



*Global Design Infrastructure Innovation*

# パラメトリックパッシブSPICEモデルの紹介と バイアス依存モデルの重要性

2020.07.22

<http://www.modech.com/>

- 第1章 パッシブ・デバイスのデータシートにある仕様の解釈について
- 第2章 インダクタ、キャパシタの重要特性と回路特性の関係
- 第3章 パラメトリック・パッシブSPICEモデルを用いた設計フロー改善のご提案

# 第1章

## パッシブ・デバイスのデータシート にある仕様の解釈について

# パッシブ・デバイスのデータ・シート(インダクタ)

インダクタのデータ・シートにおいてモデリングで重要な記載項目を見ていきます。

## 太陽誘電様LBシリーズインダクタのデータ・シート

### ■ 製品特性表

|                   |   |
|-------------------|---|
| インダクタンス           | 1.0 uH ± 20 %                                     |
| ケースサイズ (EIA/JIS)  | 0603/1608   |
| 定格電流 (max)        | 0.16 A  |
| 直流抵抗 (max)        | 0.221 Ω   |
| 直流抵抗 (typ)        | 0.17 Ω  |
| LQ測定周波数           | 7.96 MHz  |
| 自己共振周波数 (min)     | 100 MHz   |
| 使用温度範囲            | -40 to +105 °C<br>(Including-self-generated heat) |
| 温度特性 (インダクタンス変化率) | ± 20 %  |
| RoHS指令対応 (10 物質)  | Yes   |
| REACH対応 (205 物質)  | Yes   |
| ハロゲンフリー           | Yes   |
| 適用はんだ付け法          | Reflow  |

## 太陽誘電様MCシリーズインダクタのデータ・シート

### ■ 製品特性表

|                  |   |
|------------------|---|
| インダクタンス          | 1.0 uH ± 20 %                                     |
| ケースサイズ (EIA/JIS) | 0504/1210   |
| 定格電流 (max)       | 1.1 A   |
| 直流重畳許容電流 (max)   | 1.5 A (ΔL=30%)                                    |
| 直流重畳許容電流 (typ)   | 1.7 A (ΔL=30%)                                    |
| 温度上昇許容電流 (max)   | 1.1 A (ΔT=40°C)                                   |
| 温度上昇許容電流 (typ)   | 1.2 A (ΔT=40°C)                                   |
| 直流抵抗 (max)       | 0.179 Ω   |
| 直流抵抗 (typ)       | 0.157 Ω   |
| LQ測定周波数          | 1 MHz   |
| 使用温度範囲           | -40 to +125 °C<br>(Including-self-generated heat) |
| RoHS指令対応 (10 物質) | Yes   |
| REACH対応 (205 物質) | Yes   |
| 適用はんだ付け法         | Reflow  |

インダクタンス以外にも多くの重要な規格があります！

インダクタのデータ・シートにおいてモデリングで重要な記載項目を見ていきます。

- ・インダクタンス

インダクタンスの公称値と様々なバラツキ要因を加味して保証しているインダクタンスの範囲が記載されています。

- ・直流抵抗

0Hzにおける抵抗値が記載されています。交流では巻き線の表皮効果、コアの鉄損の影響で直流の抵抗値よりも大きな値に見えます。

- ・自己共振周波数

インダクタがキャパシタの振舞をはじめる周波数が記載されています。回路の動作が理想的な振舞から変わる周波数になります。

- ・使用温度範囲

メーカーが保証する温度範囲が記載されています。インダクタンスのバラツキ要因の一つになります。

- ・LQ測定周波数

インダクタンス、Q値を測定する周波数が記載されています。

- ・直流重畳許容電流

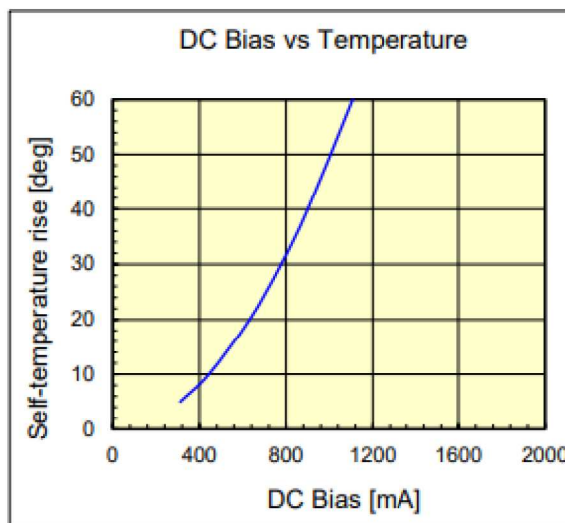
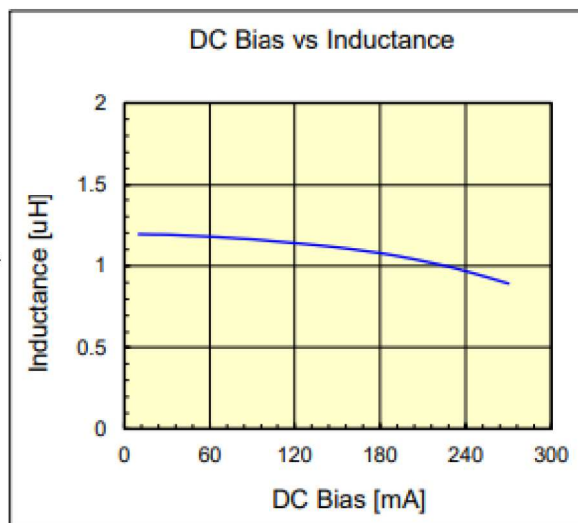
インダクタンスが保証できる範囲の直流重畳許容電流値が記載されています。

