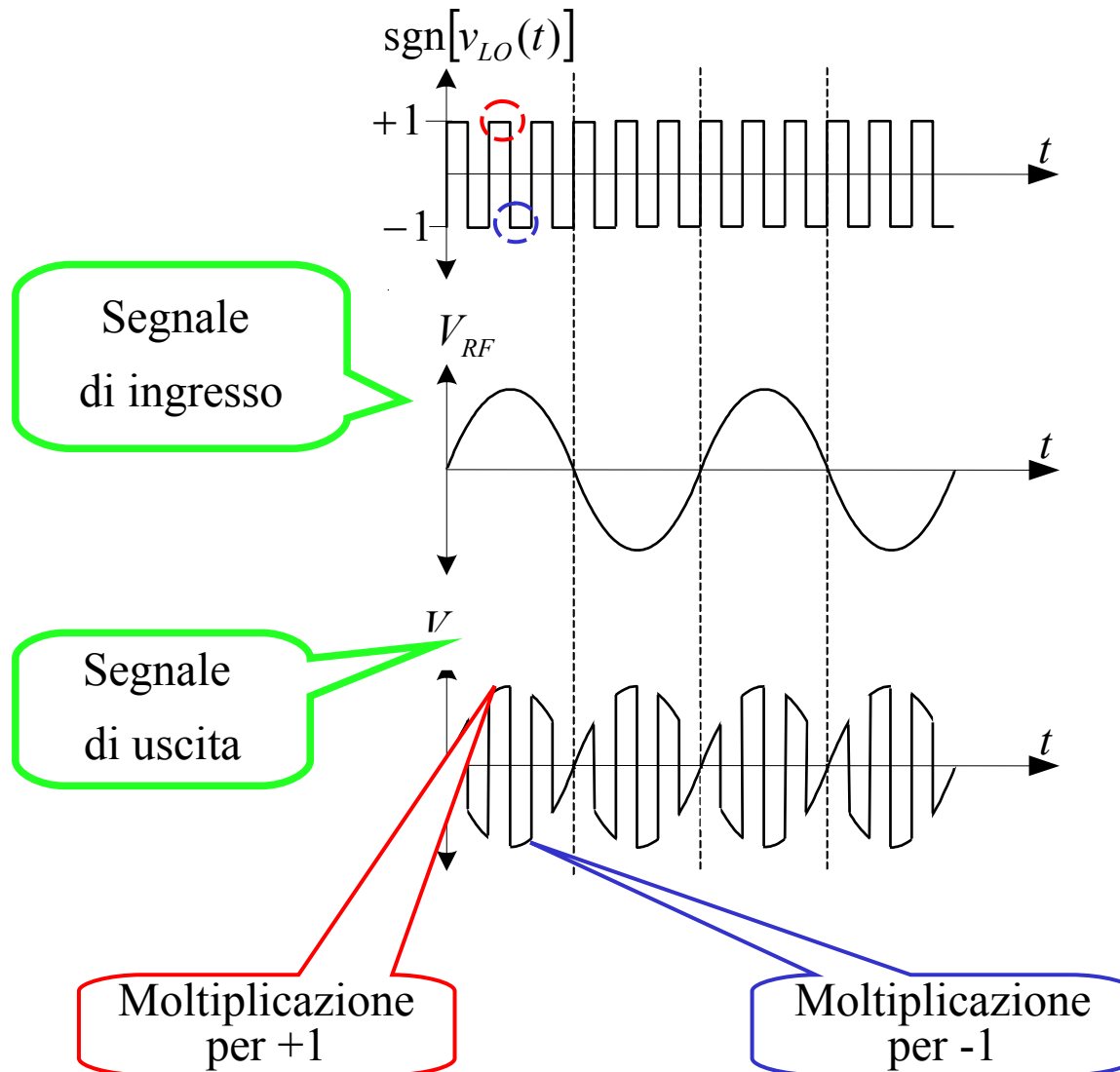


Se  $V_{LO} \gg V_T$  i transistori Q3, Q4, Q5, Q6 si comportano come degli interruttori. La figura mette in evidenza questo tipo di comportamento e la analogia con il mixer a commutazione, in pratica la miscelazione si ottiene con la stessa tecnica già studiata nel mixer a commutazione.



# Il mixer di Gilbert

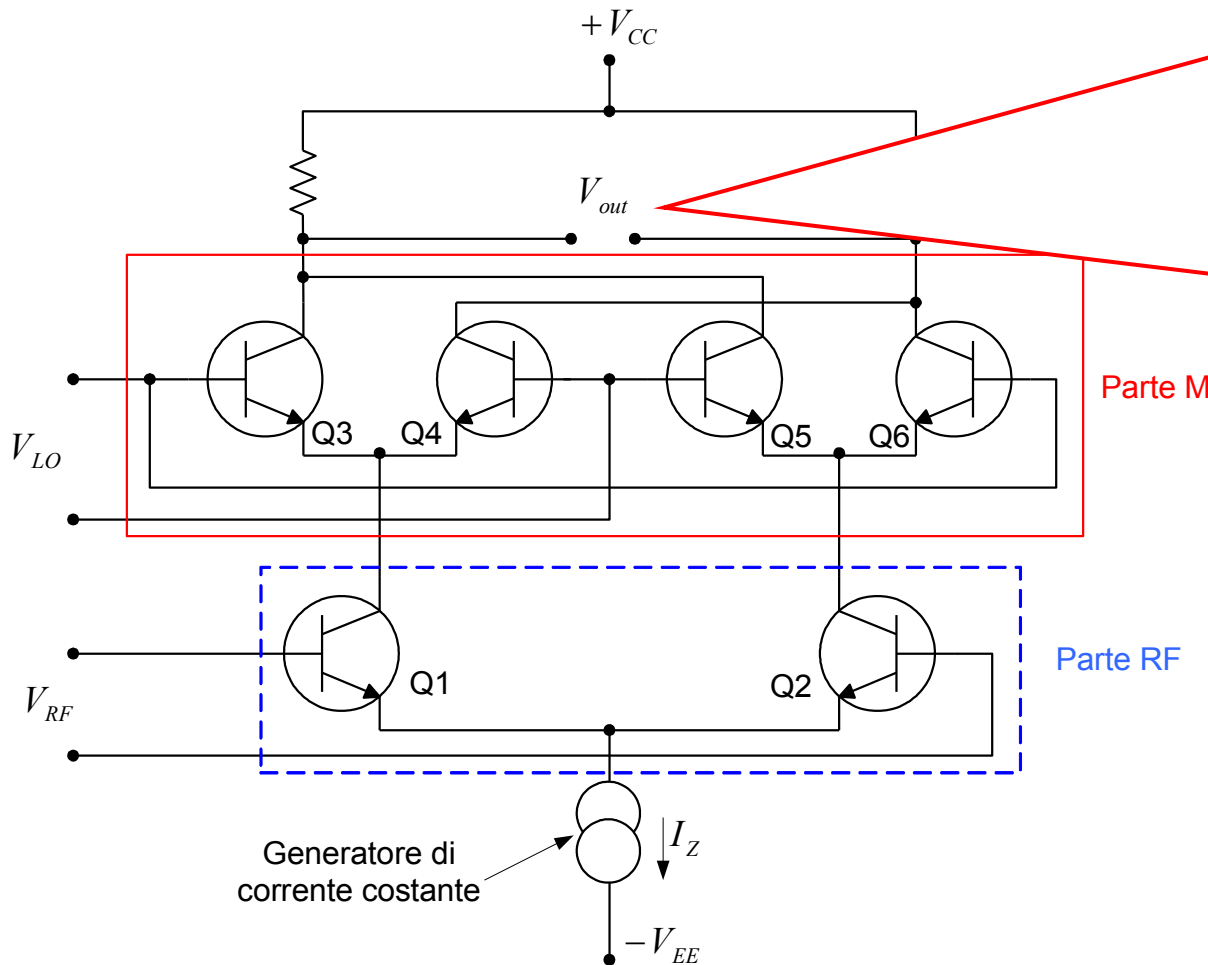
## Il processo di mescolazione



L'operazione di inversione di fase è in pratica una moltiplicazione per  $+1$  e per  $-1$  al ritmo della frequenza dell'oscillatore locale.

