

LTspice Diodi

Parte 2

www.die.ing.unibo.it/pers/mastri/didattica.htm
(versione del 18-4-2018)

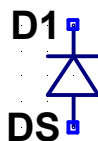
Modello del diodo

- I parametri del diodo vengono assegnati mediante una direttiva .model avente il formato:

`.model nome D(lista parametri)`

dove

- ◆ *nome* può essere scelto in modo arbitrario e deve essere assegnato come valore al componente
- ◆ D indica che il tipo di componente (diodo) a cui si riferisce il modello



```
.model DS D(Is=10p n=1.5 BV=30 Ibv=5m Cjo=10p Vj=0.6 m=0.4 Tt=15u)
```

Parametri principali

Nome	Parametro	Val. predefinito
Is	corrente di saturazione (A)	10 fA
n	coefficiente di emissione	1
Rs	resistenza serie (Ω)	0
BV	tensione di breakdown (valore assoluto) (V)	∞
Ibv	corrente per $V = BV$ (valore assoluto) (A)	10 nA
nbv	coefficiente di emissione di breakdown	1
Tt	tempo di transito (s)	0
Cjo	capacità di giunzione per $V = 0$ (V)	0
Vj	potenziale di giunzione (V)	1V
m	coefficiente di grading	0.5
FC	coefficiente per C_j in polarizzazione diretta (V)	0.5
Tnom	temperatura di riferimento ($^{\circ}\text{C}$)	27 $^{\circ}\text{C}$

3

Parametri principali

- L'andamento della corrente nella regione di breakdown è rappresentato mediante una funzione esponenziale del tipo

$$-I_{BV} e^{-\frac{V+BV}{\eta_{BV}V_T}}$$

- La capacità di giunzione è espressa dalla relazione

$$C_J = C_{J0} \left(1 - \frac{V}{V_J}\right)^{-m}$$

per $V \leq FC$, mentre per valori maggiori C_J è espressa mediante un'estrapolazione lineare

4

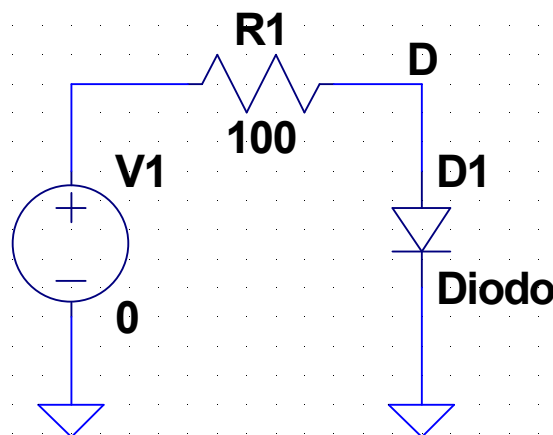
Dipendenza dalla temperatura

- I parametri del modello si intendono misurati ad una temperatura di riferimento T_{nom} (il cui valore predefinito è $27\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Il circuito viene simulato assumendo una temperatura di $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, a meno di indicazioni diverse fornite mediante la direttiva `.TEMP` o `.STEP`
- La direttiva `.TEMP` ha la forma
`.TEMP elenco valori`
ed è equivalente a
`.STEP temp list elenco valori`
- Se la temperatura di simulazione è diversa da T_{nom} i parametri vengono modificati di conseguenza
- La dipendenza dei parametri dalla temperatura è controllata, a sua volta, da una serie di parametri (EG, XTI, ecc.) i cui valori possono essere assegnati mediante la direttiva `.MODEL`

5

01-D-car-1.asc

Caratteristica statica del diodo



.Model Diodo D(IS=1pA n=1 BV=5V IBV=5mA nBV=1 RS=0)

.dc V1 -15V 10V

Dato che la caratteristica è fortemente non lineare non conviene collegare il diodo direttamente al generatore, ma è opportuno inserire una resistenza per limitare il valore massimo della corrente.

Per visualizzare la caratteristica $I_D(V_D)$ fare doppio click sull'asse delle ascisse e scrivere nella casella "Quantity Plotted" $V(D)$ al posto di $V1$.

6

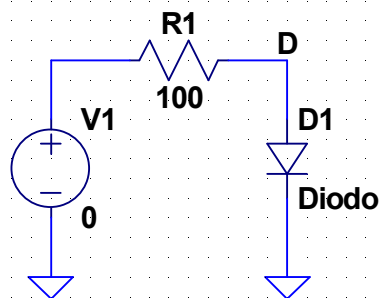
Analisi al variare dei parametri del modello

- La direttiva .STEP può essere usata anche per eseguire analisi al variare dei parametri dei modelli
- In questo caso il parametro da variare va indicato come *tipo nome_modello(parametro)* dove
 - ◆ *tipo* indica il tipo di componente (quindi “D” nel caso del diodo)
 - ◆ *nome_modello* è il nome indicato nella direttiva .MODEL
 - ◆ *parametro* è il nome del parametro da variare
- Esempi:
 - ◆ .STEP D DA(Rs) 1 5 0.1
variazione della resistenza serie del diodo descritto dal modello “DA” da 1 a 5 Ω a passi di 0.1 Ω
 - ◆ .STEP DEC D DB(IS) 100f 10n 10
variazione della corrente di saturazione del diodo descritto dal modello “DB” da 100fA a 10 nA con 10 punti per decade