# パッシブ・デバイスのデータ・シート(インダクタ)

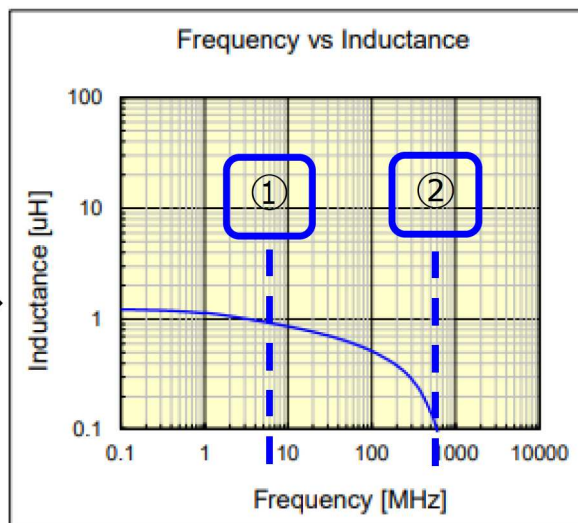
インダクタのデータ・シートにおいてモデリングで重要な記載項目を見ていきます。

太陽誘電様LBシリーズインダクタのデータ・シート

直流重畳  
許容電流



①LQ測定周波数  
②自己共振周波数



キャパシタのデータ・シートにおいてモデリングで重要な記載項目を見ていきます。

太陽誘電様  
高周波積層セラミックコンデンサのデータ・シート

太陽誘電様  
積層セラミックコンデンサ(高誘電率系)のデータ・シート

## ■ 製品特性表

|                  |                |
|------------------|----------------|
| 静電容量             | 10 pF ± 2 %    |
| ケースサイズ (EIA/JIS) | 008004/0201    |
| 定格電圧             | 16 V           |
| Q (min)          | 50 at 1GHz     |
| 温度特性 (EIA)       | C0H            |
| 使用温度範囲 (EIA)     | -55 to +125 °C |
| 温度特性 (JIS)       | CH             |
| 使用温度範囲 (JIS)     | -55 to +125 °C |
| 温度係数範囲           | 0 ±60 ppm/°C   |
| 高温負荷 (% 定格電圧)    | 200 %          |
| 絶縁抵抗値 (min)      | 10 GΩ          |
| RoHS指令対応 (10 物質) | Yes            |
| REACH対応 (205 物質) | Yes            |
| ハロゲンフリー          | Yes            |
| 適用はんだ付け法         | Reflow         |

## ■ 製品特性表

|                  |               |
|------------------|---------------|
| 静電容量             | 4.7 uF ± 20 % |
| ケースサイズ (EIA/JIS) | 0201/0603     |
| 定格電圧             | 2.5 V         |
| tan δ (max)      | 10 %          |
| 温度特性 (EIA)       | X5R           |
| 使用温度範囲 (EIA)     | -55 to +85 °C |
| 高温負荷 (% 定格電圧)    | 150 %         |
| 絶縁抵抗値 (min)      | 20 MΩ·μF      |
| RoHS指令対応 (10 物質) | Yes           |
| REACH対応 (205 物質) | Yes           |
| ハロゲンフリー          | Yes           |
| 適用はんだ付け法         | Reflow        |

静電容量以外にも多くの重要規格があります！

キャパシタのデータ・シートでモデリングで重要な記載項目を見ていきます。

- 静電容量

静電容量の公称値と様々なバラツキ要因を加味して保証している静電容量の範囲が記載されています。

- 絶縁抵抗

直流における抵抗値を示すパラメータになります。

- Q、 $\tan\delta$

交流におけるキャパシタの損失成分を示すパラメータになります。

- 自己共振周波数\*

キャパシタがインダクタの振舞をはじめる周波数が記載されています。回路の動作が理想的な振舞から変わる周波数になります。スペック表には記載がなく特性図から読み取る必要があります。

- 使用温度範囲

メーカーが保証する温度範囲が記載されています。キャパシタのバラツキ要因の一つになります。

- 直流電圧重畳特性\*

静電容量の直流電圧重畳特性が記載されています。スペック表には記載がなく特性図のみの記載の場合が多いです。

- 温度特性\*

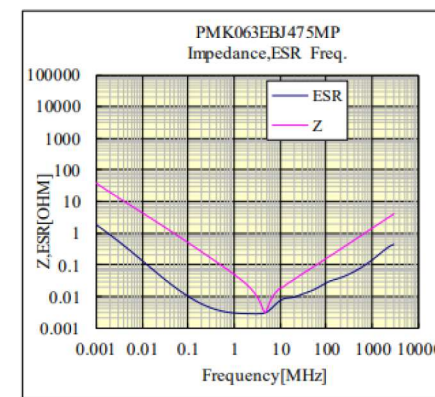
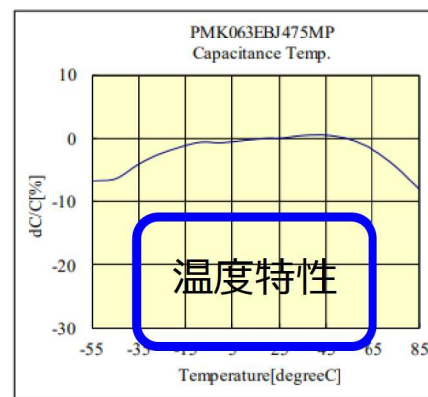
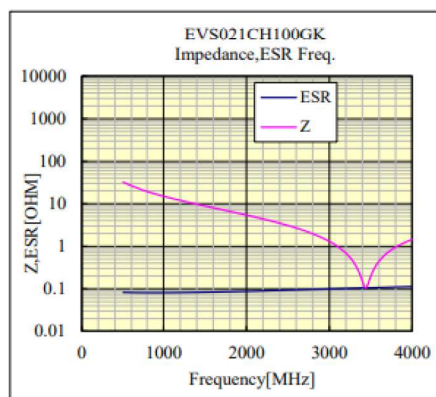
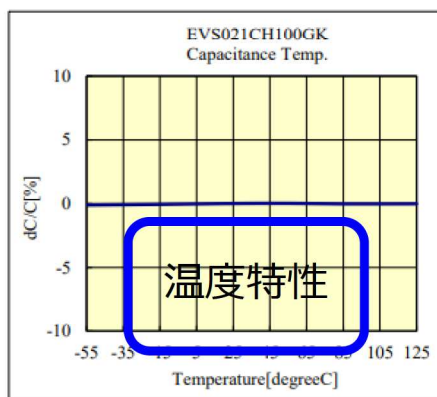
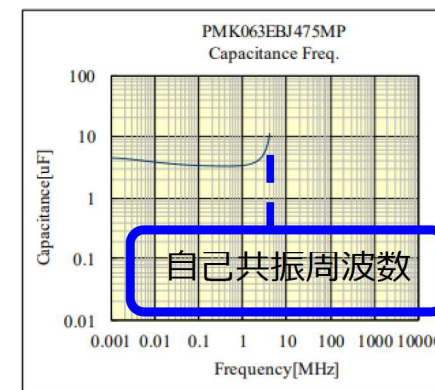
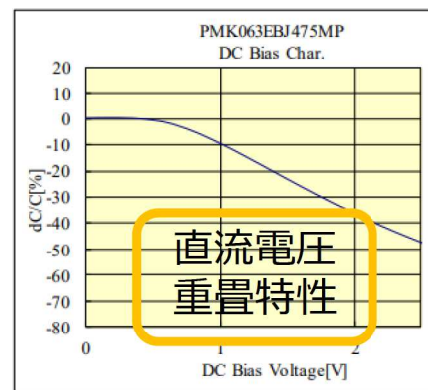
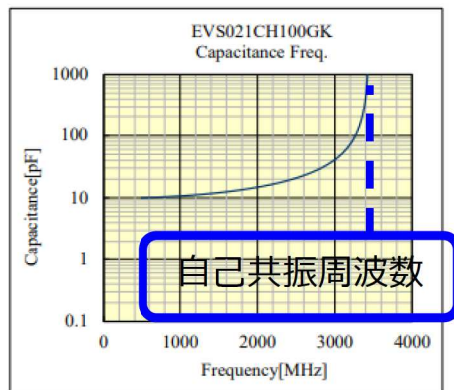
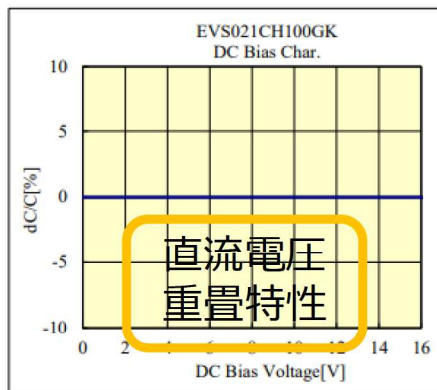
静電容量の温度特性が記載されています。標準で定められています。



