

FACOLTA di INGEGNERIA

Corso di laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

Corso di Elettronica per le telecomunicazioni

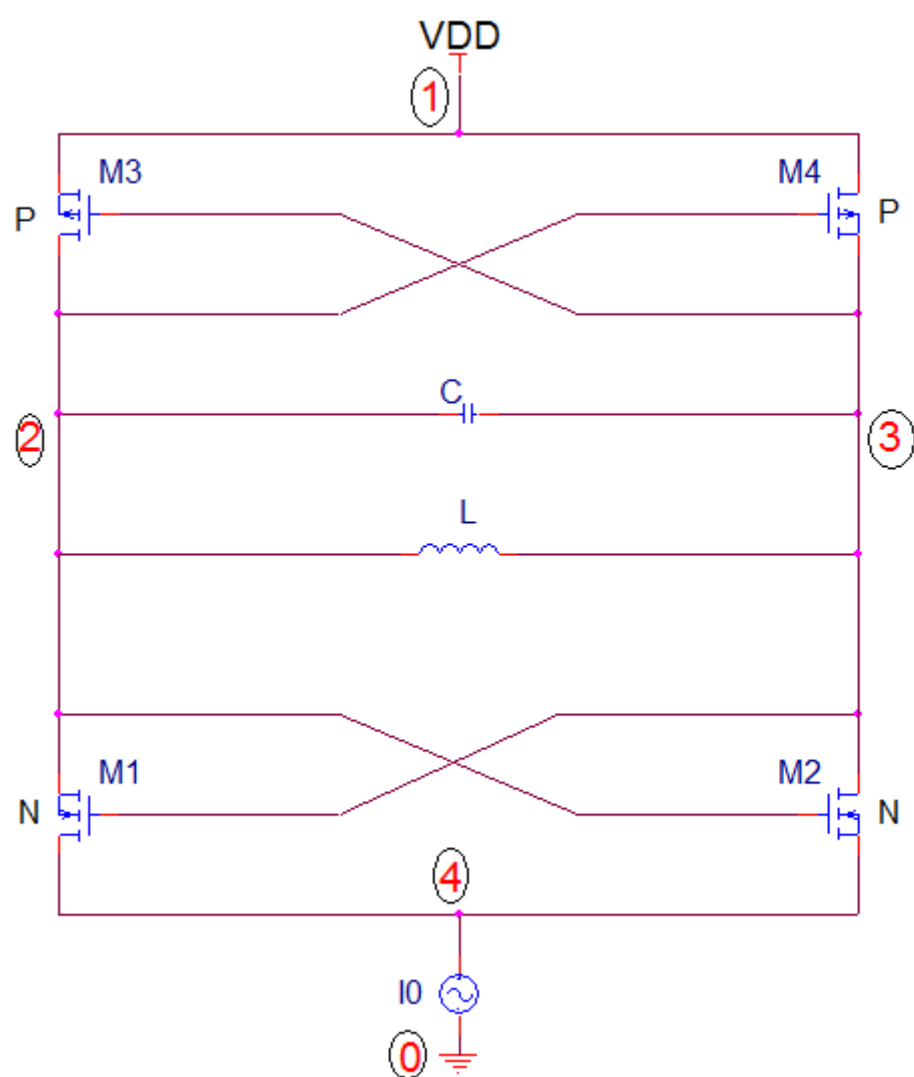
Prof. Claudio Turchetti



Studente:

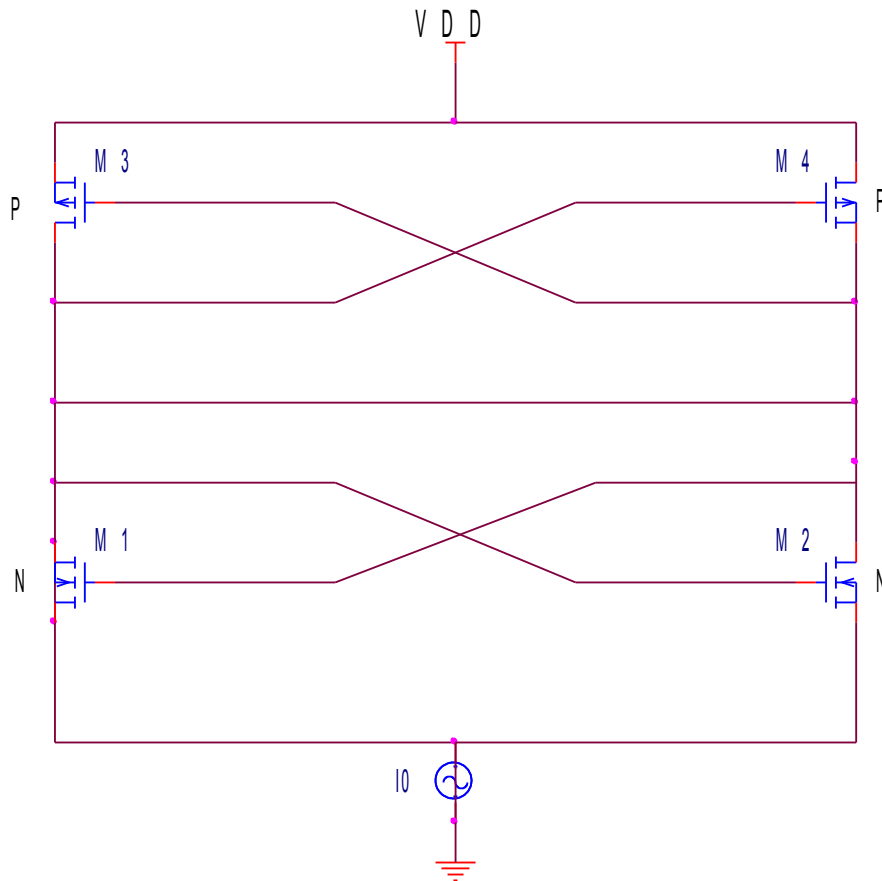
Cocchieri Fabio

## NUMERAZIONE NODI



## ANALISI DC

L'induttanza si cortocircuita, mentre la capacità diventa un circuito aperto e quindi del circuito iniziale rimangono semplicemente i 4 mosfet (2 di tipo N e 2 di tipo P) e il generatore di corrente  $I_0$ :



Essendo rispettate le seguenti condizioni : per i P-Mos  $V_{sd} \geq V_{sg} + V_{th}$  ;  $V_{sg} \geq -V_{th}$  , mentre per gli N-Mos  $V_{ds} \geq V_{gs} - V_{th}$  ;  $V_{gs} \geq V_{th}$  , e dal momento che la  $V_{th} \geq 0$  , si può dedurre facilmente che i 4 mosfet lavorano nella zona di saturazione, vale cioè la seguente espressione:

$$\begin{aligned} I_{dP} &= K (V_{gs} + V_{th})^2 (1 + \lambda V_{sd}) \\ I_{dN} &= K (V_{gs} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{ds}) \end{aligned}$$

Sapendo inoltre che la corrente che scorre sul lato sinistro è uguale a quella che scorre sul lato destro, avremo che  $I_{dP} + I_{dN} = I_0$ .

Allo stesso modo si nota immediatamente che:  $V_{g3} = V_{g2} = V_{g1} = V_{g4}$

Fissata l'alimentazione  $V_{dd}$  , il valore di  $\lambda$  è ricavabile facilmente dal modello dei dispositivi forniti a pagina 2 mentre il valore di  $K_p$  viene elencato come risultato dalla simulazione SPICE.

Trovata la corrente che scorre sui mosfet, si trova la potenza dissipata in continua (PDC) da cui si passa a dimensionare in modo adeguato il valore della  $V_{dd}$  affinché siano rispettate le specifiche date:

$$PDC = Vdd * (Id_{sx} + Id_{dx}) = Vdd * I0 < 20 mW$$

Rispettando le specifiche suddette, e con il valore dell'alimentazione pari a 5V si trova immediatamente dalla formula inversa che Id dev'essere minore di 2 mA.