7

02-D-car-2.asc

Dipendenza della caratteristica statica del diodo dai parametri del modello



```
.Model Diodo D(IS=1pA n=1 BV=5V IBV=5mA nBV=1 RS=0)  
.dc V1 -20V 20V
```

Il carattere ; è utilizzato per trasformare la direttiva in un commento.
Lasciare "non commentata" una sola delle direttive per vedere l'effetto della variazione di un parametro sulla caratteristica.

```
.step D Diodo(IS) list 1fA 1pA 1uA  
;step D Diodo(n) list 1 1.5 2  
;step D Diodo(RS) list 0 1 2 3  
;step D Diodo(BV) list 3 4 5  
;step D Diodo(IBV) list 1mA 5 mA 10 mA  
;step D Diodo(nBV) list 0.5 1 2
```

8

Caratteristica del diodo in scala semilogaritmica

- In conduzione diretta la tensione può essere espressa in funzione della corrente mediante la relazione

$$V = V_T \ln\left(\frac{I}{I_S}\right)$$

- Se si considerano due valori della corrente, I_1 e I_2 , la differenza tra le tensioni corrispondenti è

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_T \ln\left(\frac{I_2}{I_S}\right) - V_T \ln\left(\frac{I_1}{I_S}\right) = V_T \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

- Per $I_2 = 10I_1$ e $T = 300$ K (e quindi $V_T = 26$ mV) si ha

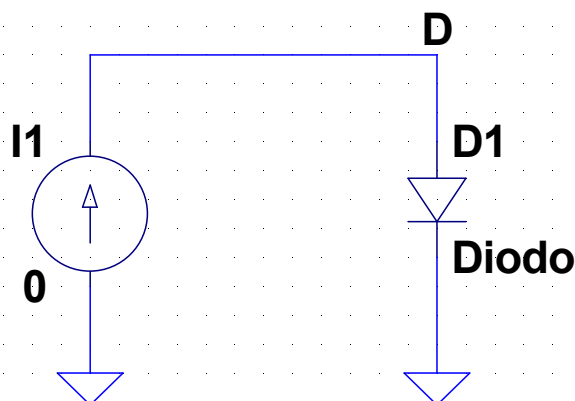
$$\Delta V = V_T \ln(10) \approx 60 \text{ mV}$$

- In conduzione diretta, al variare della corrente la tensione aumenta di 60 mV per decade

9

02-D-car-2.asc

Tensione del diodo in funzione della corrente



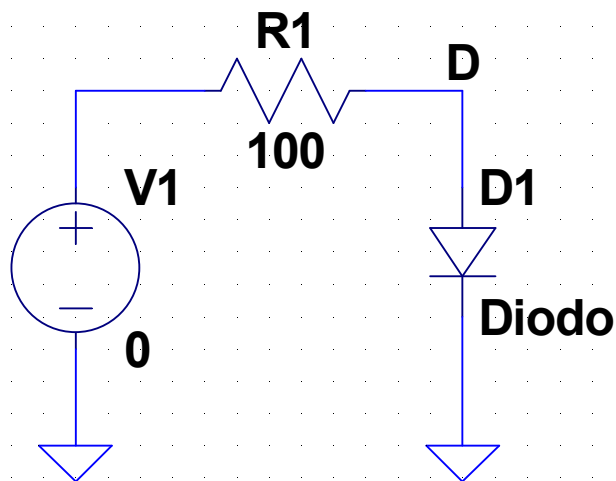
.Model Diodo D(IS=1pA n=1 BV=5V IBV=5mA nBV=1 RS=0)

.dc dec I1 100nA 10mA 10

Variatione logaritmica della corrente, 10 punti per decade.

10

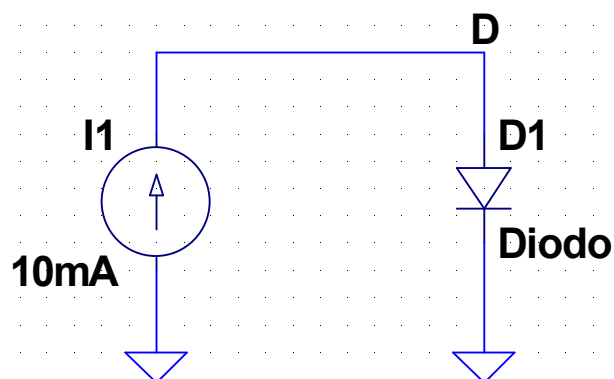
Dipendenza della caratteristica statica del diodo dalla temperatura



```
.Model Diodo D(IS=1pA n=1 BV=5V IBV=5mA nBV=1 RS=0)
.dc V1 0 20V
.step temp list 7 17 27 37 47
```

11

Variazione della tensione in funzione della temperatura per un valore prefissato della corrente