インダクタのデータ・シートでモデリングで重要な記載項目を見ていきます。

太陽誘電様  
高周波積層セラミックコンデンサのデータ・シート

太陽誘電様  
積層セラミックコンデンサ(高誘電率系)のデータ・シート

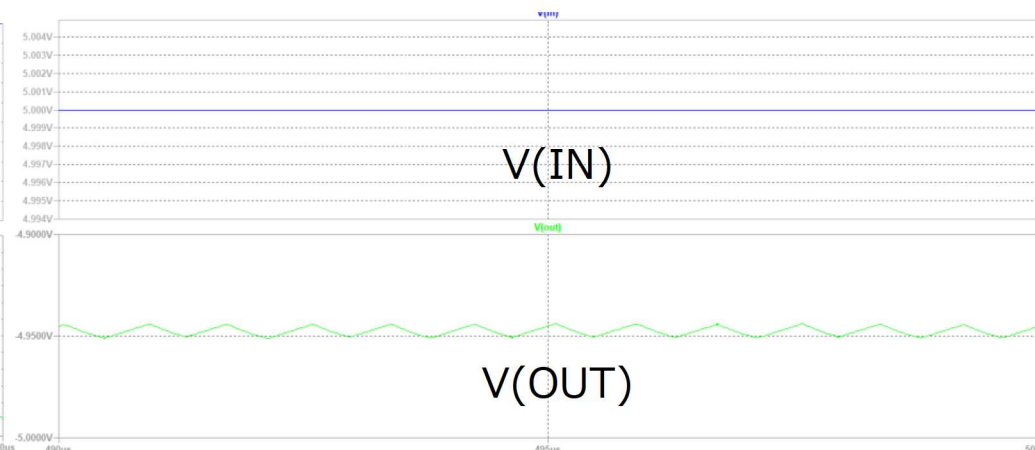
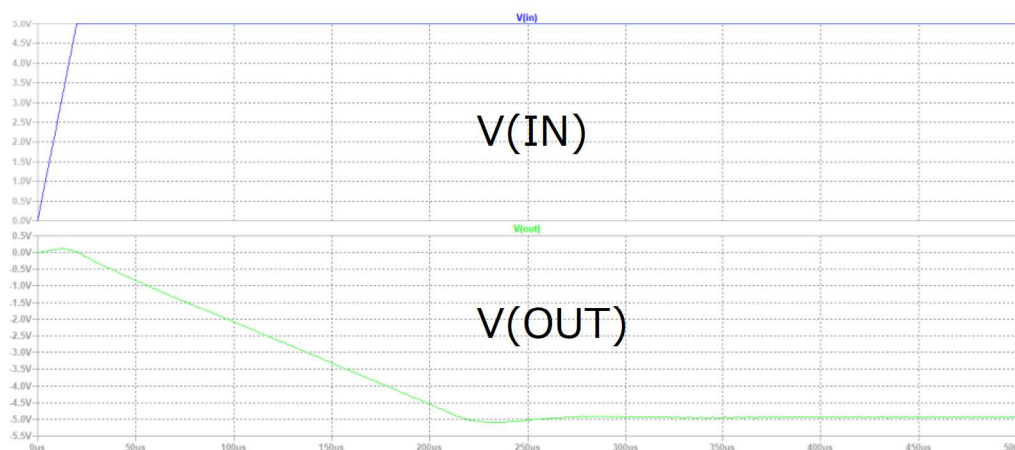
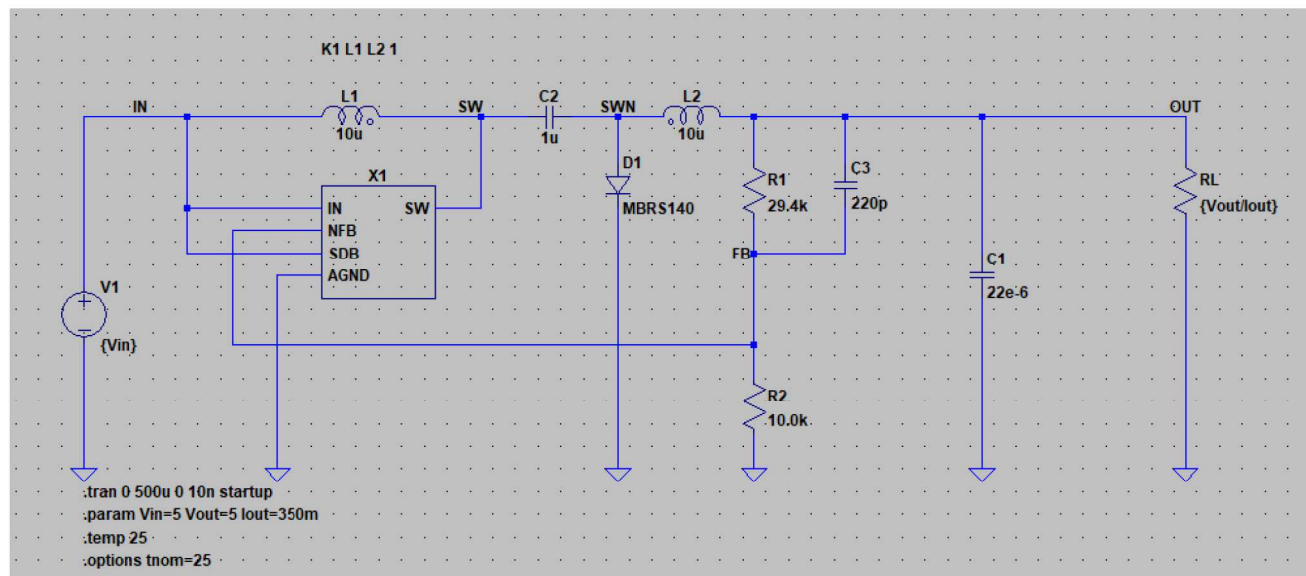