## TAGLIO ANELLO E BARTLETT'S BISECTION THEOREM

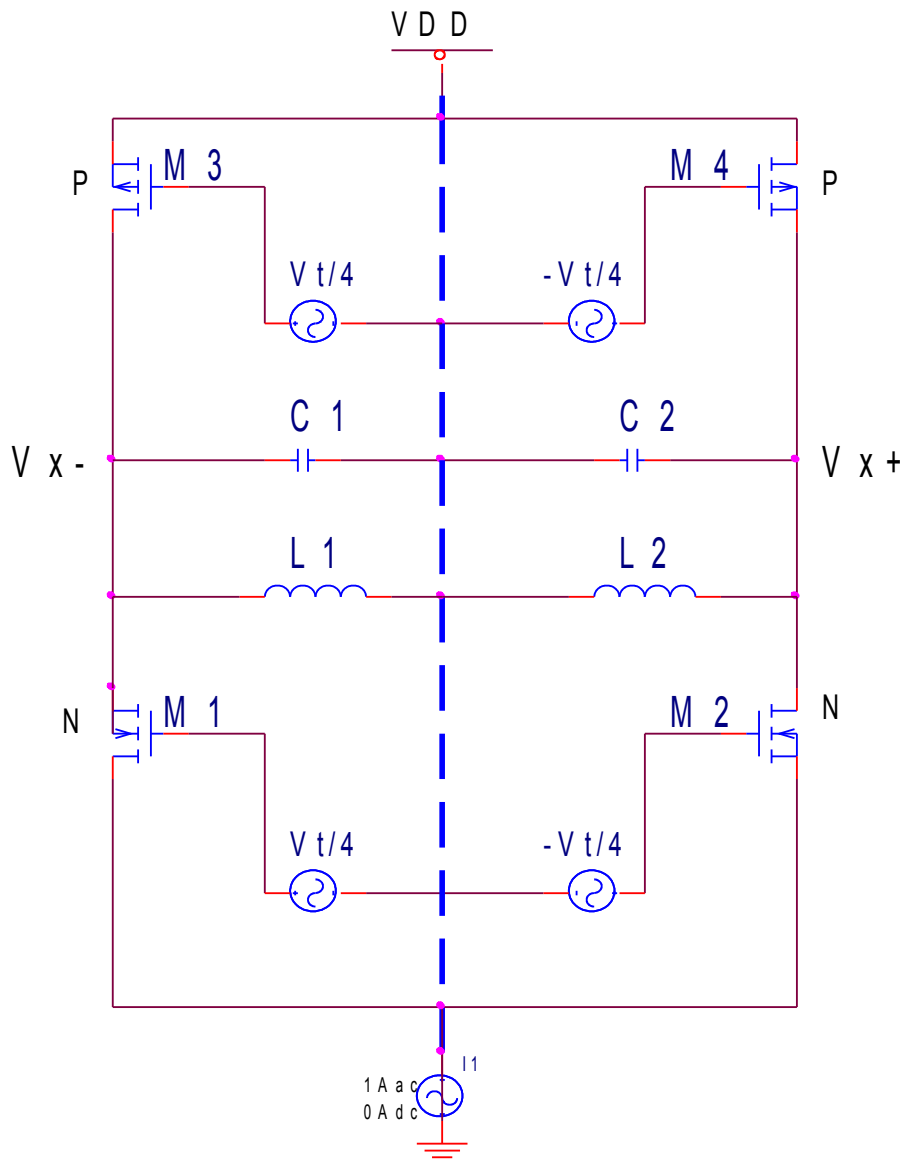
Prima di passare all'analisi ac del circuito, conviene applicare delle particolari semplificazioni che permettono lo studio del circuito stesso molto più agevole.

