

# 半導体素子の（逆バイアス時の） 接合容量をシミュレーションで知る方法

電子回路には、ダイオードやFETなどの半導体部品が利用される。それらの構造では「p-n」や「ショットキー・バリア」などの＜接合＞が重要な役割を果たしている。これらの素子の順方向に電流が流れる状況では、たとえ容量性の要素があっても、接合部分のインピーダンスが低くなるため、回路的に目立った現象を生じることはほとんどない。しかし、逆バイアスがかかった場合にはDC的にはインピーダンスが高くなり、容量性の要素の振る舞いが周囲のL成分とつながり、共振（減衰振動）を引き起こすため、その容量のバイアス依存性をシミュレーションによって確かめておく必要もある。では、接合容量をどのようにシミュレーションするか・・・以下に解説する。

## コンデンサの電圧・電流の関係

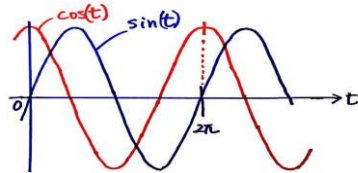
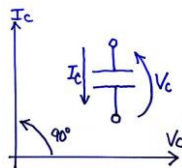
コンデンサに交流電圧を印加したときの電流は

$$V_c = a \sin \omega t \quad \text{と} \quad a \ll \dots$$

$$I_c = C \frac{dV_c}{dt}$$

$$I_c = C \cdot \frac{d}{dt} (a \sin \omega t)$$

$$= C \cdot a \cdot \omega \cdot \cos \omega t$$



・・・となる。ここで、元の交流電圧信号に対し90度位相が進んだ別の交流信号源を考える。

ここで  $V_c' = a \sin(\omega t + 90^\circ)$   $V_c'$  は  $V_c$  と区別するための記号で「微分」の意味ではない

$$= a \cos \omega t$$

さらに  $I_c \cdot V_c'$  を考える

$$I_c \cdot V_c' = (C a \omega \cos \omega t) \times (a \cos \omega t)$$

$$= C a^2 \omega \cos^2 \omega t$$

さらに、この積の平均を計算する

$$A_v(I_c V_c') = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} C a^2 \omega \cos^2 \omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{C a^2 \omega}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[ \frac{1}{2}(1 + \cos 2\omega t) \right] d\omega t$$

$$= C a^2 \omega \left[ \frac{1}{2} [\omega t]_0^{2\pi} + \frac{1}{2} [\sin 2\omega t]_0^{2\pi} \right]$$

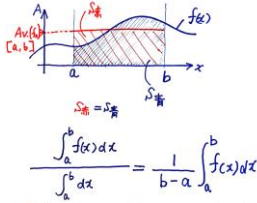
$$A_v(I_c V_c') = C a^2 \omega \pi$$

$$C = \frac{A_v(I_c V_c')}{a^2 \omega \pi}$$

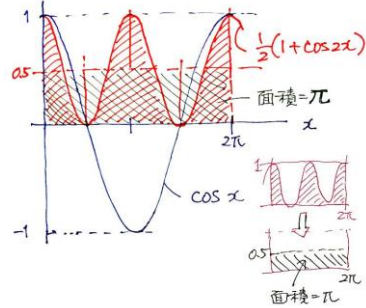
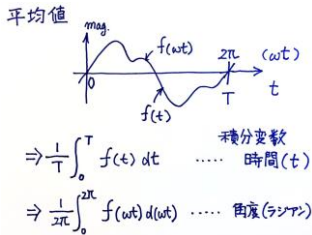
印加する交流電源（周波数=f・振幅=a）と、それに直行するもう一つの電源を利用することでCが求まる

# 補足 (平均値の計算)

ある関数の区間内の平均とは・・・



周期関数の場合、一般的には1周期の平均。  
正負対象関数では、半周期の平均をとる場合もある。



Cos2(x)の1周期の定積分を  
図式的にイメージする図

# 通常のコンデンサで手法の確認

まず、ダイオードを使って試してみる前に、電圧依存性のない通常のコンデンサで実験してみる。

```

.param Freq=1Meg
.param amp=1m
.param Period=4
.param delay=3
                
```