## 第2章

# インダクタ、キャパシタの重要特性 と回路特性の関係

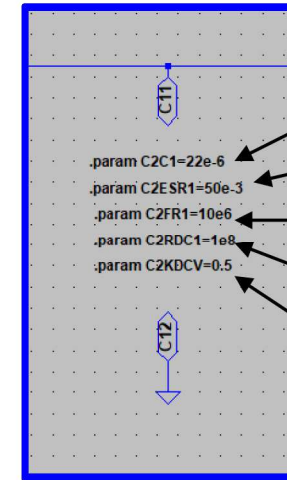
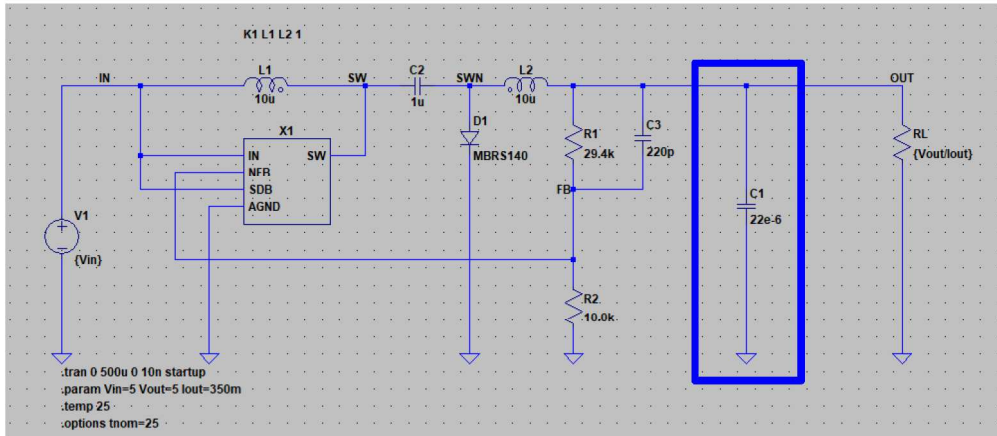
# インダクタ・キャパシタの重要特性と回路特性の関係

評価用のDCDCの回路を紹介します。

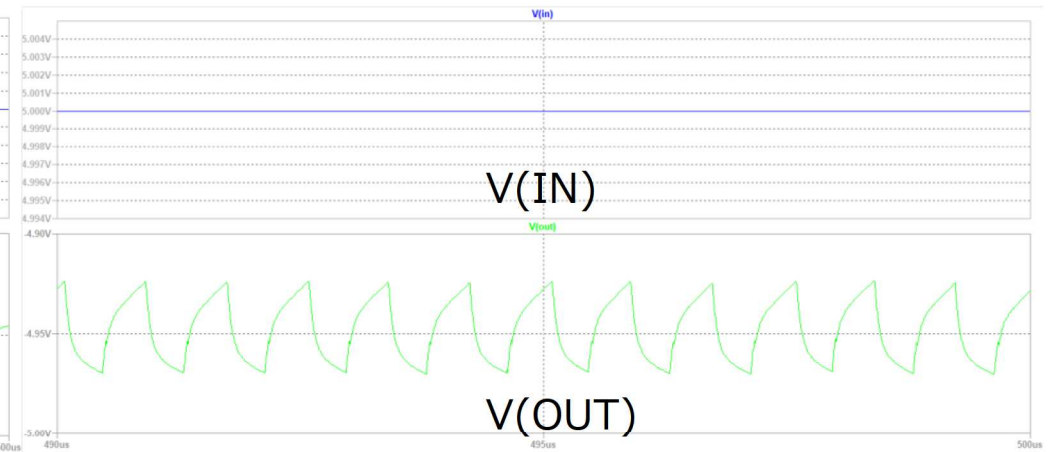
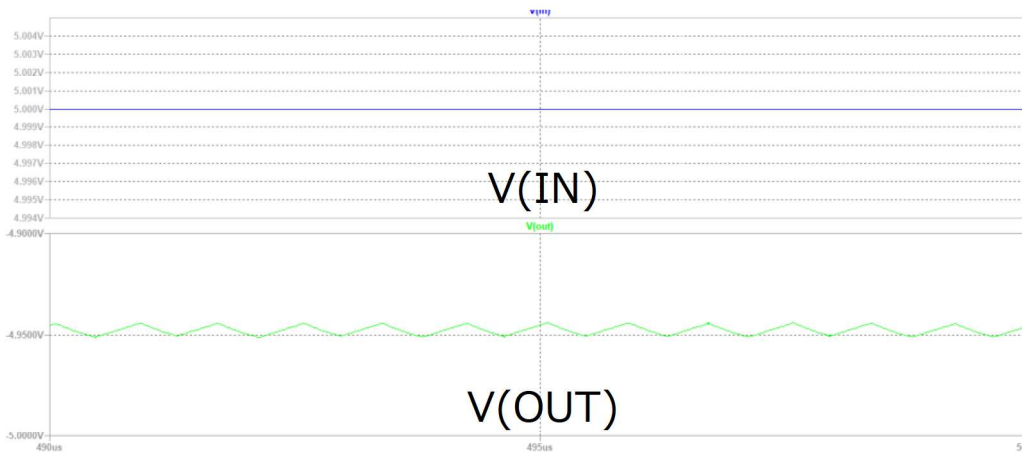


# インダクタ・キャパシタの重要特性と回路特性の関係

キャパシタを受託モデリング案件で使用していますパラメトリック・モデルに変更しました。  
こちらのモデルはLCR以外の素子を使用しています。

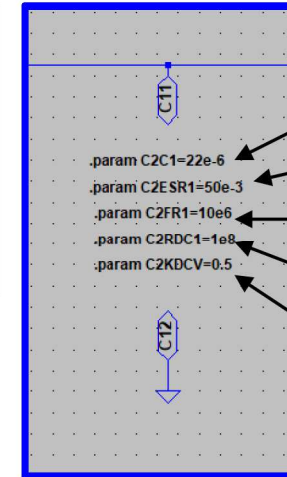
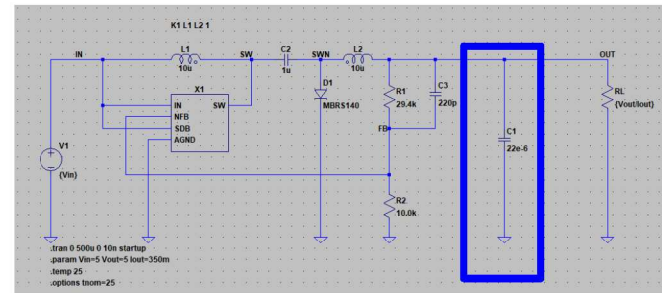