Prima di tutto apro l'anello sui gate dei mosfet M3 e M4 e sui gate dei mosfet M1 e M2, e inoltre (sfruttando il teorema di bisezione di Bartlett) divido sia il condensatore C1tot in C1 e

C2 con  $C1 = C2$  e poiché i 2 condensatori introdotti sono in serie risulterà che

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}; \text{ stessa identica cosa vale per l'induttanza } L_{1tot} \text{ che viene divisa in } L1 \text{ e } L2$$

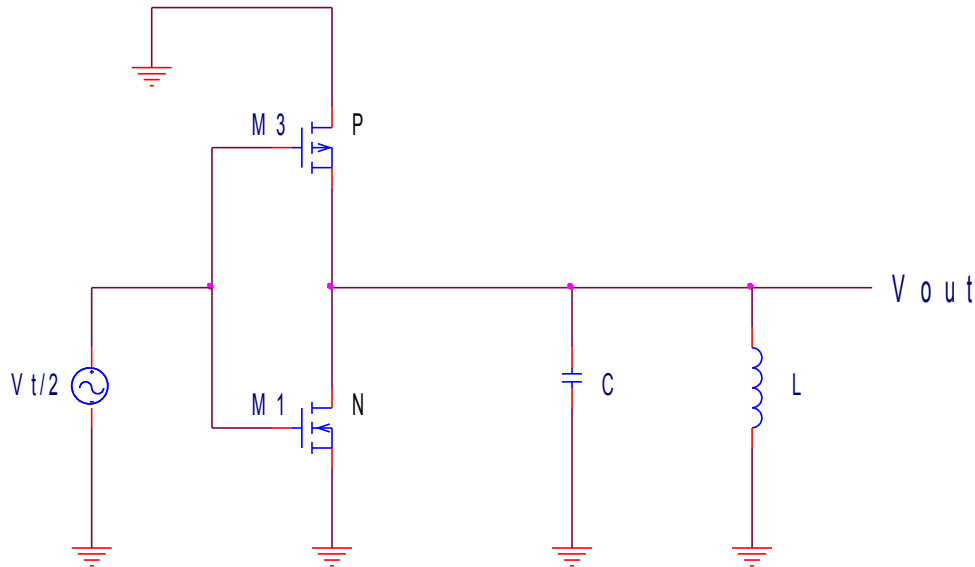
con  $L1 = L2$  e anch'esse poste in serie tra loro. Per ultimo inserisco i generatori di prova:



Nella figura precedente si nota come la nostra tensione di uscita risulta essere la

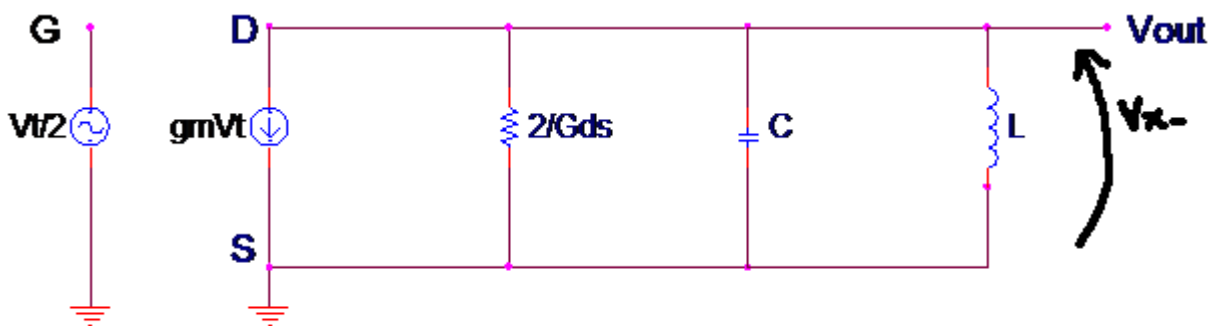
$$V_{out} = V_{x_+} - V_{x_-} = \frac{V_t}{2} - \left( -\frac{V_t}{2} \right)$$

Infine, sfruttando la simmetria del circuito così ottenuto, lo spezzo in due parti portando tutti i wire tagliati a massa perché è antisimmetrico e prendendo in considerazione solo la parte sinistra (la destra è equivalente):



## ANALISI AC

Considero ora la sola parte sinistra disegnata sopra (ripeto che la considerazione di quella destra è analoga ai fini del nostro trattamento) e ne disegno il suo circuito equivalente alle variazioni, cioè per piccoli segnali, ottenendo così:



A questo punto si passa allo svolgimento dei calcoli, che mi permetteranno alla fine di esplicitare le **condizioni di Barkhausen**, dalle quali sarà possibile dimensionare i valori delle capacità ed induttanze nota la frequenza di oscillazione.