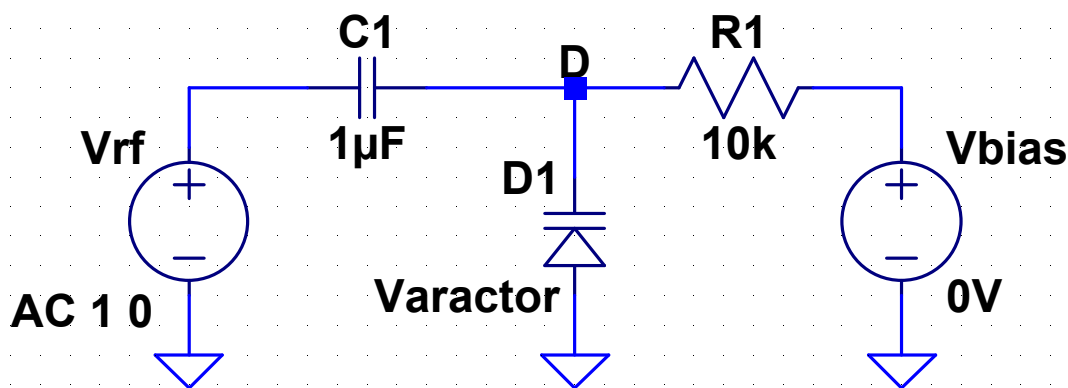
```
.Model Diodo D(IS=1pA BV=5V IBV=5mA n=1 RS=0)
.step temp 0 100 1
.op
```

Si può osservare che la tensione si riduce di circa 2 mV per ogni aumento di 1 °C della temperatura.

E' possibile visualizzare la pendenza della curva attivando due cursori, oppure utilizzando la funzione D(), che fornisce una stima numerica della derivata.

12

Capacità di giunzione



```
.model Varactor D(IS=10pA CJO=100pF VJ=0.6V m=0.3)
.step Vbias -1 10 0.1 Vbias > 0 corrisponde a polarizzazione inversa
.ac list 1MegHz
```

Per visualizzare l'andamento della capacità in funzione della tensione di polarizzazione graficare: $-Im(I(D1)/V(D)) / (2MegHz * PI)$

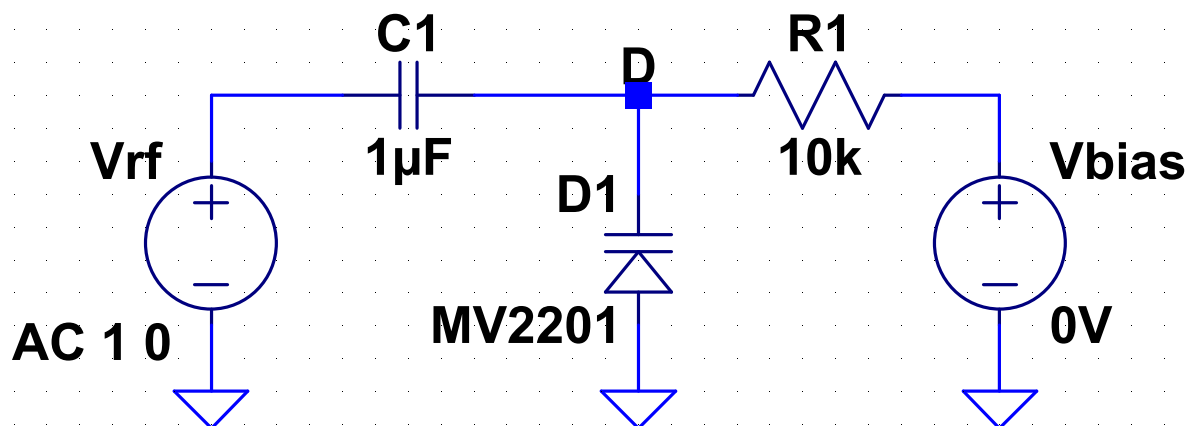
13

Determinazione della capacità

- Si esegue una serie di analisi AC con frequenza fissa (per es. 1 MHz) al variare della tensione di polarizzazione del varactor
- Il programma, prima di ciascuna analisi AC, esegue un'analisi .op (durante la quale il condensatore C1 è trattato come un circuito aperto e il generatore Vrf come un cortocircuito) per determinare il punto di lavoro del diodo
 - ◆ dato che il diodo è polarizzato in inversa, la tensione del diodo è praticamente uguale a Vbias
- Nell'analisi AC il circuito viene linearizzato e il generatore Vbias è trattato come un cortocircuito
 - ◆ Il diodo è trattato come un condensatore lineare di capacità $CJ(Vbias)$
- L'analisi AC consente di ricavare i fasori della tensione e della corrente del diodo, dai quali si può ottenere l'ammettenza quindi, nota la frequenza, la capacità