- 静電容量(F)
- 等価直列抵抗( $\Omega$ )
- 自己共振周波数(Hz)
- 絶縁抵抗( $\Omega$ )
- DC電圧依存性係数



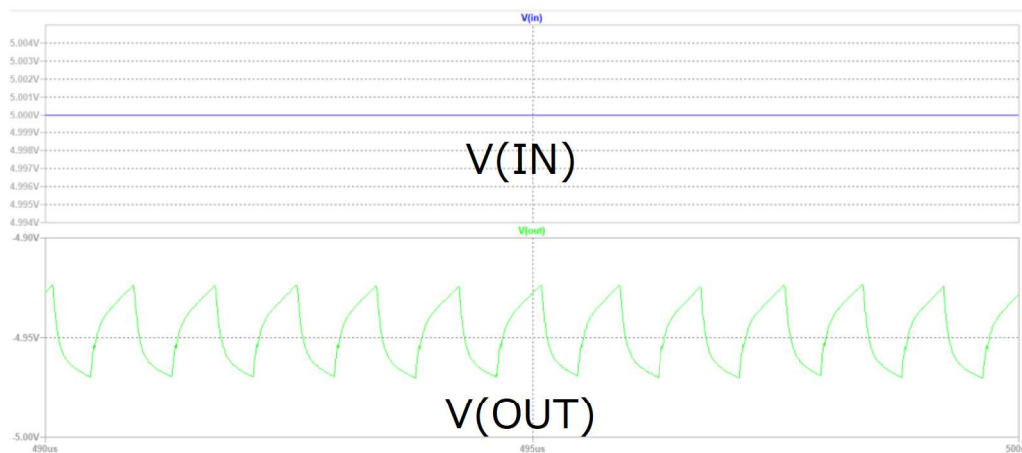
# インダクタ・キャパシタの重要特性と回路特性の関係

パラメトリック・モデルを用いてキャパシタの自己共振周波数を変更しました。  
高周波成分が増加して、ノイズ波形が矩形波になっていることが確認できます。

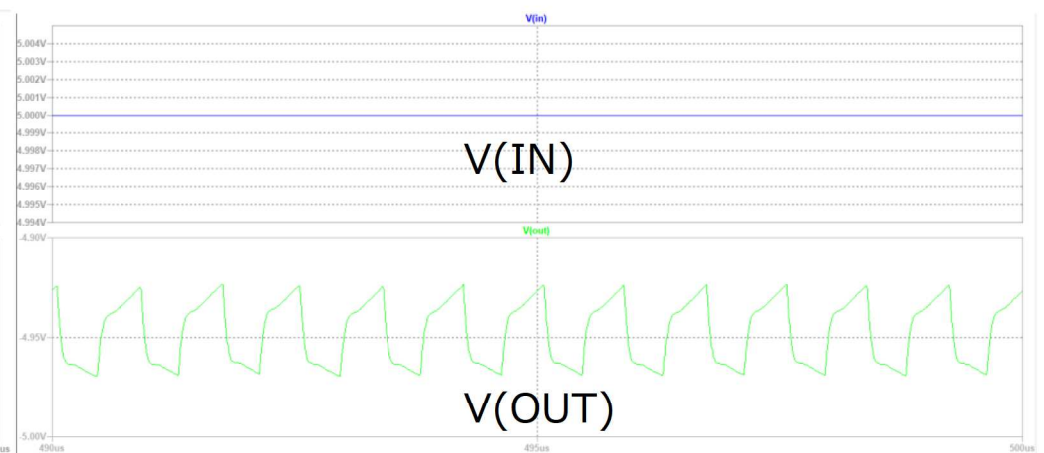


- 静電容量(F)
- 等価直列抵抗( $\Omega$ )
- 自己共振周波数(Hz)
- 絶縁抵抗( $\Omega$ )
- DC電圧依存性係数

自己共振周波数 10MHz

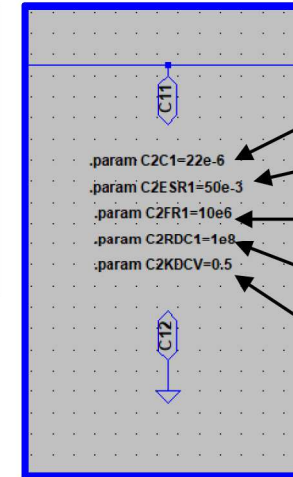
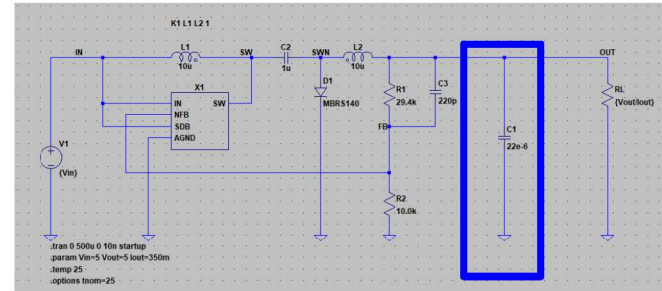


自己共振周波数 1MHz



# インダクタ・キャパシタの重要特性と回路特性の関係

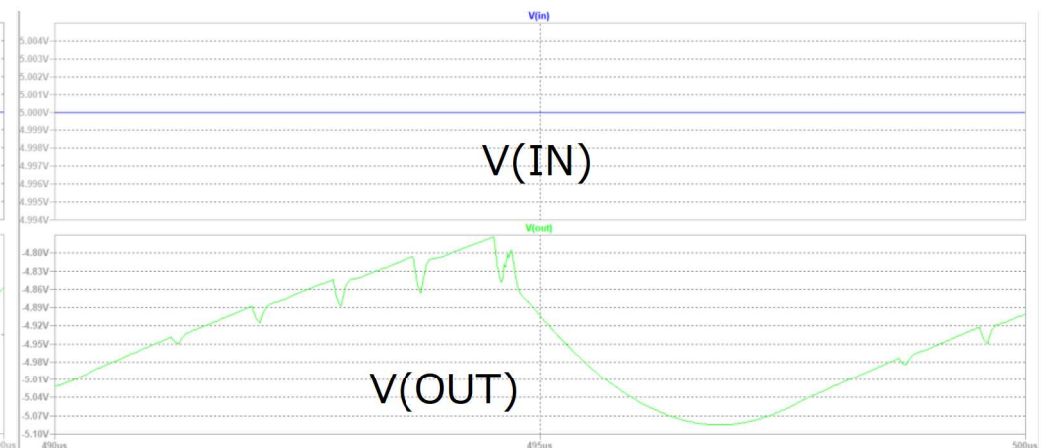
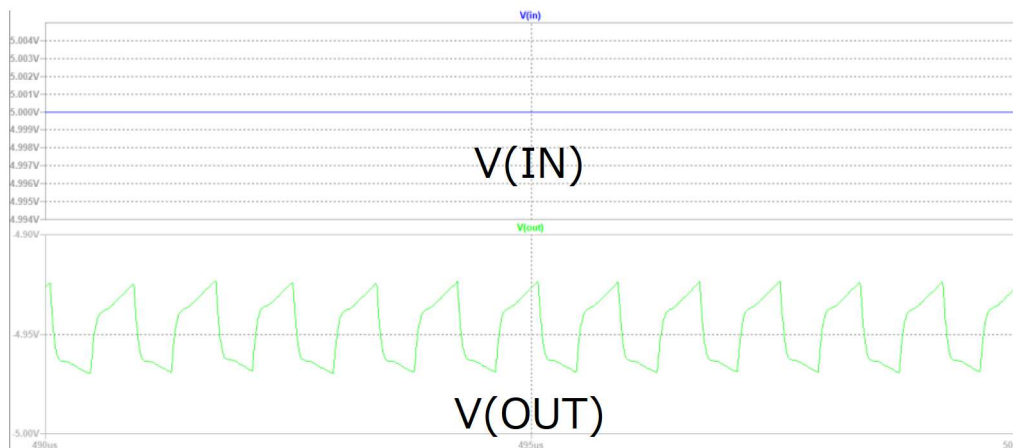
Modechの社内用のパラメトリック・モデルを用いてキャパシタのDC電圧依存性が強くなる方向にパラメータを変更しました。