Per semplicità, nelle successive formule si tratteranno i simboli  $\underline{L=L_1}$  e  $\underline{C=C_1}$ , ricordando che continuano a valere le semplificazioni adottate nel corso dell'analisi:

$$C_{tot} = \frac{C1 * C2}{(C1 + C2)}.$$

$$V_{x-} = -g_m V_t \frac{1}{\frac{g_{DS}}{2} + \frac{1}{sL} + sC} = V_t \frac{-2g_m sL}{g_{DS}sL + 2 + 2s^2 CL}$$

Ponendo che:  $\beta(s) = \frac{2g_m sL}{g_{DS}sL + 2 + 2s^2 CL}$ , è lecito scrivere la seguente espressione:

$$V_{out} = V_{x+} - V_{x-} = \frac{V_t}{2} \beta(s) + \frac{V_t}{2} \beta(s), \text{ da cui si ricava che}$$

$$\beta(s) = \frac{V_{out}}{V_t} = \frac{4g_m sL}{g_{DS}sL + 2 + 2s^2 CL}$$

Passiamo ora nel dominio di  $j\omega_0 = s$  e moltiplichiamo per  $j/j$  ricavando la seguente:

$$\beta(j\omega_0) = \frac{4g_m j\omega_0 L}{g_{DS}j\omega_0 L + 2 - 2\omega_0^2 CL} * \frac{j}{j} = \frac{-4\omega_0 g_m L}{-g_{DS}\omega_0 L + j(-2\omega_0^2 CL + 2)}$$

A questo punto applico le condizioni di Barkhausen, cioè

$$\begin{cases} \operatorname{Im}(A\beta(j\omega_0)) = 0 \\ \operatorname{Re}(A\beta(j\omega_0)) > 1 \end{cases}$$

dalla prima ricavo la relazione che lega la frequenza di oscillazione nota con i valori delle capacità e induttanza che dovranno così essere opportunamente dimensionati:

$$2 - 2\omega_0^2 CL = 0$$

$$\omega_0^2 CL = 1$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{CL}}$$

mentre dalla seconda ricavo la condizione che mi permette di partire l'oscillazione:

$$\frac{-4g_m L \omega_0}{-g_{DS} L \omega_0} > 1; \quad \frac{gm}{g_{DS}} > 1/4;$$

Dal momento che le mie specifiche da rispettare richiedono una frequenza di oscillazione pari a 90kHz, impongo ad esempio il valore di C e ricavo quello di L (nulla mi vieta di procedere nel corrispettivo modo), ricavando:

$$C_1 = C_2 = 2\text{nF} \rightarrow C_{tot} = 1\text{nF} \\ \rightarrow L = 1.56\text{mH}$$

che mi permettono di avere un'oscillazione teorica di 90kHz. Un'importante osservazione

riguarda il condensatore del circuito che è stato diviso in due per effettuare Bartlett quindi la C da considerare in fase di testing e di calcolo sarà la  $C_{tot}$  con valore pari in questo caso non a 2nF bensì a 1nF !!!

## RISULTATI SIMULAZIONE

Di seguito viene riportata la **NETLIST** utilizzata in fase di simulazione:

\*1022359

\*DEFINIZIONE DEI COMPONENTI

M1 2 3 4 4 modn W=100E-6 l=100E-6

M2 3 2 4 4 modn W=100E-6 l=100E-6

M3 2 3 1 1 modp W=100E-6 l=100E-6

M4 3 5 1 1 modp W=100E-6 l=100E-6

L1 2 3 1.56m

C1 2 3 1n

VCC 1 0 5

I0 4 0 DC 1.99m

V1 2 5 PULSE 0 0.5 0 0 0 1u 2u

\* MODELLO MOSFET

.MODEL modn NMOS (Level=1

+ VTO=0.7

+ GAMMA=0.5

+ PHI=0.8

+ LD=0.08E-06

+ WD=0

+ UO=460

+ LAMBDA=0.04

+ TOX=9.5E-9

+ PB=0.9

+ CJ=0.57E-3

+ CJSW=120E-12

+ MJ=0.5

+ MJSW=0.4

+ CGDO=0.4E-9

+ JS=10E-9

+ CGBO=0.38E-9

+ CGSO=0.4E-9)