14

Capacità di giunzione



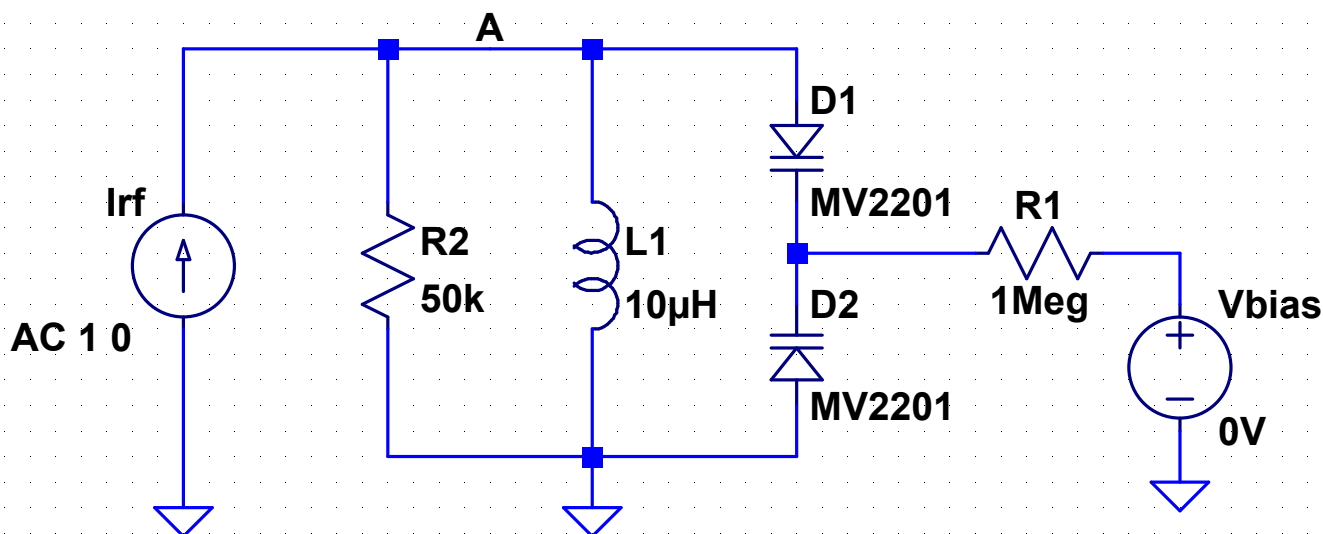
.step Vbias -1 20 0.5 $V_{bias} > 0$ corrisponde a polarizzazione inversa

.ac list 1MegHz

Per visualizzare l'andamento della capacità in funzione della tensione di polarizzazione graficare: $-Im(I(D1)/V(D)) / (2MegHz * \pi)$

15

Circuito risonante parallelo con varactor



.step Vbias list 0 5 10 15 20

.ac dec 1000 10Meg 100Meg

16

Circuito risonante con varactor

- E' necessario evitare che il circuito di polarizzazione dei diodi non perturbi il risonatore e che il generatore di polarizzazione venga cortocircuitato dall'induttore
- Per questo si utilizzano due varactor collegati in modo da isolare in continua il ramo formato da V_{bias} e R_1
- Dato che la corrente in R_1 è praticamente nulla, R_1 può avere un valore molto elevato, quindi la sua presenza non perturba il risonatore
- La capacità inserita nel risonatore è pari all'equivalente serie delle capacità dei due varactor (cioè la metà del valore comune se i due diodi sono uguali)

17

Dipendenza della frequenza di risonanza da V_{bias}

Parametri del diodo:

$$C_{j0} = 14.93 \text{ pF}$$

$$m = 0.4261$$

$$V_j = 0.75 \text{ V}$$

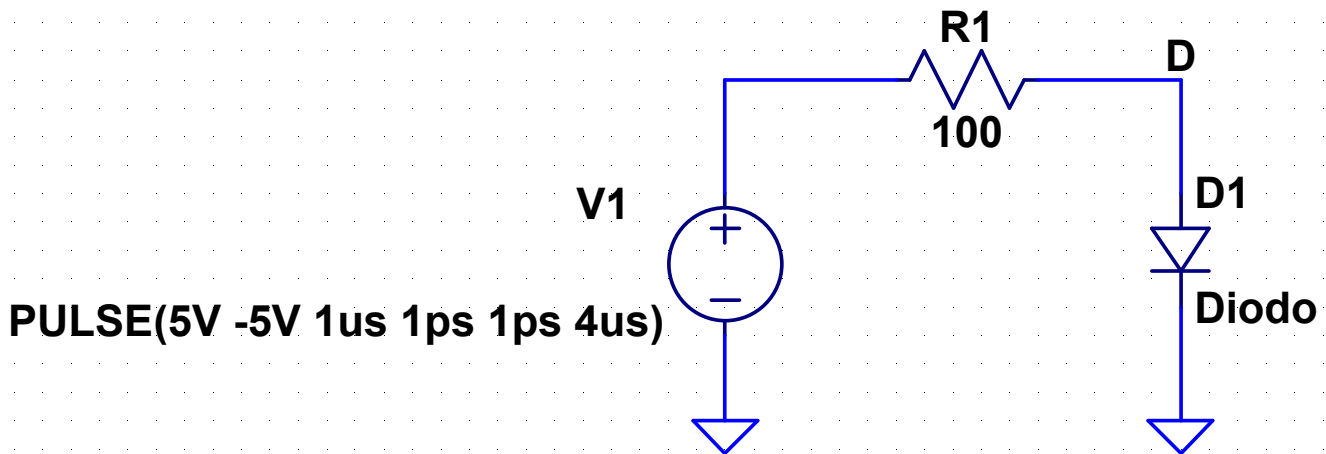
$$C_J = C_{J0} \left(1 + \frac{V_{\text{bias}}}{V_J} \right)^{-m}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \frac{C_J}{2}}}$$