- 静電容量(F)
- 等価直列抵抗( $\Omega$ )
- 自己共振周波数(Hz)
- 絶縁抵抗( $\Omega$ )
- DC電圧依存性係数

DC電圧依存性係数 0.5

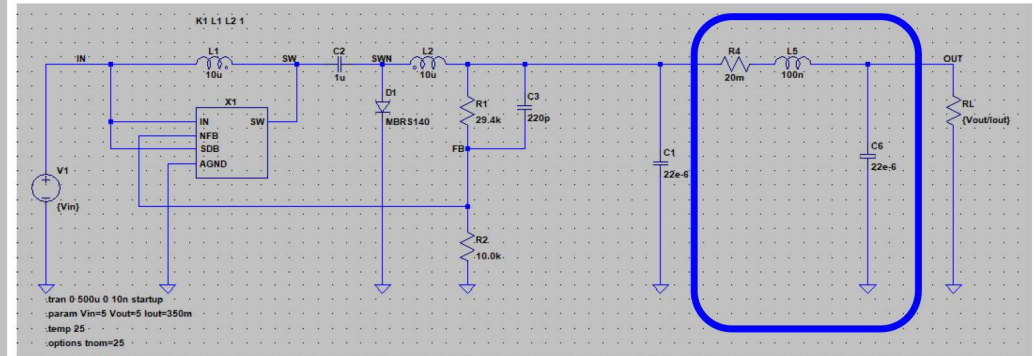
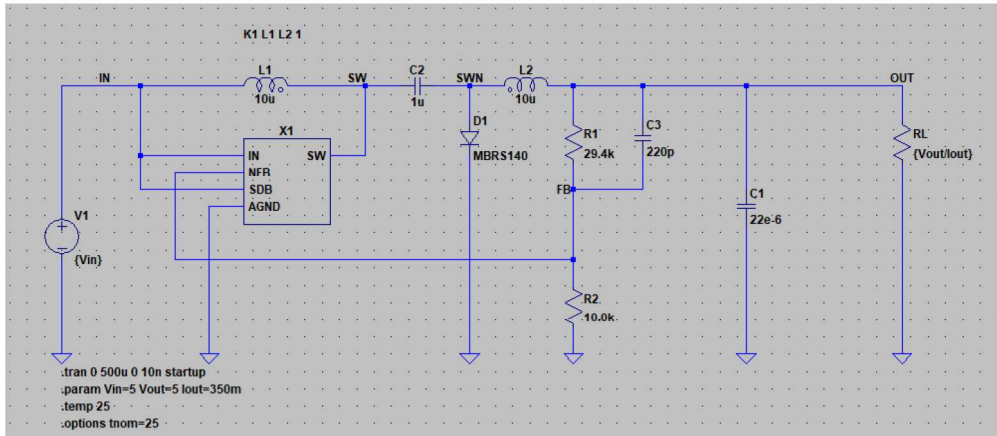
DC電圧依存性係数 0.6



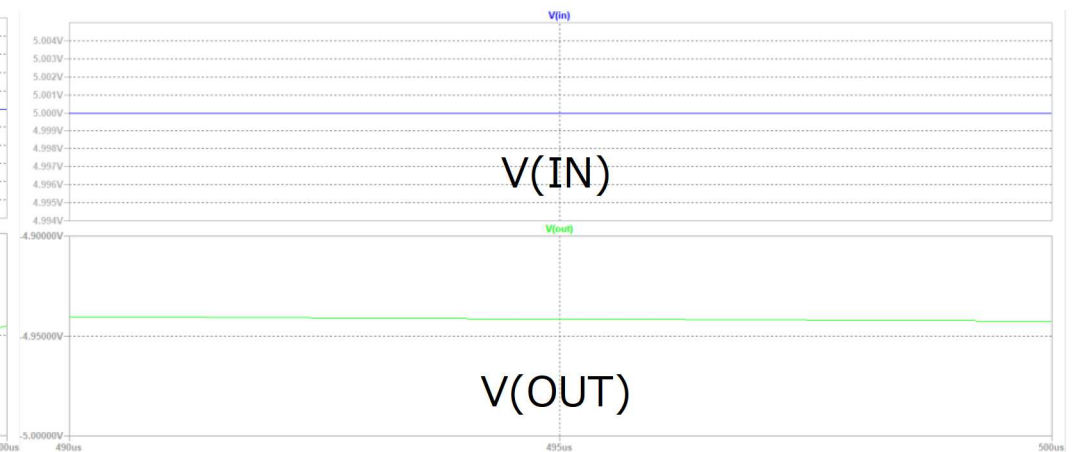
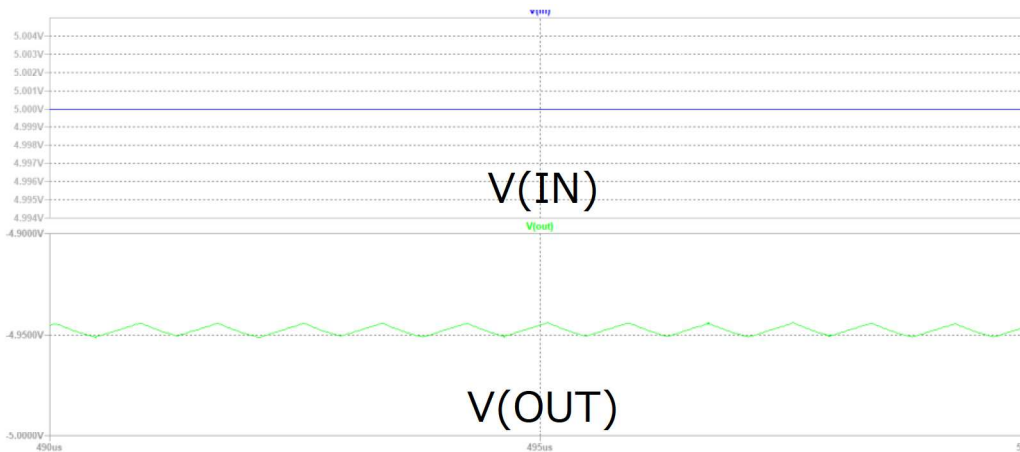
\* V(OUT)の縦軸スケールを広げています