# Il mixer di Gilbert

## Il processo di mescolazione

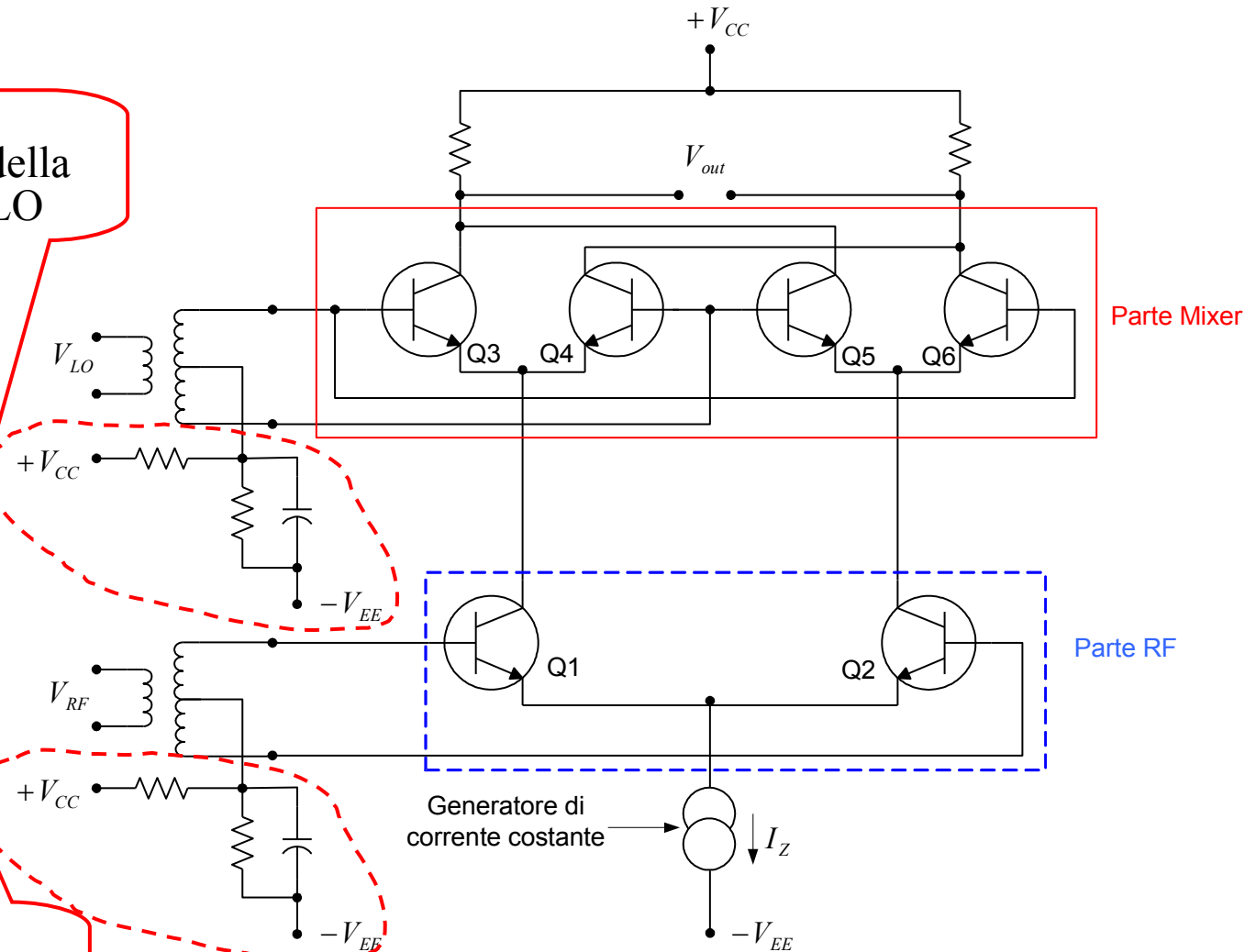


L'**uscita** a media frequenza,  $IF$ , è prodotta ai collettori di Q3-Q4-Q5-Q6, sotto forma di una **corrente differenziale**, la quale è convertita in tensione dall'impedenza di carico.

# Il mixer di Gilbert

## Un esempio di polarizzazione

Circuito di polarizzazione della parte Mixer / LO

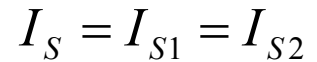


Circuito di polarizzazione della parte RF



## Lo stadio RF

Le correnti di saturazione dei transistori Q1 e Q2 si considerano tra loro uguali

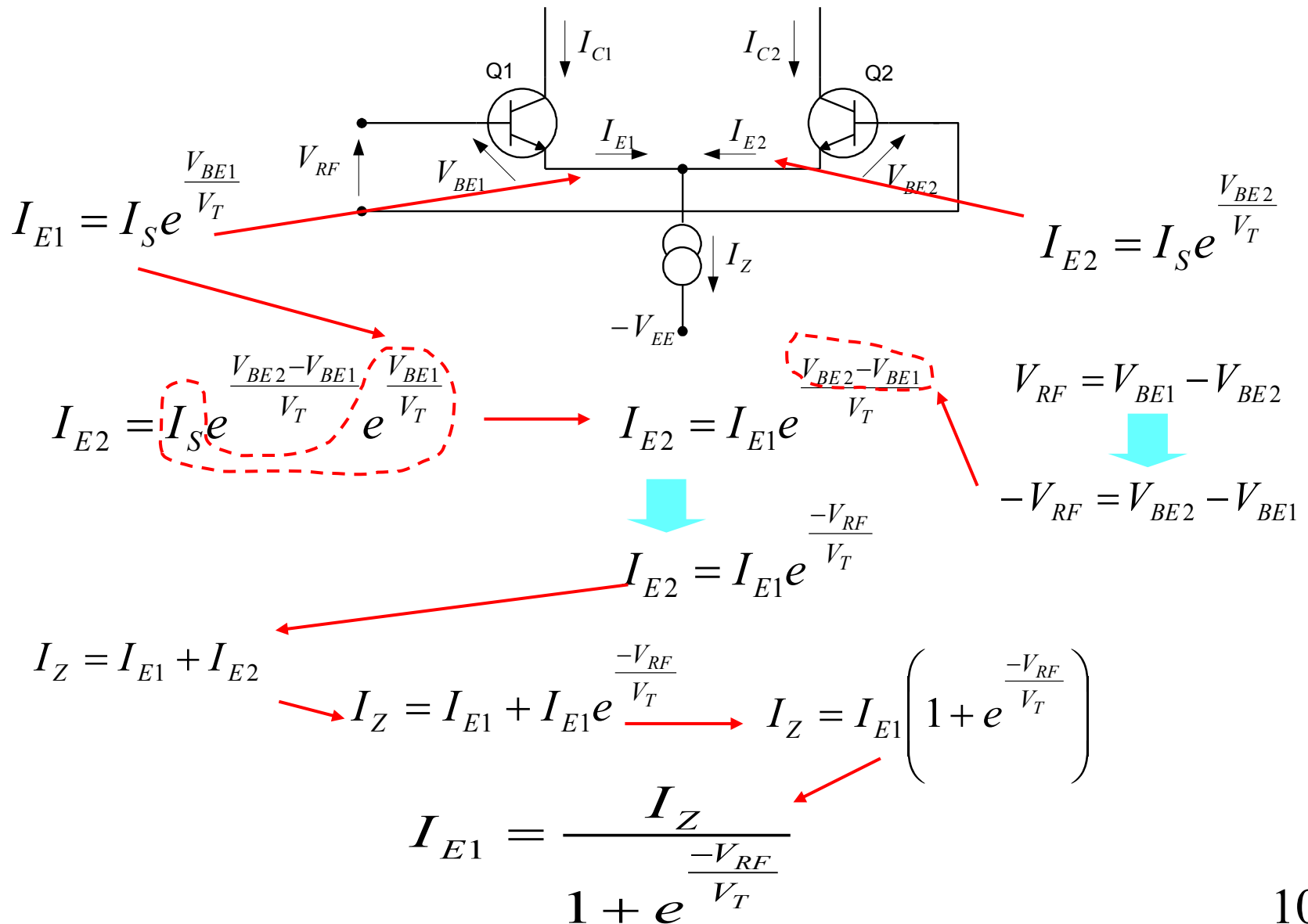


$$V_T = \frac{\eta k T}{q} = 26 mV \text{ a } 300^\circ K$$

$$I_{E1} = I_S e^{\frac{qV_{BE1}}{\eta kT}} \longrightarrow I_{E1} = I_S e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}$$