V_{bias} (V)	C_J (pF)	f_0 (MHz)
0	14.93	18.421
5	6.268	28.430
10	4.801	32.484
15	4.080	35.237
20	3.628	37.369

18

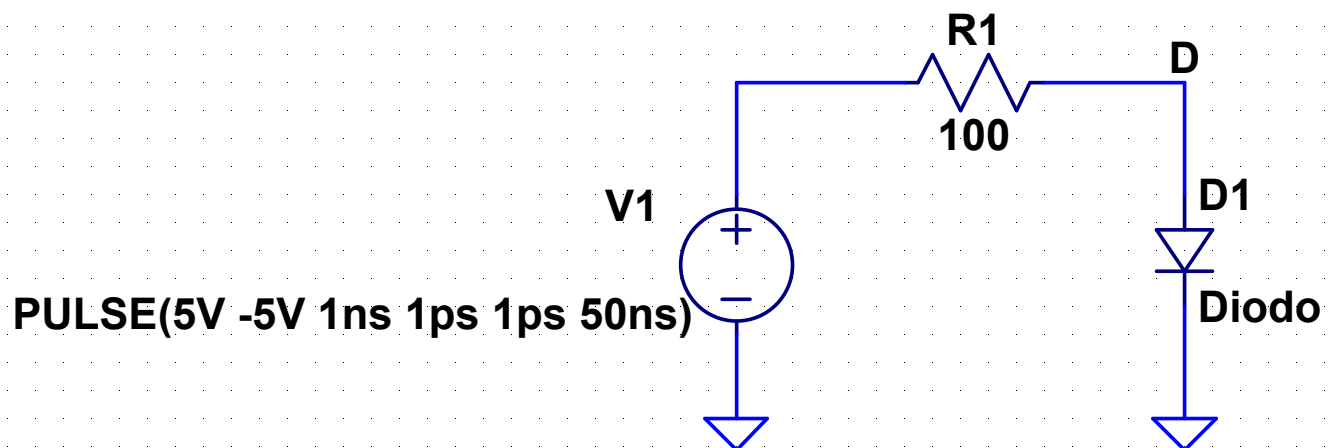
Tempo di recupero
Diodo con $TT = 5 \mu s$



```
.model Diodo D(IS=10pA n=1.5 TT=5us CJ0=10pF VJ=0.6V M=0.33)
```

```
.tran 6us
```

Tempo di recupero
Diodo con $TT = 50 \text{ ns}$

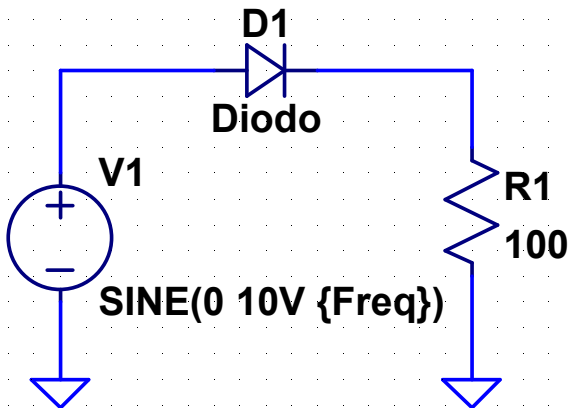


```
.model Diodo D(IS=10pA n=1.5 TT=50ns CJ0=10pF VJ=0.6V M=0.33)
```

```
.tran 60ns
```

11-D-tt-3.asc

Effetto della capacità di diffusione sul comportamento di un raddrizzatore



```
.model Diodo D(IS=10pA n=1.5 TT=5us CJ0=10pF VJ=0.6V M=0.33)
```

```
.tran {5/Freq}
```

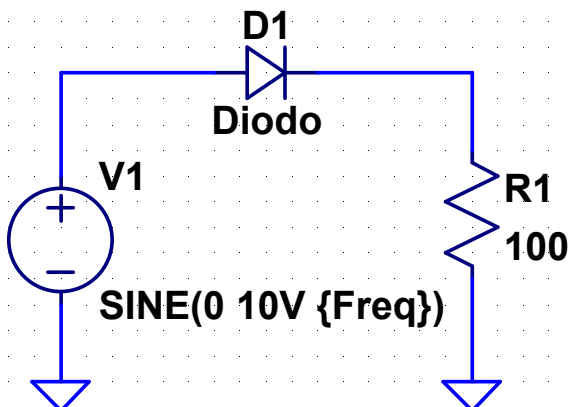
```
.param Freq=50Hz
```

Con questo valore della frequenza il tempo di recupero del diodo è trascurabile rispetto al periodo della tensione e il raddrizzatore funziona correttamente