OPTIONS plotwinsize=0  
OPTIONS numdgt=15

```

.tran 0 {(delay+Period)/Freq} {delay/Freq}
.step param V -10 0 0.2
.meas Cap_M AVG V(a)*I(V1)/pi/((amp)*{amp})/Freq
                
```

シミュレーションが終わったら、[Ctrl]+L でError Log を表示し、そのLogファイルの中でマウスの右クリックをし、「Plot .step'ed .meas data」をクリックする。続いて、新たに表示された窓の中で右クリックし、「Add trace」をクリックし、「Cap\_M」をクリックする。

$$C = \frac{Av(Ic Vc')}{a^2 f \pi}$$

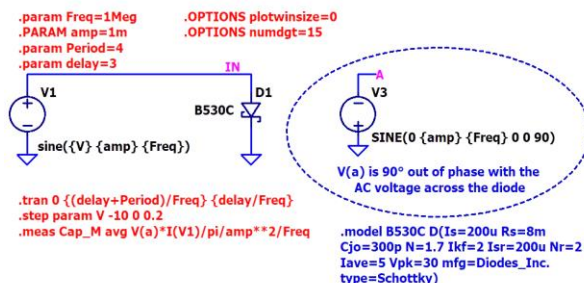
amp=1m, Freq=1MHz のとき  
AVG V(a)\*I(V1)/pi となる。

「Cap\_M」のプロット  
設定した「1mF」になっていることがわかる。

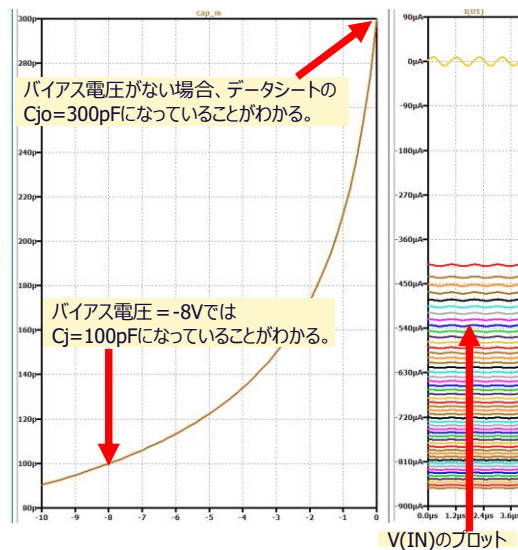
V(IN)のプロット

# ダイオードの接合容量（逆バイアス）

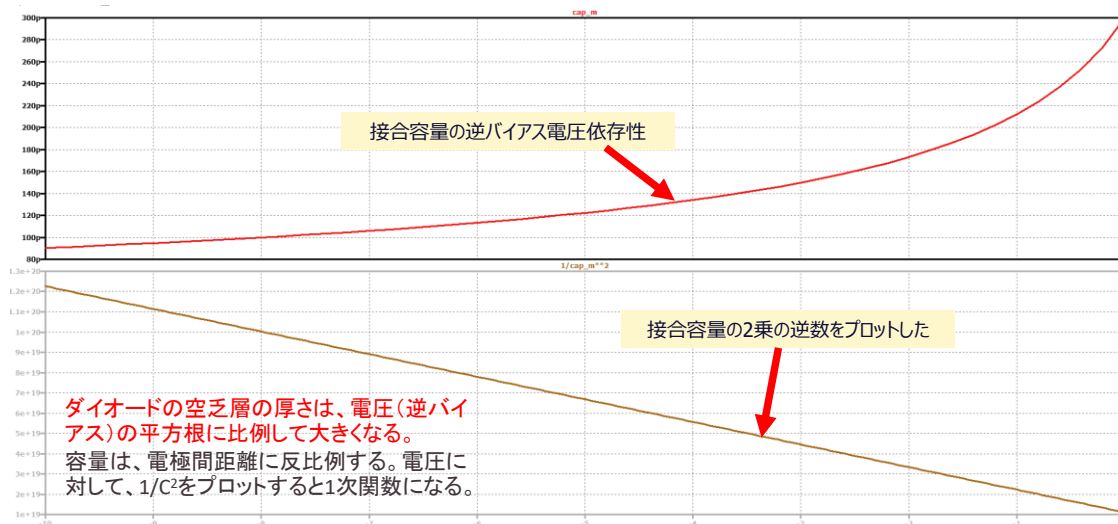
ダイオードにLTspiceのライブラリーにあるB530Cを使って  
コンデンサの場合と同じようにシミュレーションを実行する。