# Il mixer di Gilbert

Lo stadio RF (la corrente di emettitore)



# Il mixer di Gilbert

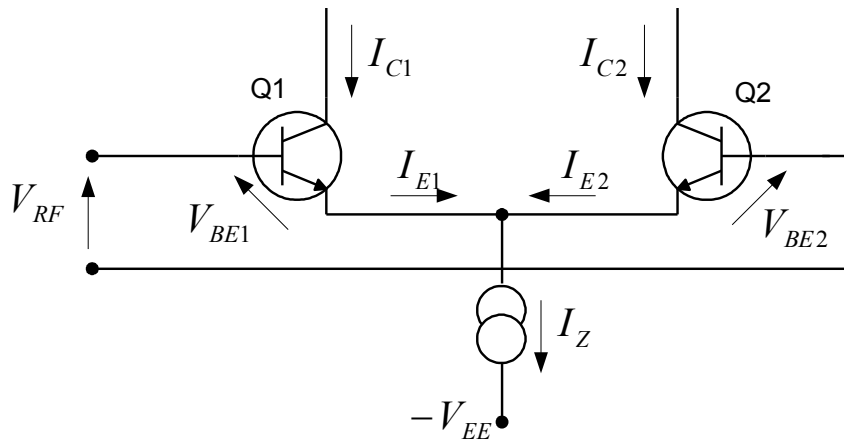
Lo stadio RF (la corrente di collettore)

$$\alpha \cong 1$$

Si può trascurare

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

$$I_C \cong I_E$$



$$I_{C1} \cong I_{E1}$$

$$I_{E1} = \frac{I_Z}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}}$$

$$I_{C1} = \frac{I_Z}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}}$$

$$I_{C1} = I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} \right)$$

# Il mixer di Gilbert

## Lo stadio RF (la corrente di collettore)

Si ricava  $I_{C2}$

$$I_Z = I_{E1} + I_{E2} \quad I_{E2} = I_Z - I_{E1}$$

$$I_{C2} \cong I_{E2}$$

$$I_{C2} = I_Z - I_{E1} \quad I_{E1} = \frac{I_Z}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}}$$

$$I_{C2} = I_Z - \frac{I_Z}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}}$$

$$I_{C2} = I_Z \left( \frac{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}} - 1}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} \right) \rightarrow I_{C2} = I_Z \left( \frac{e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} \right) \rightarrow I_{C2} = I_Z \left( \frac{e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} \right) \cdot \left( \frac{e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}}{e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}} \right)$$

$$I_{C2} = I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}} \right)$$

# Il mixer di Gilbert

Lo stadio RF (  $\Delta I_{C12} = I_{C1} - I_{C2}$  )

Si ricava  $\Delta I_{C12} = I_{C1} - I_{C2}$

$$I_{C1} = I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} \right) \quad \Delta I_{C12} = I_{C1} - I_{C2} \quad I_{C2} = I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}} \right)$$

$$\Delta I_{C12} = \left( \frac{I_Z}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} \right) - I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}} \right)$$

$$\Delta I_{C12} = I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} - \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}} \right) \Rightarrow \Delta I_{C12} = I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} - \frac{1}{1 + \frac{1}{e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}}} \right) \Rightarrow \Delta I_{C12} = I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} - \frac{1}{\frac{e^{\frac{V_{RF}}{V_T}} + 1}{e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}}} \right)$$

$$\Delta I_{C12} = I_Z \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} - \frac{e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}}{e^{\frac{V_{RF}}{V_T}} + 1} \right) \Rightarrow \Delta I_{C12} = I_Z \left( \frac{1 - e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} \right)$$

# Il mixer di Gilbert

Lo stadio RF (  $\Delta I_{C12} = I_{C1} - I_{C2}$  )

$$\Delta I_{C12} = I_Z \left( \frac{1 - e^{\frac{V_{RF}}{V_T}}}{1 + e^{\frac{-V_{RF}}{V_T}}} \right)$$

Può essere riscritta  
in modo diverso

$$\frac{1 - e^{-\alpha}}{1 + e^{-\alpha}} = \frac{e^{\frac{-\alpha}{2}} e^{\frac{\alpha}{2}} - e^{\frac{-\alpha}{2}} e^{\frac{-\alpha}{2}}}{e^{\frac{-\alpha}{2}} e^{\frac{\alpha}{2}} + e^{\frac{-\alpha}{2}} e^{\frac{-\alpha}{2}}} = \frac{e^{\frac{-\alpha}{2}}}{e^{\frac{-\alpha}{2}}} \cdot \frac{e^{\frac{\alpha}{2}} - e^{\frac{-\alpha}{2}}}{e^{\frac{\alpha}{2}} + e^{\frac{-\alpha}{2}}} = \frac{e^{\frac{\alpha}{2}} - e^{\frac{-\alpha}{2}}}{e^{\frac{\alpha}{2}} + e^{\frac{-\alpha}{2}}} = \tanh\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\Delta I_{C12} = I_Z \left( \frac{e^{\frac{V_{RF}}{2V_T}} - e^{\frac{-V_{RF}}{2V_T}}}{e^{\frac{V_{RF}}{2V_T}} + e^{\frac{-V_{RF}}{2V_T}}} \right)$$

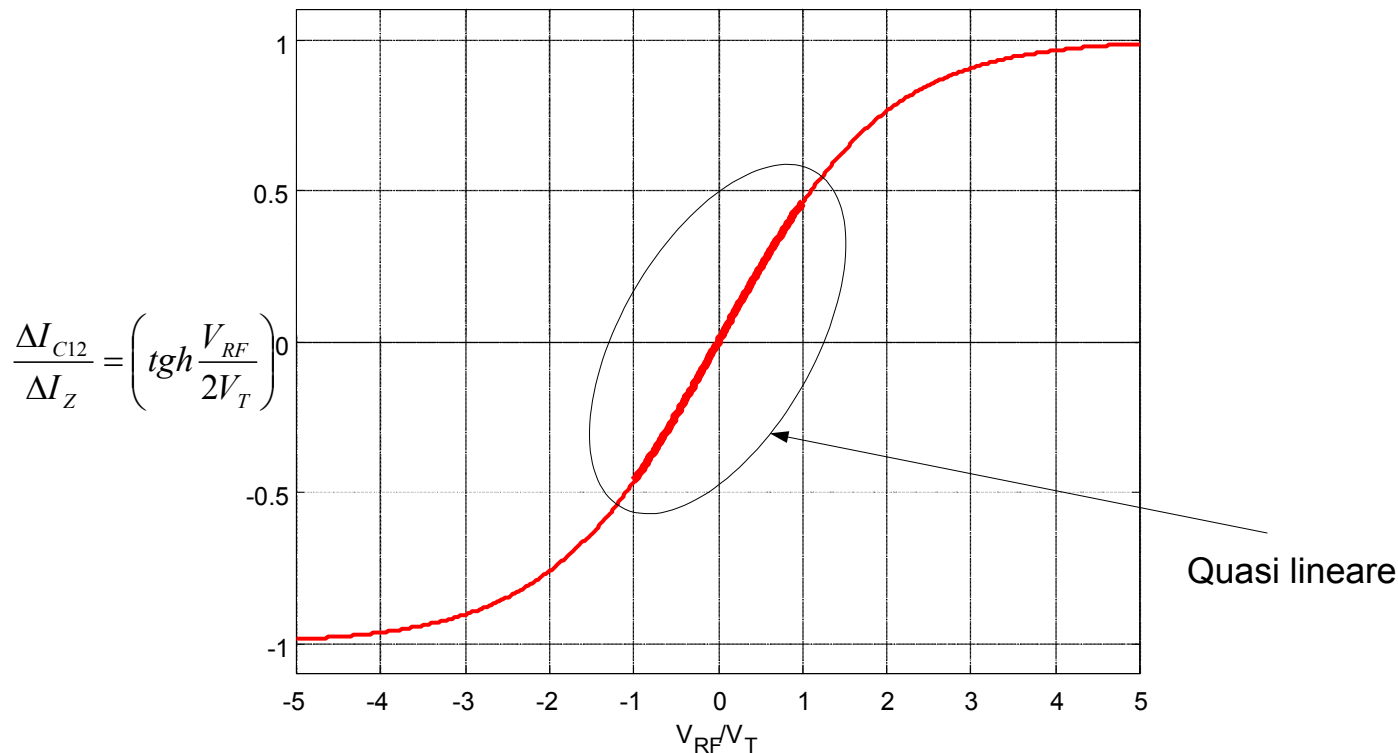
$$\frac{e^{\frac{V_{RF}}{2V_T}} - e^{\frac{-V_{RF}}{2V_T}}}{e^{\frac{V_{RF}}{2V_T}} + e^{\frac{-V_{RF}}{2V_T}}} = \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right)$$

$$\Delta I_{C12} = I_Z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right)$$