21

12-D-tt-4.asc

Effetto della capacità di diffusione sul comportamento di un raddrizzatore



```
.model Diodo D(IS=10pA n=1.5 TT=5us CJ0=10pF VJ=0.6V M=0.33)
```

```
.tran {5/Freq}
```

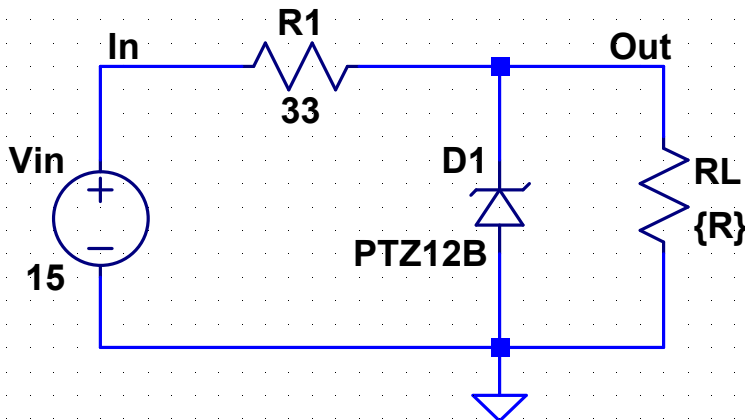
```
.param Freq=100kHz
```

Aumentando la frequenza il tempo di recupero del diodo diventa comparabile con il periodo della tensione. Il diodo non commuta abbastanza velocemente, quindi il raddrizzatore non funziona correttamente.

22

13-Z-reg-1.asc

Regolatore con diodo Zener Analisi al variare della resistenza di carico



Parametri del diodo Zener:

$V_Z (=BV) = 12.5 \text{ V}$

$I_{ZT} (=IBV) = 20 \text{ mA}$

$P_{max} = 1 \text{ W}$ quindi $I_{ZM} = P_{max}/V_Z = 80 \text{ mA}$

Normalmente si può assumere $I_{Zk} = I_{ZM}/10$
quindi $I_{Zk} = 8 \text{ mA}$

Il valore a vuoto (R tendente a infinito)
della corrente I_Z è

$I_{z0} = (V_{in} - V_Z)/R_1 = 75.76 \text{ mA} < I_{ZM}$

.op

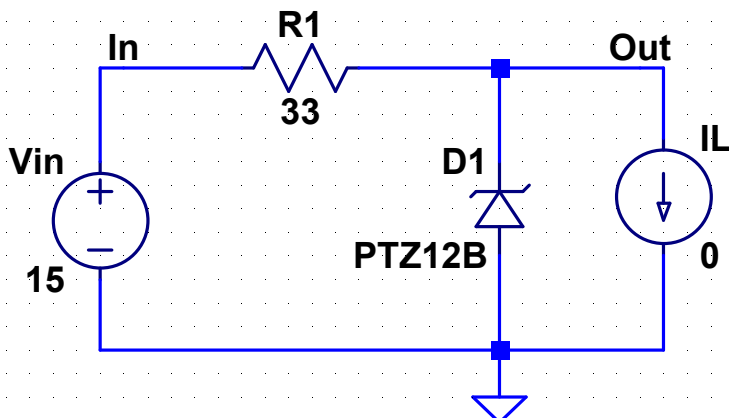
.step dec param R 1 10000 20

Per ottenere grafici più leggibili impostare la scala logarimica sull'ase delle ascisse

23

14-Z-reg-2.asc

Regolatore con diodo Zener Analisi al variare della corrente del carico



Parametri del diodo Zener:

$V_Z (=BV) = 12.5 \text{ V}$

$I_{ZT} (=IBV) = 20 \text{ mA}$

$P_{max} = 1 \text{ W}$ quindi $I_{ZM} = P_{max}/V_Z = 80 \text{ mA}$

Normalmente si può assumere $I_{Zk} = I_{ZM}/10$
quindi $I_{Zk} = 8 \text{ mA}$

Il valore a vuoto (R tendente a infinito)
della corrente I_Z è

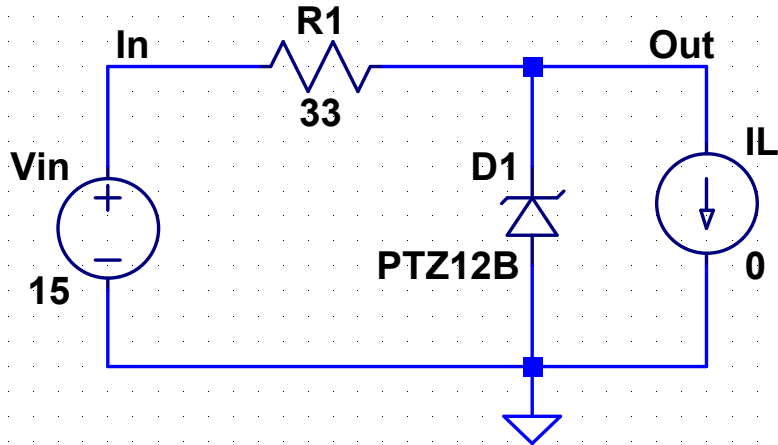
$I_{z0} = (V_{in} - V_Z)/R_1 = 75.76 \text{ mA} < I_{ZM}$