# インダクタ・キャパシタの重要特性と回路特性の関係

インダクタを評価するために、評価回路に後段にインダクタとキャパシタを追加しました。  
ノイズは大きく減少します。

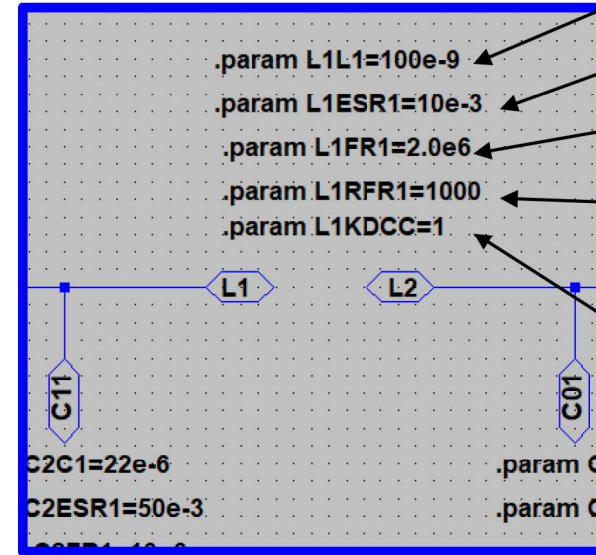
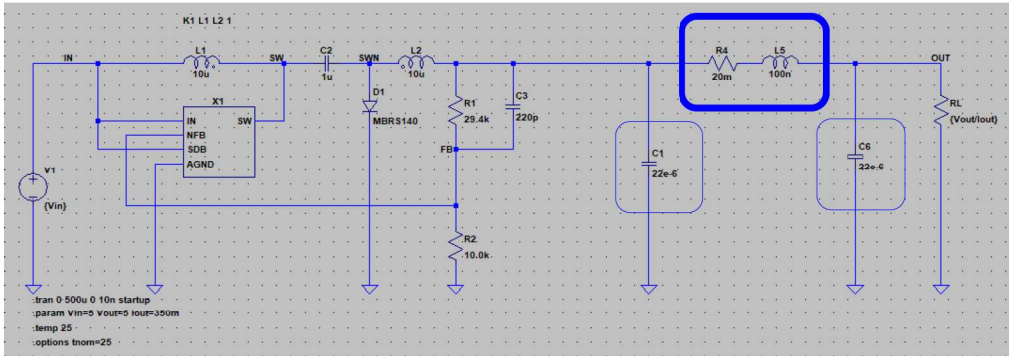


後段にインダクタとキャパシタ  
を追加しました

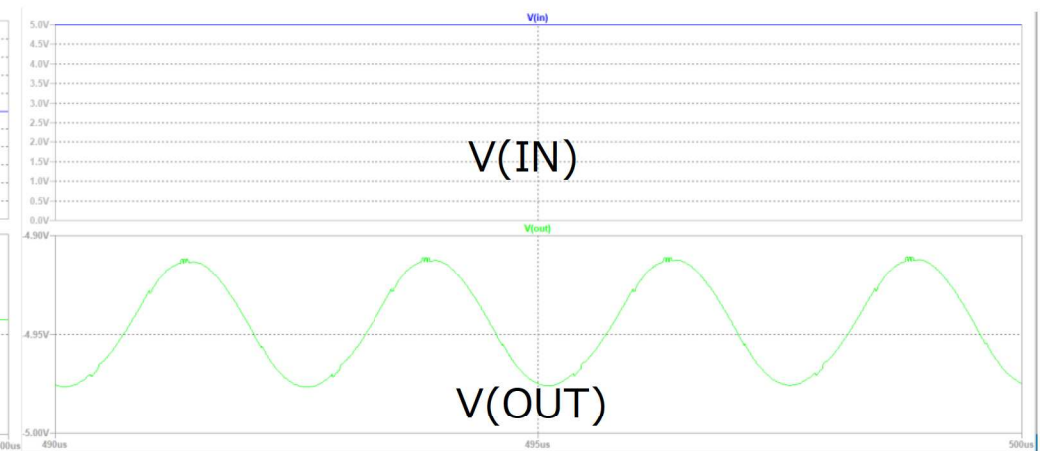
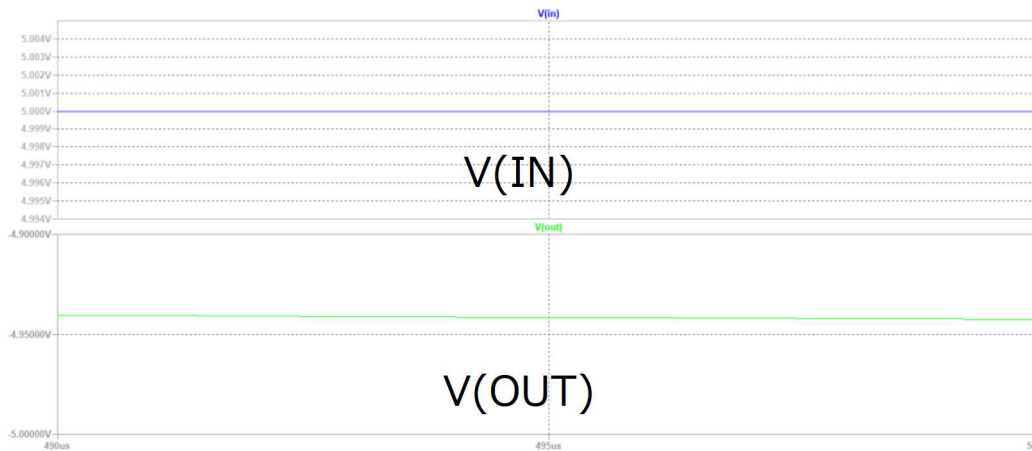


# インダクタ・キャパシタの重要特性と回路特性の関係

インダクタとキャパシタをパラメトリック・モデルに変更しました。  
 インダクタの重要特性を加味するとノイズが発生します。



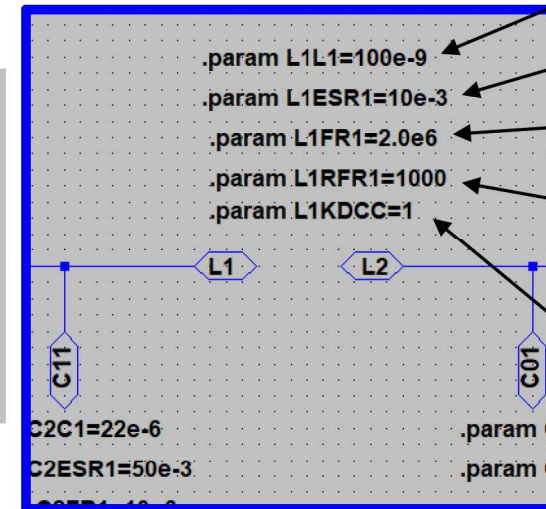
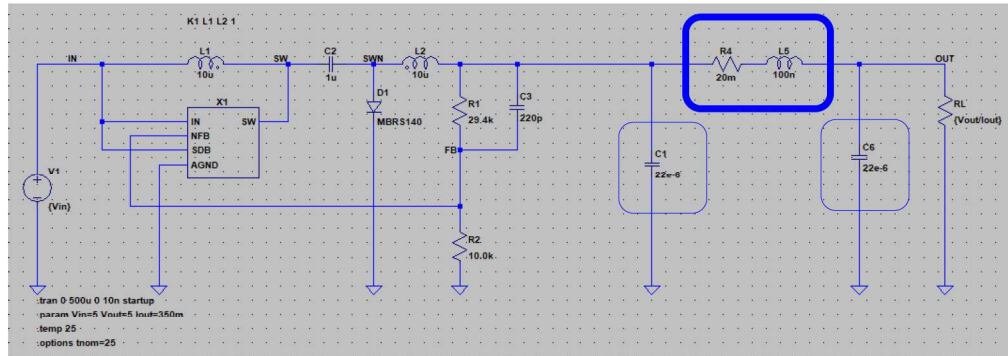
- インダクタンス(H)
- 直流抵抗( $\Omega$ )
- 自己共振周波数(Hz)
- 自己共振点インピーダンス( $\Omega$ )
- DC電流依存性係数