.MODEL modp PMOS (Level=1

+ VTO=0.8

+ GAMMA=0.45

+ PHI=0.75

+ LD=0.09E-06

+ WD=0

+ UO=115

+ LAMBDA=0.03

+ TOX=9.5E-9

```

+ PB=0.9
+ CJ=0.93E-3
+ CJSW=170E-12
+ MJ=0.5
+ MJSW=0.35
+ CGDO=0.35E-9
+ JS=5E-9
+ CGBO=0.38E-9
+ CGSO=0.35E-9)
* DIRETTIVE
.OP
.TRAN 1n 100u
.FOUR 90khz V(2,3)
.PROBE V(2,3)
.END

```

Riporto anche il **FILE DI OUTPUT** ottenuto dalla simulazione:

```

**** 04/27/09 21:17:18 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

```

```

* DEFINIZIONE DEI COMPONENTI

```

```

**** CIRCUIT DESCRIPTION

```

```

*****

```

```

M1 2 3 4 4 modn W=100E-6 l=100E-6
M2 3 2 4 4 modn W=100E-6 l=100E-6
M3 2 3 1 1 modp W=100E-6 l=100E-6
M4 3 5 1 1 modp W=100E-6 l=100E-6
L1 2 3 1.56m
C1 2 3 1n
VCC 1 0 5
I0 4 0 DC 1.99m
V1 2 5 PULSE 0 0.5 0 0 0 1u 2u
* MODELLO MOSFET
.MODEL modn NMOS (Level=1
+ VTO=0.7
+ GAMMA=0.5
+ PHI=0.8
+ LD=0.08E-06

```



```

+ WD=0
+ UO=460
+ LAMBDA=0.04
+ TOX=9.5E-9
+ PB=0.9
+ CJ=0.57E-3
+ CJSW=120E-12
+ MJ=0.5
+ MJSW=0.4
+ CGDO=0.4E-9
+ JS=10E-9
+ CGBO=0.38E-9
+ CGSO=0.4E-9)
.MODEL modp PMOS (Level=1
+ VTO=0.8
+ GAMMA=0.45
+ PHI=0.75
+ LD=0.09E-06
+ WD=0
+ UO=115
+ LAMBDA=0.03
+ TOX=9.5E-9
+ PB=0.9
+ CJ=0.93E-3
+ CJSW=170E-12
+ MJ=0.5
+ MJSW=0.35
+ CGDO=0.35E-9
+ JS=5E-9
+ CGBO=0.38E-9
+ CGSO=0.35E-9)
* DIRETTIVE
.OP
.TRAN 1n 100u
.FOUR 90khz V(2,3)
.PROBE V(2,3)
.END

```

\*\*\*\* 04/27/09 21:17:18 \*\*\*\*\* Evaluation PSpice (Nov 1999) \*\*\*\*\*

\* DEFINIZIONE DEI COMPONENTI

\*\*\*\* MOSFET MODEL PARAMETERS

\*\*\*\*\*

	modn	modp
	NMOS	PMOS
LEVEL	1	1
L	100.000000E-06	100.000000E-06
W	100.000000E-06	100.000000E-06
LD	80.000000E-09	90.000000E-09
VTO	.7	.8
KP	167.204900E-06	41.801210E-06
GAMMA	.5	.45
PHI	.8	.75
LAMBDA	.04	.03
IS	10.000000E-15	10.000000E-15
JS	10.000000E-09	5.000000E-09
PB	.9	.9
PBSW	.9	.9
CJ	570.000000E-06	930.000000E-06
CJSW	120.000000E-12	170.000000E-12
MJSW	.4	.35
CGSO	400.000000E-12	350.000000E-12
CGDO	400.000000E-12	350.000000E-12
CGBO	380.000000E-12	380.000000E-12
TOX	9.500000E-09	9.500000E-09
XJ	0	0
UO	460	115
UCRIT	10.000000E+03	10.000000E+03
DIOMOD	1	1
VFB	0	0
LETA	0	0
WETA	0	0
U0	0	0
TEMP	0	0
VDD	0	0
XPART	0	0