.dc dec IL 1mA 500mA 100

24

15-Z-reg-3.asc

Regolatore con diodo Zener Analisi al variare della corrente del carico per diversi valori della tensione di ingresso



Parametri del diodo Zener:
 $V_Z (=BV) = 12.5 \text{ V}$
 $I_{ZT} (=IBV) = 20 \text{ mA}$
 $P_{max} = 1 \text{ W}$ quindi $I_{ZM} = P_{max}/V_Z = 80 \text{ mA}$

Normalmente si può assumere $I_{Zk} = I_{ZM}/10$
quindi $I_{Zk} = 8 \text{ mA}$

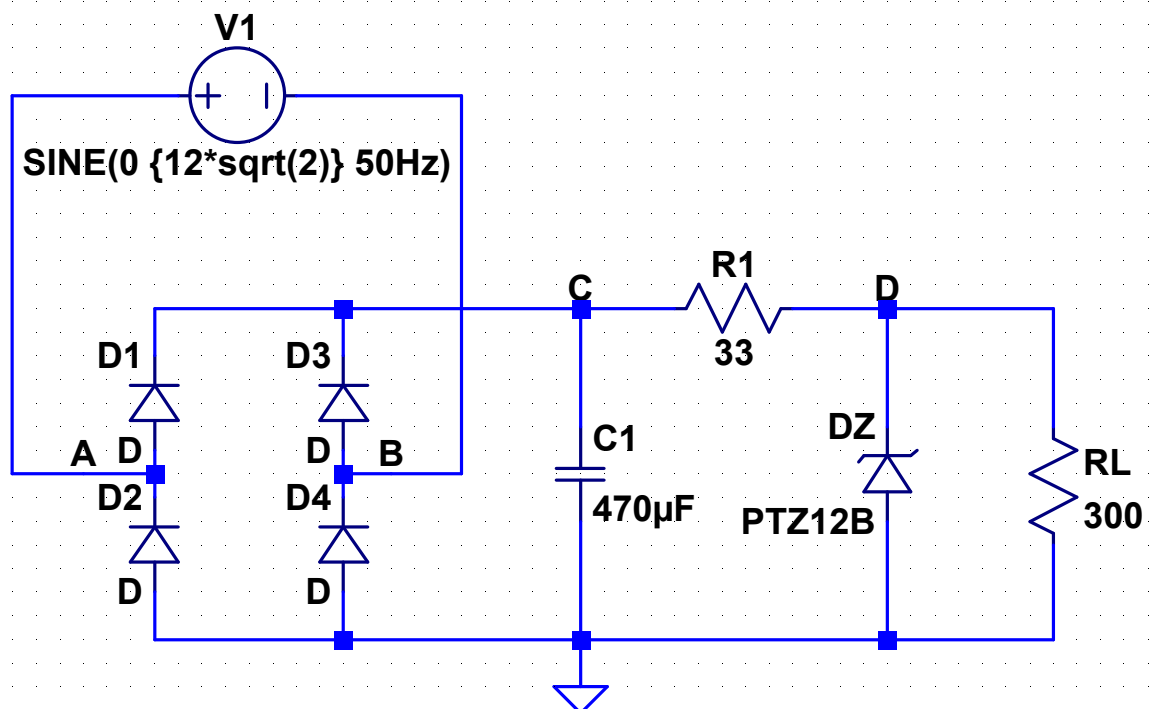
Il valore a vuoto (R tendente a infinito)
della corrente I_Z è
 $I_{z0} = (V_{in} - V_Z)/R_1 = 75.76 \text{ mA} < I_{ZM}$

```
.dc dec IL 1mA 500mA 100  
.step Vin list 13V 14V 15V 16V
```