# Il mixer di Gilbert

Lo stadio RF (  $\Delta I_{C12} = I_{C1} - I_{C2}$  )

$$\Delta I_{C12} = I_Z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \quad \frac{\Delta I_{C12}}{I_Z} = \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right)$$



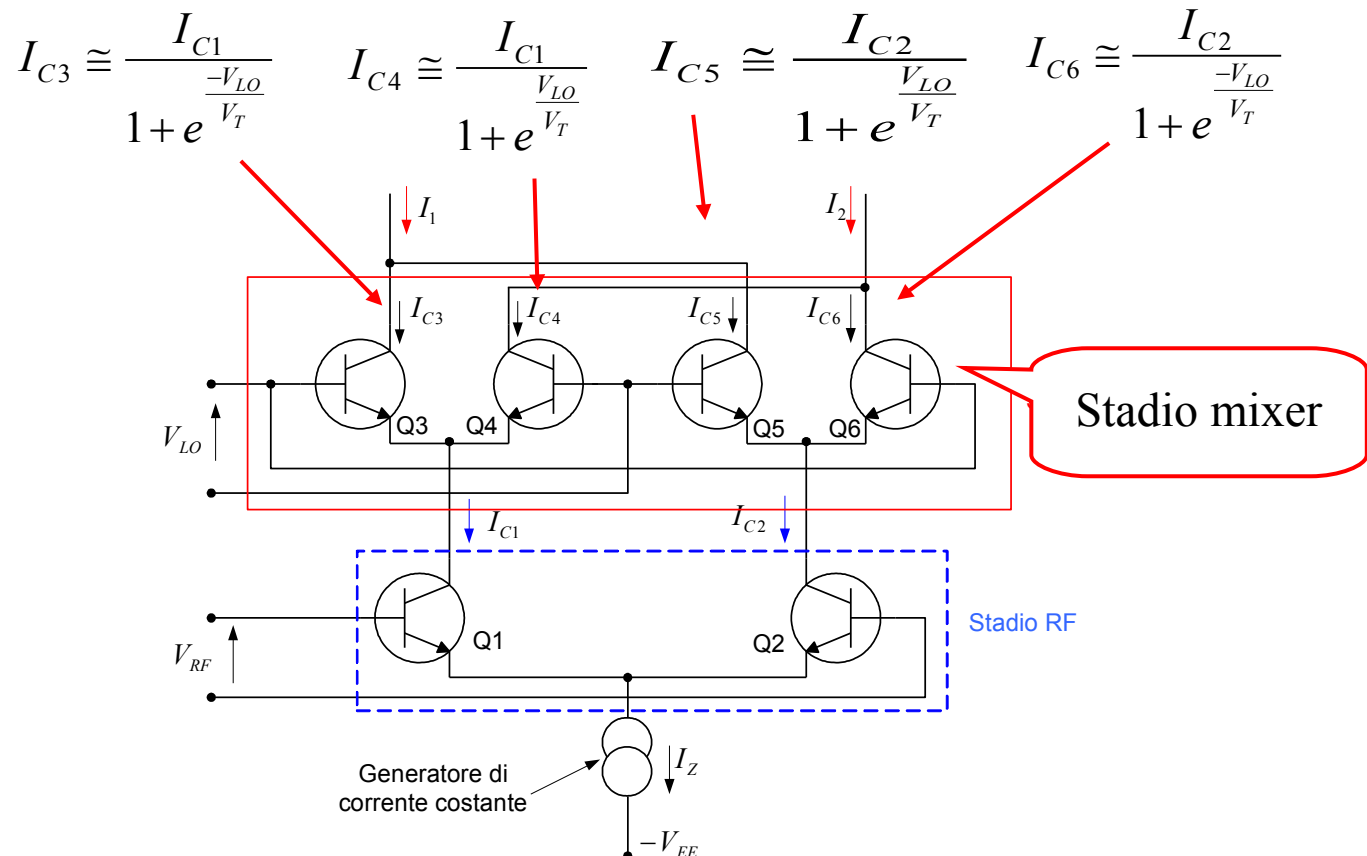
Andamento della tangente iperbolica di  $\frac{\Delta I_{C12}}{I_Z}$  in funzione del rapporto  $\frac{V_{RF}}{V_T}$ , si vede che esiste una zona di funzionamento quasi lineare.

# Il mixer di Gilbert

## Lo stadio mixer

Il nucleo del mixer è formato da due amplificatori differenziali, del tutto simili a quello dello stadio RF.

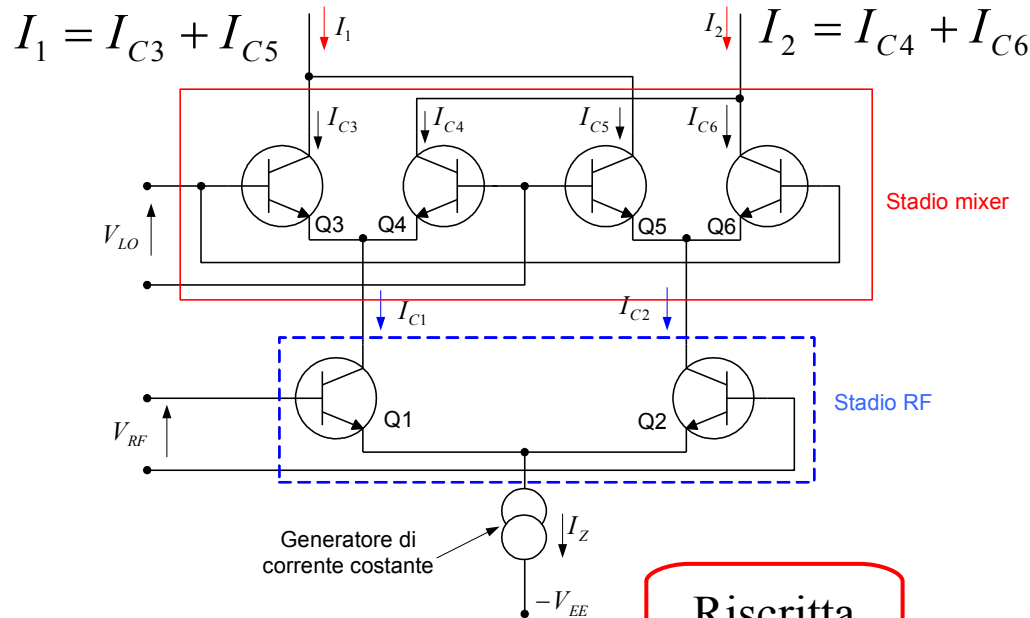
Similmente a quanto fatto per lo stadio RF si possono scrivere le equazioni della corrente per i 2 amplificatori differenziali dello stadio mixer.