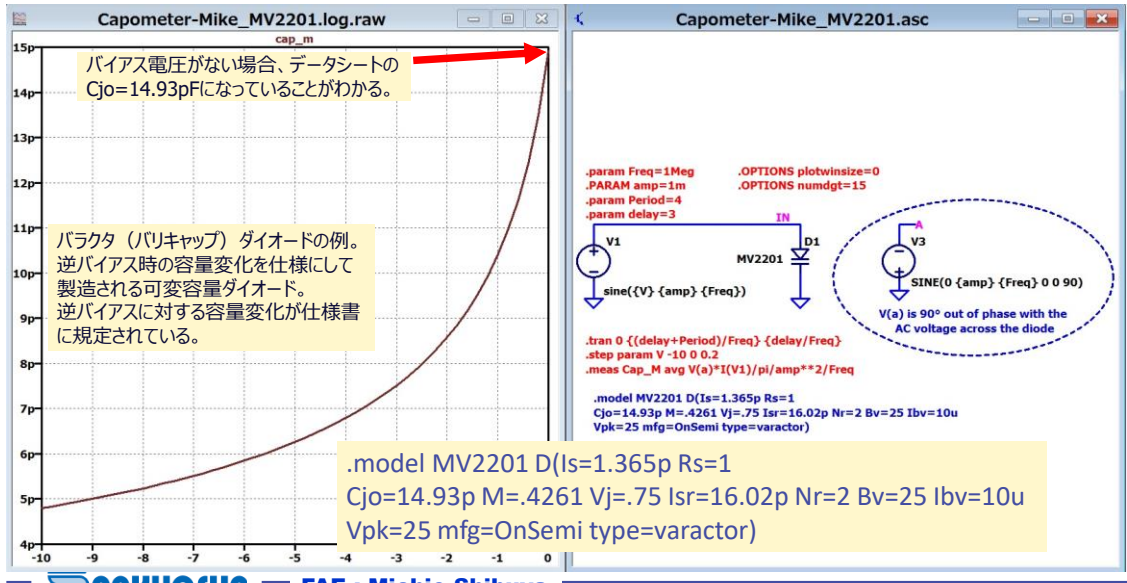
シミュレーションが終わったら、[Ctrl]+L でError Log を表示し、そのLogファイルの中でマウスの右クリックをし、「Plot .step'ed .meas data」をクリックする。続いて、新たに表示された窓の中で右クリックし、「Add trace」をクリックし、「Cap\_M」をクリックする。



# ダイオードの接合容量の性質



# 例題 Varactor MV2201 (1)



SANKYOSHA FAE : Michio Shibuya

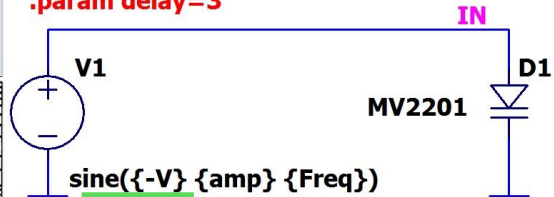
7

# Varactor MV2201 (2) 印加電圧を対数表示する



```

.param Freq=1Meg .OPTIONS plotw
.PARAM amp=1m .OPTIONS numd
.param Period=4 .OPTIONS numd
.param delay=3
    
```



バイアス電圧にマイナスを付ける

```

.tran 0 {(delay+Period)/Freq} {delay/Freq}
.step param V 0 24.6 0.1
    
```

STEP パラメータはプラスにする  $k^2/Fr$

「Cap\_M」をプロットした後、グラフの横軸目盛りの上でマウスの右クリックをし、表示されたダイアログボックスの中の「Logarithmic」にチェックを入れる

SANKYOSHA FAE : Michio Shibuya

Vpk=25 mfg=OnSemi type=varactor)

8

## ポイント（まとめ）

容量素子の電圧と電流の関係から  
容量を求める計算をし(理論的計算)、  
その計算を反映するように回路を設定し  
(シミュレーション可能な回路構成の表現)、  
.STEP と .MEAS を組み合わせ、  
目的のパラメータを表示する。