25

16-Z-reg-4.asc

Raddrizzatore a ponte con capacità di filtro e regolatore a diodo Zener

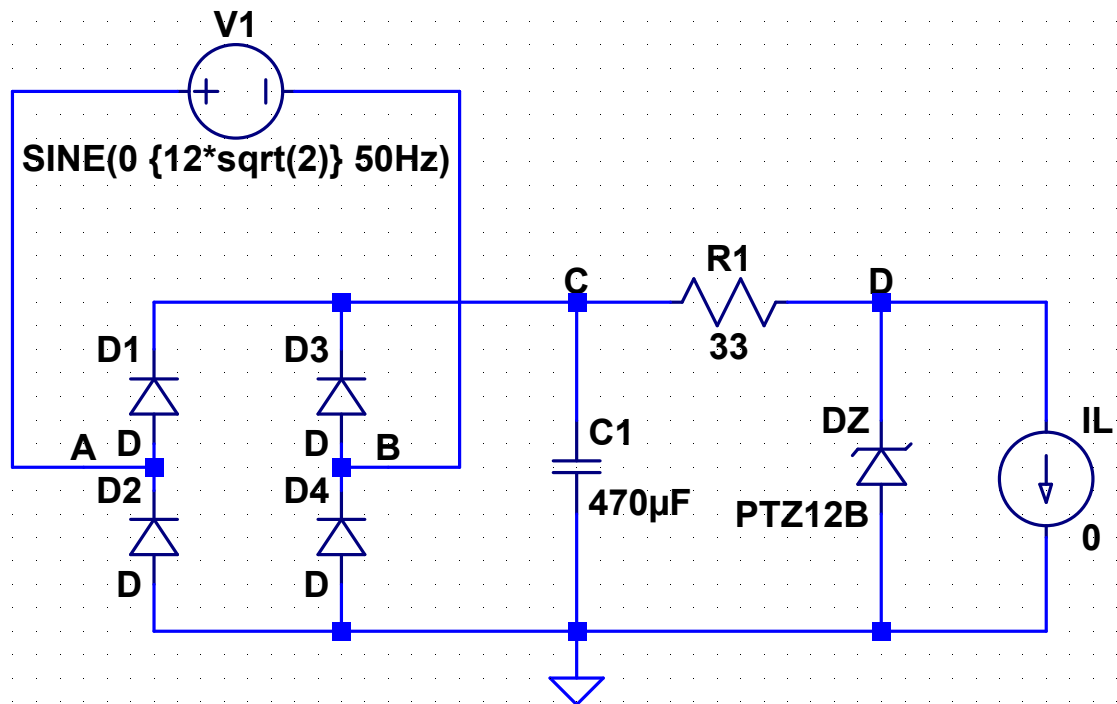


```
.tran 0 100ms 20ms 100us
```

26

17-Z-reg-5.asc

Raddrizzatore a ponte con capacità di filtro e regolatore a diodo Zener
Analisi per diversi valori della corrente di carico



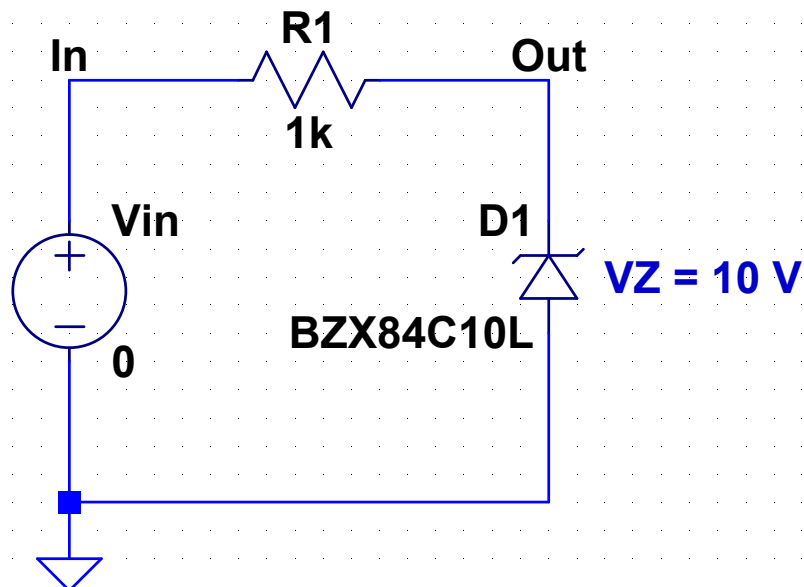
```
.tran 0 100ms 20ms 100us
```

```
.step IL 0 80mA 20mA
```

27

18-Z-lim-1.asc

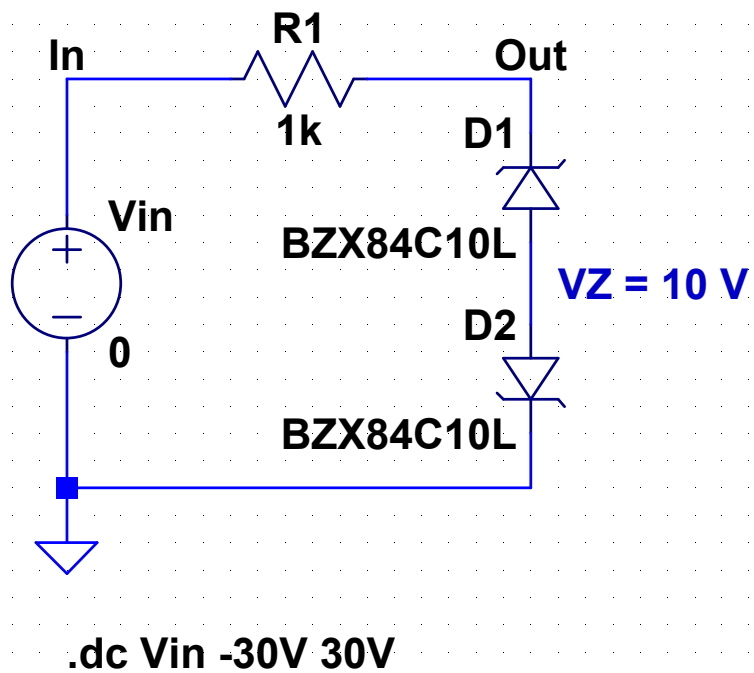
Limitatore con un diodo Zener



```
.dc Vin -30V 30V
```

28

Limitatore con due diodi Zener



Limitatore con due diodi Zener