# Il mixer di Gilbert

Lo stadio mixer (  $\Delta I_C = I_1 - I_2$  )



Si calcola  $\Delta I_C = I_1 - I_2$  .

$$\Delta I_C = (I_{C3} + I_{C5}) - (I_{C4} + I_{C6}) \quad \xrightarrow{\text{Riscritta}} \quad \Delta I_C = (I_{C3} - I_{C6}) - (I_{C4} - I_{C5})$$

$$\Delta I_C = \left( \frac{I_{C1}}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} - \frac{I_{C2}}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} \right) - \left( \frac{I_{C1}}{1 + e^{\frac{V_{LO}}{V_T}}} - \frac{I_{C2}}{1 + e^{\frac{V_{LO}}{V_T}}} \right)$$

# Il mixer di Gilbert

Lo stadio mixer (  $\Delta I_C = I_1 - I_2$  )

$$\Delta I_C = \left( \frac{I_{C1}}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} - \frac{I_{C2}}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} \right) - \left( \frac{I_{C1}}{1 + e^{\frac{V_{LO}}{V_T}}} - \frac{I_{C2}}{1 + e^{\frac{V_{LO}}{V_T}}} \right) \quad \Delta I_C = \left( \frac{I_{C1} - I_{C2}}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} \right) - \left( \frac{I_{C1} - I_{C2}}{1 + e^{\frac{V_{LO}}{V_T}}} \right)$$

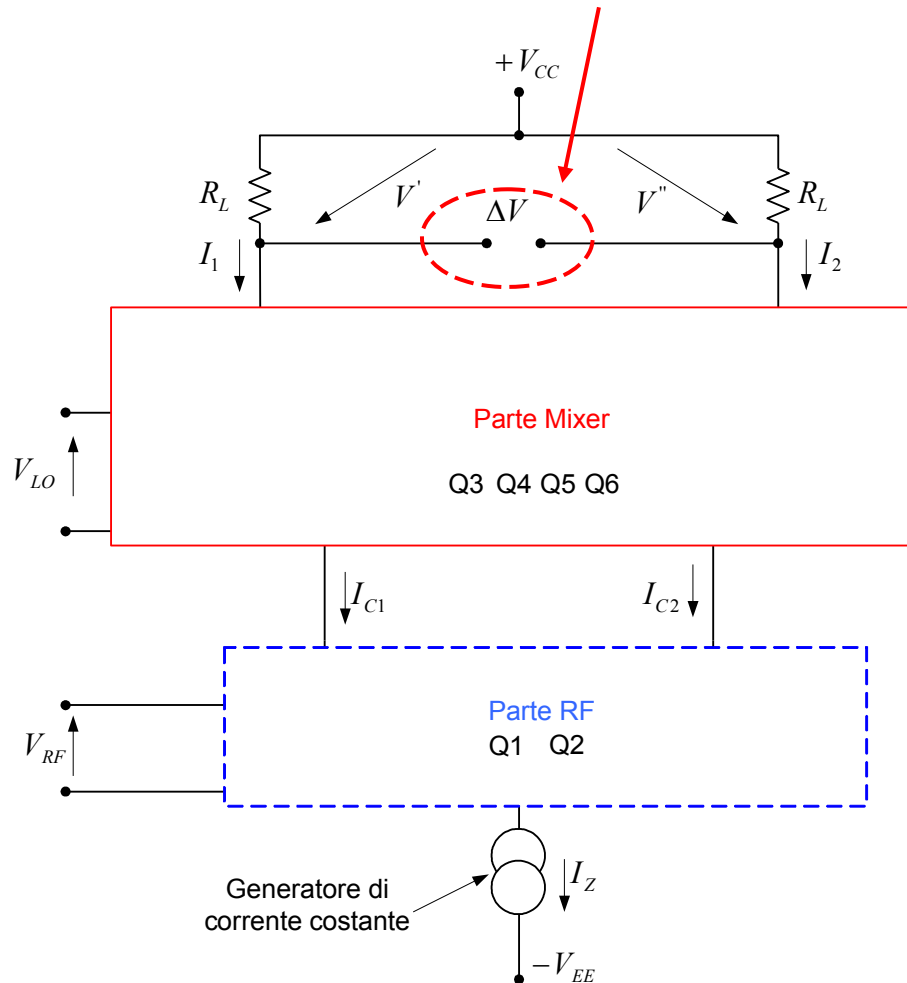
$$\Delta I_C = \Delta I_{C12} \cdot \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} - \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{LO}}{V_T}}} \right) \quad \Delta I_C = \Delta I_{C12} \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} - \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{LO}}{V_T}}} \right) \quad \Delta I_C = \Delta I_{C12} \left( \frac{1}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} - \frac{e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}}{e^{\frac{V_{LO}}{V_T}} + 1} \right)$$

$$\Delta I_C = \Delta I_{C12} \left( \frac{1 - e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}}{1 + e^{\frac{-V_{LO}}{V_T}}} \right) \quad \Delta I_C = \Delta I_{C12} \left( \frac{e^{\frac{V_{LO}}{2V_T}} - e^{\frac{-V_{LO}}{2V_T}}}{e^{\frac{V_{LO}}{2V_T}} + e^{\frac{-V_{LO}}{2V_T}}} \right) \quad \text{Riscritta} \quad \Delta I_C = \Delta I_{C12} \tanh\left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right) \quad \Delta I_{C12} = I_Z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \quad \Delta I_C = I_Z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \tanh\left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right)$$

# Il mixer di Gilbert

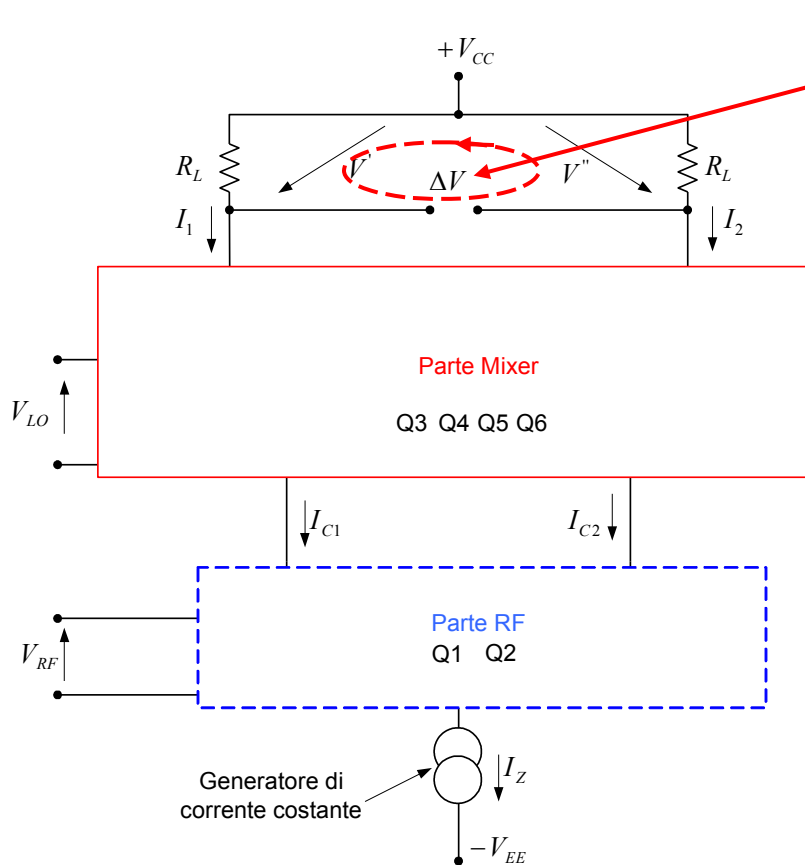
## Lo stadio mixer ( $\Delta V$ )

Si calcola la tensione differenziale di uscita  $\Delta V$



# Il mixer di Gilbert

## Lo stadio mixer ( $\Delta V$ )



$$\Delta V = V' + V''$$

$$\Delta V = (I_1 R_L) + (-I_2 R_L)$$

$$\Delta V = R_L (I_1 - I_2)$$

$$\Delta V = R_L \Delta I_C$$

$$\Delta I_C = I_Z \operatorname{tgh}\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \operatorname{tgh}\left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right)$$

$$\Delta V = R_L I_Z \operatorname{tgh}\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \operatorname{tgh}\left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right)$$

La corrente di uscita, che provoca la tensione di uscita, è differenziale ed è il prodotto delle tangenti iperboliche delle tensioni differenziali di ingresso allo stadio RF (  $V_{RF}$  ) ed allo stadio mixer (  $V_{LO}$  ).

# Il mixer di Gilbert

## I tre casi

Tutte le grandezze sono differenziali. La funzione  $tgh(x)$  è una funzione dispari e quindi il segnale di uscita non conterrà termini di distorsione pari.

$$\Delta V = R_L I_Z tgh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot tgh\left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right)$$

**Questa relazione si presta a diverse applicazioni !**

Ci sono casi diversi a seconda dei livelli dei segnali applicati all'ingresso del circuito.