\*\*\*\* 04/27/09 21:17:18 \*\*\*\*\* Evaluation PSpice (Nov 1999) \*\*\*\*\*

\* DEFINIZIONE DEI COMPONENTI

\*\*\*\* SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE

( 1) 5.0000 ( 2) -.6263 ( 3) -.6263 ( 4) -4.5321

( 5) -.6263

#### VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME	CURRENT
------	---------

VCC	-1.990E-03
-----	------------

V1	-8.132E-20
----	------------

TOTAL POWER DISSIPATION 9.95E-03 WATTS

\*\*\*\* 04/27/09 21:17:18 \*\*\*\*\* Evaluation PSpice (Nov 1999) \*\*\*\*\*

\* DEFINIZIONE DEI COMPONENTI

\*\*\*\* OPERATING POINT INFORMATION      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

\*\*\*\* MOSFETS

NAME	M1	M2	M3	M4
MODEL	modn	modn	modp	modp
ID	9.95E-04	9.95E-04	-9.95E-04	-9.95E-04
VGS	3.91E+00	3.91E+00	-5.63E+00	-5.63E+00

VDS	3.91E+00	3.91E+00	-5.63E+00	-5.63E+00
VBS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
VTH	7.00E-01	7.00E-01	8.00E-01	8.00E-01
VDSAT	3.21E+00	3.21E+00	-6.43E+00	-6.43E+00
Lin0/Sat1	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
if	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
ir	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
TAU	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
GM	6.21E-04	6.21E-04	2.75E-04	2.75E-04
GDS	3.44E-05	3.44E-05	6.47E-05	6.47E-05
GMB	1.74E-04	1.74E-04	7.15E-05	7.15E-05
CBD	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CBS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CGSOV	4.00E-14	4.00E-14	3.50E-14	3.50E-14
CGDOV	4.00E-14	4.00E-14	3.50E-14	3.50E-14
CGBOV	3.79E-14	3.79E-14	3.79E-14	3.79E-14
CGS	2.42E-11	2.42E-11	2.18E-11	2.18E-11
CGD	0.00E+00	0.00E+00	7.14E-12	7.14E-12
CGB	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

\*\*\*\* 04/27/09 21:17:18 \*\*\*\*\* Evaluation PSpice (Nov 1999) \*\*\*\*\*

\* DEFINIZIONE DEI COMPONENTI

\*\*\*\* INITIAL TRANSIENT SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( 1) 5.0000 ( 2) -.6263 ( 3) -.6263 ( 4) -4.5321

( 5) -.6263

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME	CURRENT
------	---------

VCC	-1.990E-03
-----	------------

V1	-8.132E-20
----	------------

TOTAL POWER DISSIPATION 9.95E-03 WATTS

\*\*\*\* 04/27/09 21:17:18 \*\*\*\*\* Evaluation PSpice (Nov 1999) \*\*\*\*\*

\* DEFINIZIONE DEI COMPONENTI

\*\*\*\*      FOURIER ANALYSIS                      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(2,3)

DC COMPONENT = -9.522468E+00

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
-------------	----------------	-------------------	----------------------	-------------	------------------------

1	9.000E+04	5.645E+01	1.000E+00	-1.297E+02	0.000E+00
2	1.800E+05	3.534E+01	6.260E-01	2.546E+01	2.849E+02
3	2.700E+05	1.494E+01	2.646E-01	1.828E+01	4.075E+02
4	3.600E+05	1.003E+01	1.777E-01	1.548E+01	5.344E+02
5	4.500E+05	7.319E+00	1.296E-01	1.130E+01	6.599E+02
6	5.400E+05	5.962E+00	1.056E-01	1.018E+01	7.885E+02
7	6.300E+05	5.090E+00	9.016E-02	7.560E+00	9.157E+02
8	7.200E+05	4.365E+00	7.732E-02	7.077E+00	1.045E+03
9	8.100E+05	3.879E+00	6.872E-02	7.907E+00	1.175E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 7.350097E+01 PERCENT

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME                      .41

Di seguito sono riportati i grafici della simulazione: **TRANSITORIO** e **FOURIER**