1° Caso  $V_{RF} \text{ e } V_{LO} \ll V_T$

2° Caso  $V_{RF} \text{ e } V_{LO} \gg V_T$

3° Caso  $V_{RF} < V_T \ll V_{LO}$

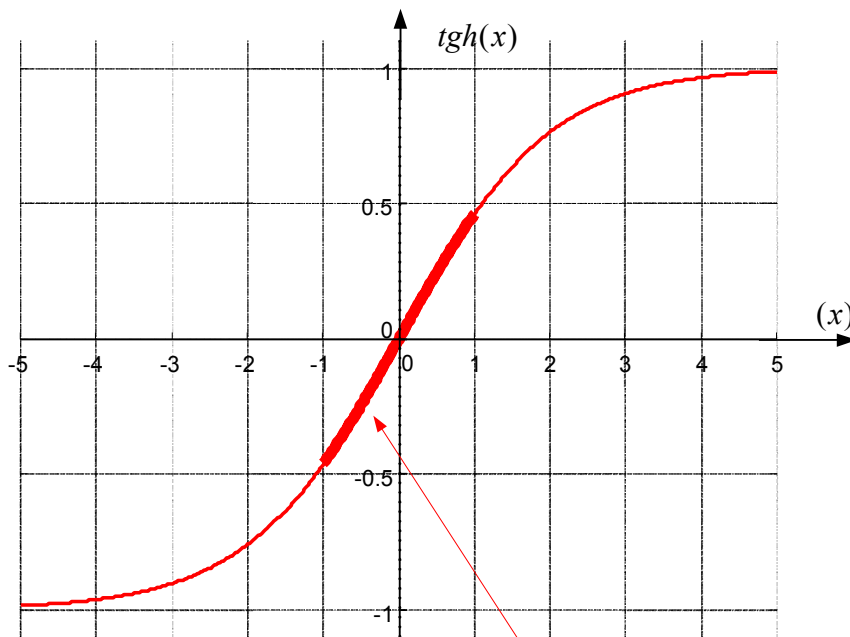
**E' il caso  
del mixer**

# Il mixer di Gilbert

1° Caso (  $V_{RF}$  e  $V_{LO} \ll V_T$  )

1° Caso  $V_{RF}$  e  $V_{LO} \ll V_T$

Le tensioni di ingresso al circuito sono molto piccole rispetto a  $V_T$  e quindi il circuito lavora in una condizione di quasi linearità



La zona di lavoro è quasi lineare

$$\operatorname{tgh}(x) = x - \frac{x^3}{3} \dots \cong x$$

$$\Delta V = R_L I_Z \operatorname{tgh}\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \operatorname{tgh}\left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right)$$



$$\Delta I_C = I_Z \left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right)$$

$$\Delta V = R_L \Delta I_C$$

La funzione circuitale che si ottiene è quella di un **moltiplicatore analogico** (viene chiamato moltiplicatore a quattro quadranti)

# Il mixer di Gilbert

2° Caso (  $V_{RF}$  e  $V_{LO} \gg V_T$  )

2° Caso  $V_{RF}$  e  $V_{LO} \gg V_T$

Le tensioni di ingresso al circuito sono molto grandi rispetto a  $V_T$  .

I segnali di ingresso sono di grande ampiezza e quindi portano i transistori a lavorare in saturazione. In pratica i segnali si possono considerare di forma rettangolare.

La tangente iperbolica è quasi uguale alla funzione segno  $tgh(x) \cong \text{sgn}(x)$

$$\frac{V_{RF}}{V_T} \cong V_{RF} \quad \frac{V_{LO}}{V_T} \cong V_{LO}$$

La relazione  $\Delta I_C = I_Z tgh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot tgh\left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right)$  diventa  $\Delta I_C = I_Z \text{sgn}(V_{RF}) \cdot \text{sgn}(v_{LO}(t))$

Si ottiene il prodotto di due funzioni segno, cioè il prodotto di due segnali rettangolari. Si realizza l'operazione logica

$$y = k \text{sgn}(x_1) \otimes \text{sgn}(x_2) = k \text{ XOR}(x_1 x_2)$$

In queste condizioni di lavoro il circuito viene usato come **comparatore di fase**.

# Il mixer di Gilbert

3° Caso (  $V_{RF} < V_T \ll V_{LO}$  )

3° Caso  $V_{RF} < V_T \ll V_{LO}$

**E' il caso del mixer**

IL segnale  $V_{RF}$  è piccolo rispetto a  $V_T$  , mentre  $V_{LO}$  è molto grande rispetto a  $V_T$

Essendo  $V_{LO} \gg V_T$  ci si troverà nella condizione  $tgh(x) \cong \text{sgn}(x)$

La relazione  $\Delta I_C = I_Z tgh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot tgh\left(\frac{V_{LO}}{2V_T}\right)$  diventa  $\Delta I_C = I_Z tgh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \text{sgn}(v_{LO}(t))$

La tensione differenziale di uscita sarà

$$V_{out} \cong R_L \Delta I_C = R_L I_Z tgh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \text{sgn}(v_{LO}(t))$$

$v_{LO}(t) = V_{LO} \cos(\omega_{LO} t)$

$$V_{out} \cong R_L I_Z tgh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \text{sgn}(V_{LO} \cos(\omega_{LO} t))$$

Sviluppando  
in serie di  
Fourier

$$V_{out} \cong R_L I_Z tgh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \frac{4}{\pi} \left[ \cos(\omega_{LO} t) - \frac{1}{3} \cos(3\omega_{LO} t) + \dots \right]$$



# Il mixer di Gilbert

3° Caso (  $V_{RF} < V_T \ll V_{LO}$  il caso del mixer )

$$V_{out} \cong R_L I_Z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \cdot \frac{4}{\pi} \left[ \cos(\omega_{LO}t) - \frac{1}{3} \cos(3\omega_{LO}t) + \dots \right]$$

$V_{RF}$  è la tensione differenziale di ingresso, comprende anche gli offset dovuti alla polarizzazione ed alle differenze di caratteristica dei transistori.

Le condizioni di lavoro sono quella dei piccoli segnali e questo consente di valutare

la **dipendenza incrementale**

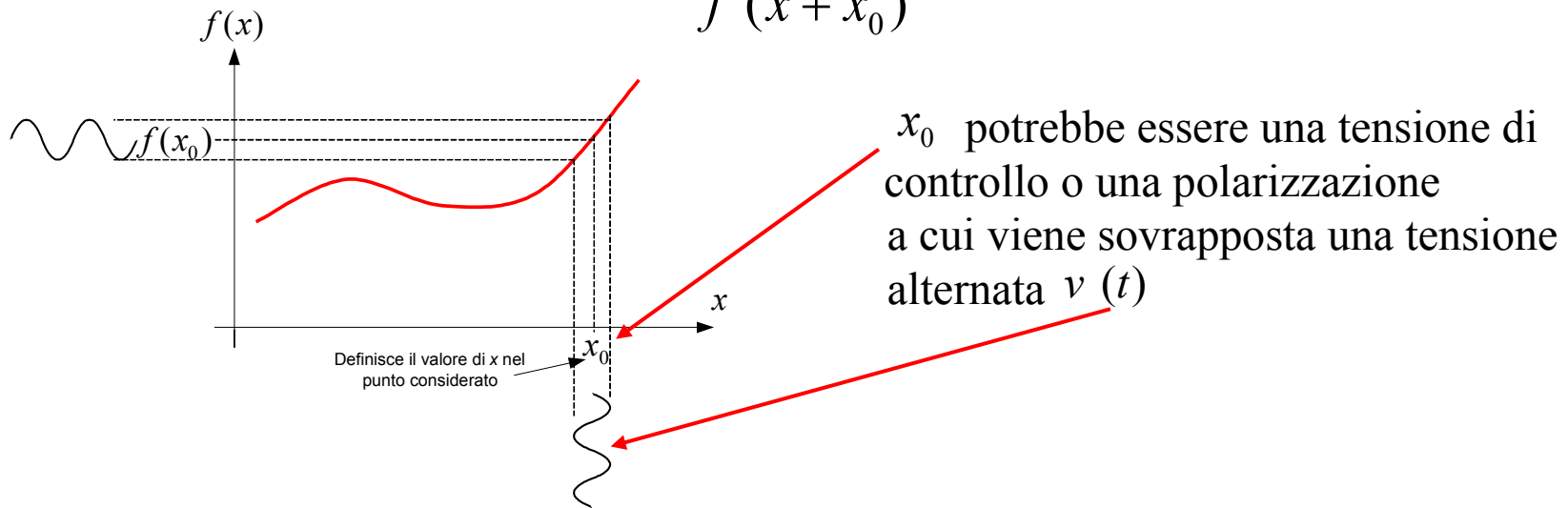
della tensione di uscita  $v_{out}(t)$  in funzione della  $v_{RF}(t)$

# Il mixer di Gilbert

## 3° Caso ( la dipendenza incrementale )

Apriamo una parentesi sulla **dipendenza incrementale e consideriamo una funzione generica**

$$f(x + x_0)$$



Per trovare il valore del “piccolo segnale” si espande la funzione  $f(x + x_0)$  nella serie di Taylor

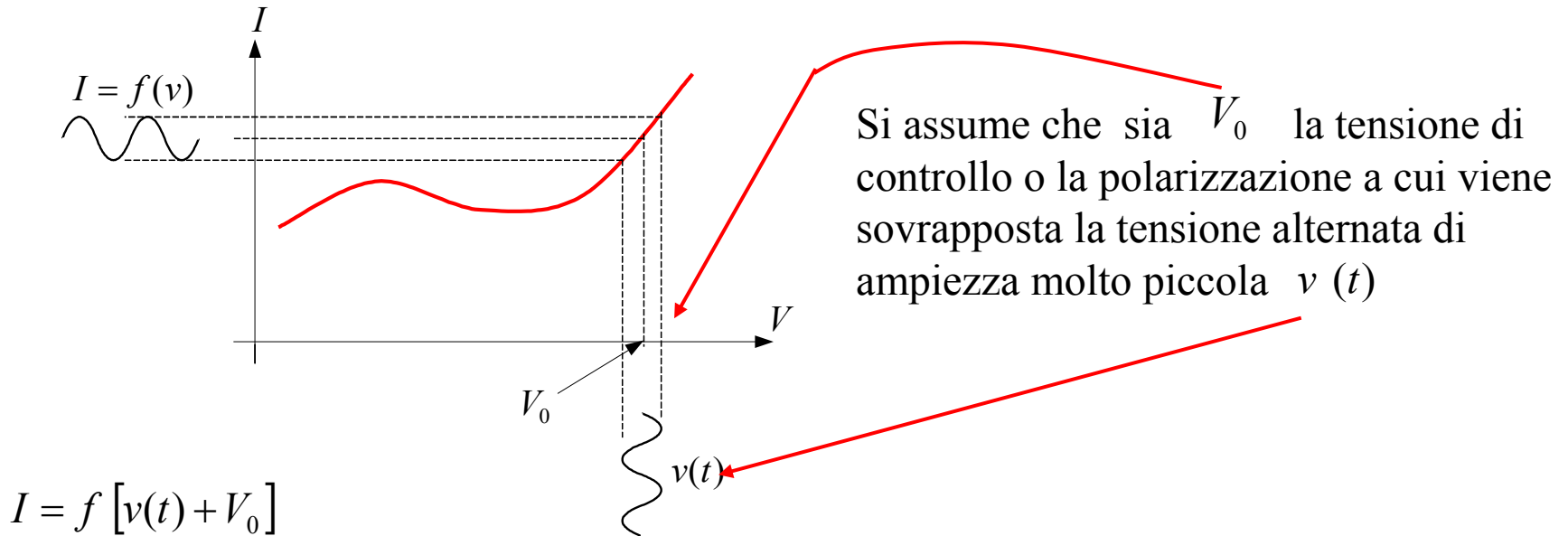
$$f(x + x_0) = f(x_0) + \left. \frac{df(x)}{dx} \right|_{x=x_0} \cdot x + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \right|_{x=x_0} \cdot x^2 + \frac{1}{3!} \left. \frac{d^3 f(x)}{dx^3} \right|_{x=x_0} \cdot x^3 + \dots$$

$x$  è il piccolo segnale che potrebbe essere, ad esempio, una funzione del tempo  $x(t)$ .

# Il mixer di Gilbert

## 3° Caso ( la dipendenza incrementale )

Nel caso di un dispositivo in cui la corrente è funzione della tensione esso potrà essere descritto da una funzione del tipo  $I = f(V)$



$$f[v(t) + V_0] = f(V_0) + \left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0} \cdot v(t) + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2 f(V)}{dV^2} \right|_{V=V_0} \cdot v^2(t) + \frac{1}{3!} \left. \frac{d^3 f(V)}{dV^3} \right|_{V=V_0} \cdot v^3(t) + \dots$$

# Il mixer di Gilbert

## 3° Caso ( la dipendenza incrementale )

$$f[v(t) + V_0] = f(V_0) + \left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0} \cdot v(t) + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2 f(V)}{dV^2} \right|_{V=V_0} \cdot v^2(t) + \frac{1}{3!} \left. \frac{d^3 f(V)}{dV^3} \right|_{V=V_0} \cdot v^3(t) + \dots$$

Si trascura la componente continua

Questo termine darà la componente utile della corrente di uscita

Si trascura i termini di ordine superiore

$V_{RF}$  è la tensione differenziale di ingresso

$$I_Z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right)$$

$$i(t) = \left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0} \cdot v(t)$$

Nel caso del mixer

$$i(t) = \left. \frac{d \left[ I_Z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \right]}{dV_{RF}} \right|_{V_{RF}=V_0}$$

$$\cdot v_{RF}(t)$$

$$i(t) = \frac{I_Z}{2V_T} \operatorname{sech}^2\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) v_{RF}(t)$$

Tensione di polarizzazione

# Il mixer di Gilbert

## 3° Caso ( la tensione di uscita )

Dalla relazione

$$V_{out} \cong R_L I_Z \text{tgh}\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \frac{4}{\pi} \left[ \cos(\omega_{LO}t) - \frac{1}{3} \cos(3\omega_{LO}t) + \dots \right]$$

In regime di  
piccole  
segnali (RF)



$$\frac{1}{2V_T} \text{sech}^2\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) v_{RF}(t)$$

$$v_{out}(t) \cong R_L I_Z \frac{1}{2V_T} \text{sech}^2\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) v_{RF}(t) \cdot \frac{4}{\pi} \left[ \cos(\omega_{LO}t) - \frac{1}{3} \cos(3\omega_{LO}t) + \dots \right]$$

# Il mixer di Gilbert

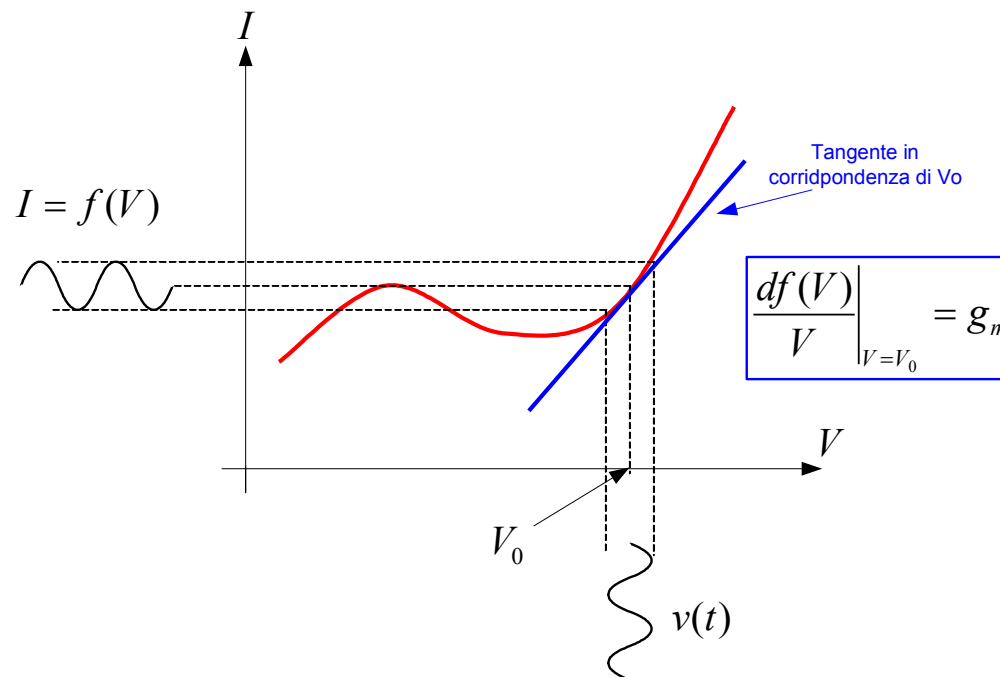
## 3° Caso ( la trasconduttanza )

Nel caso di un elemento con una caratteristica **tensione/corrente**

$$I = f(V)$$

la **trasconduttanza** è definita dalla tangente (= pendenza) della curva caratteristica in corrispondenza di  $V_0$

$$\left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0} = g_m$$



# Il mixer di Gilbert

## 3° Caso ( la trasconduttanza )

Dallo sviluppo della serie di Taylor

$$f[v(t) + V_0] = f(V_0) + \left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0} \cdot v(t) + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2 f(V)}{dV^2} \right|_{V=V_0} \cdot v^2(t) + \frac{1}{3!} \left. \frac{d^3 f(V)}{dV^3} \right|_{V=V_0} \cdot v^3(t) + \dots$$

$$i(t) = \left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0} \cdot v(t) \quad \Rightarrow \quad \frac{i(t)}{v(t)} = \left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0}$$

$$I_z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \quad \xrightarrow{\quad} \quad g_m = \frac{i(t)}{v(t)} = \left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0}$$

$$\frac{i(t)}{v_{RF}(t)} = \left. \frac{d \left[ I_z \tanh\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \right]}{dV_{RF}} \right|_{V_{RF}=V_0_{RF}} = \frac{I_z}{2V_T} \operatorname{sech}^2\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) = g_m$$

$V_{RF}$  è la tensione differenziale di ingresso

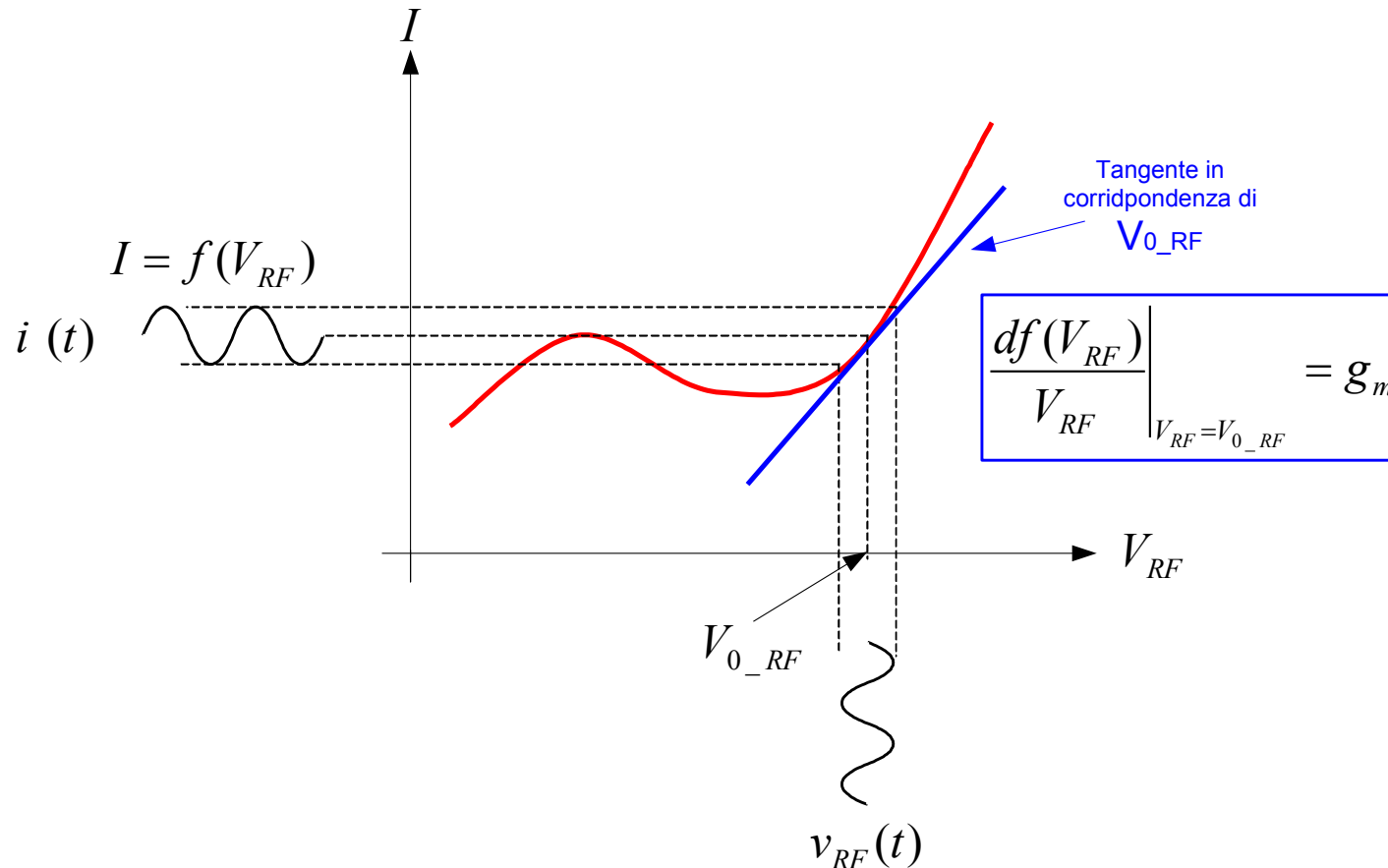
Tensione di polarizzazione

# Il mixer di Gilbert

## 3° Caso ( la trasconduttanza )

La trasconduttanza è data

$$g_m = \frac{I_Z}{2V_T} \sec h^2 \left( \frac{V_{RF}}{2V_T} \right)$$

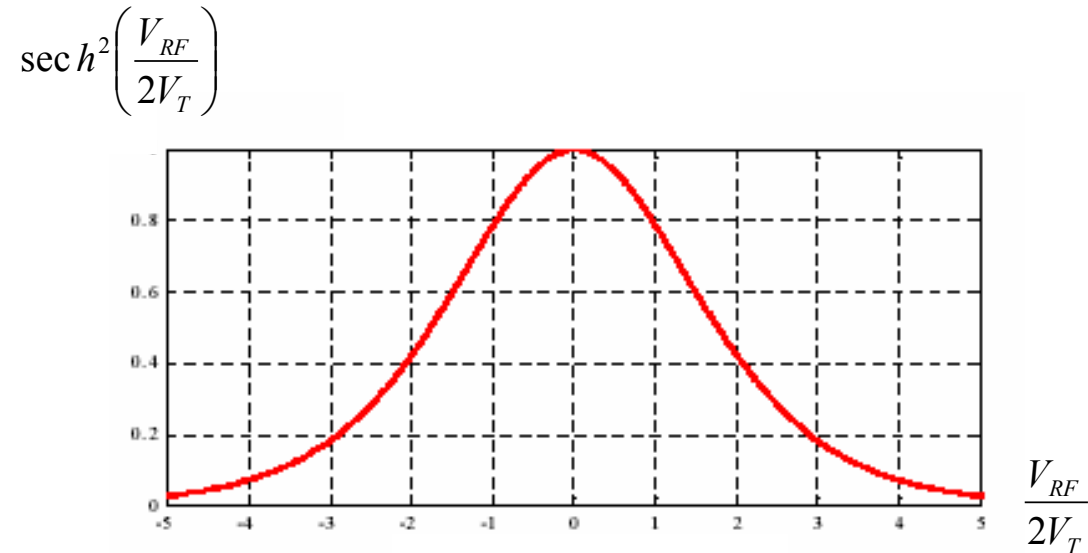




# Il mixer di Gilbert

## 3° Caso ( la trasconduttanza )

Andamento della  $\sec h^2\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right)$



Per  $V_{RF} = 0$  , la trasconduttanza diventa

$$g_m = \frac{I_Z}{2V_T} \sec h^2\left(\frac{V_{RF}}{2V_T}\right) \quad \longrightarrow \quad g_m = \frac{I_Z}{2V_T}$$

Gli svantaggi del mixer di Gilbert sono:

- Difficoltà di operare a bassa tensione: la cascata dei due stadi più la necessità di provvedere ad una sorgente di corrente costante (solitamente un pozzo di corrente) introduce un minimo requisito di almeno  $3 \times V_{BE}$ , a cui si deve aggiungere l'escursione della tensione di uscita, se questa è ricavata come una caduta sulle resistenze di carico.
- Le distorsioni di non linearità dello stadio RF si possono recuperare con una degenerazione di emettitore, ma questo diminuisce il guadagno di conversione ed introduce rumore.
- Un aumento di rumore e distorsione durante la commutazione dei transistori dello stadio mixer.