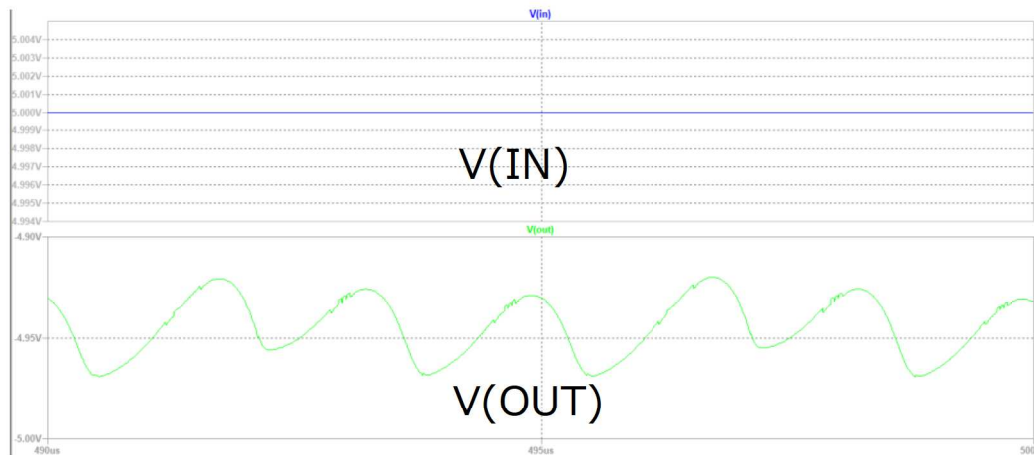
# インダクタ・キャパシタの重要特性と回路特性の関係

インダクタの自己共振周波数を変更しました。

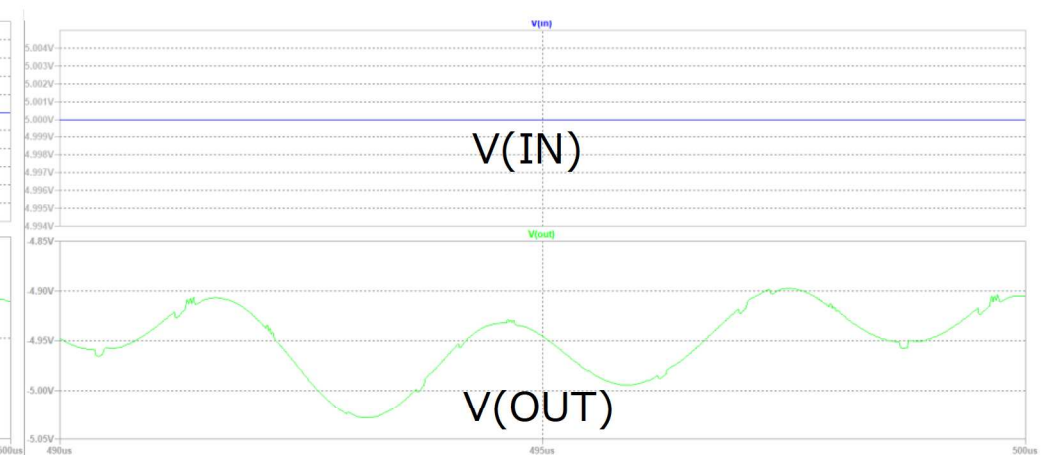


- インダクタンス(H)
- 直流抵抗( $\Omega$ )
- 自己共振周波数(Hz)
- 自己共振周波数インピーダンス( $\Omega$ )
- DC電流依存性係数

自己共振周波数 2MHz



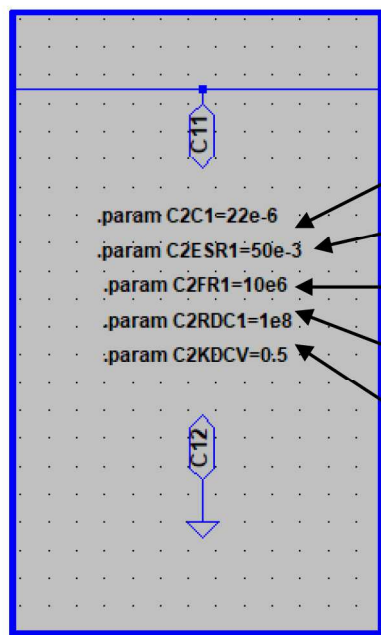
自己共振周波数 1MHz



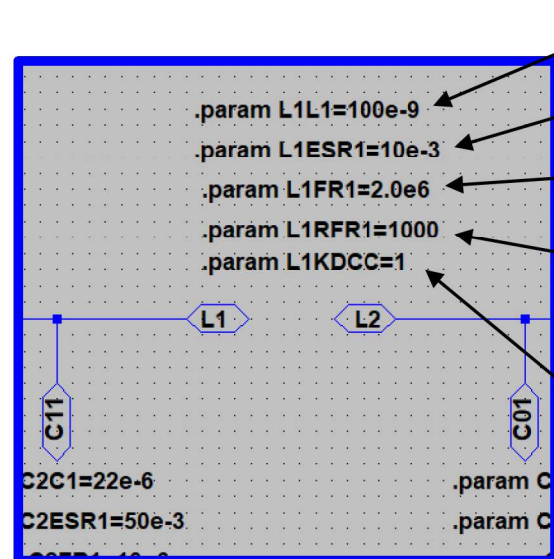
\* V(OUT)の縦軸スケールを広げています

# インダクタ・キャパシタの重要特性と回路特性の関係

本セミナーで使用しました受託モデリング案件用のパラメトリック・モデルを販売が決まりました。  
変更可能なパラメータは以下となります。  
キャパシタ、インダクタともにDC電圧、電流依存性のないモデルも販売します。  
こちらはSPICEの収束性が良好な上、安価な設定になっているのでご利用下さい。



- 静電容量(F)
- 等価直列抵抗( $\Omega$ )
- 自己共振周波数(Hz)
- 絶縁抵抗( $\Omega$ )
- DC電圧依存性係数

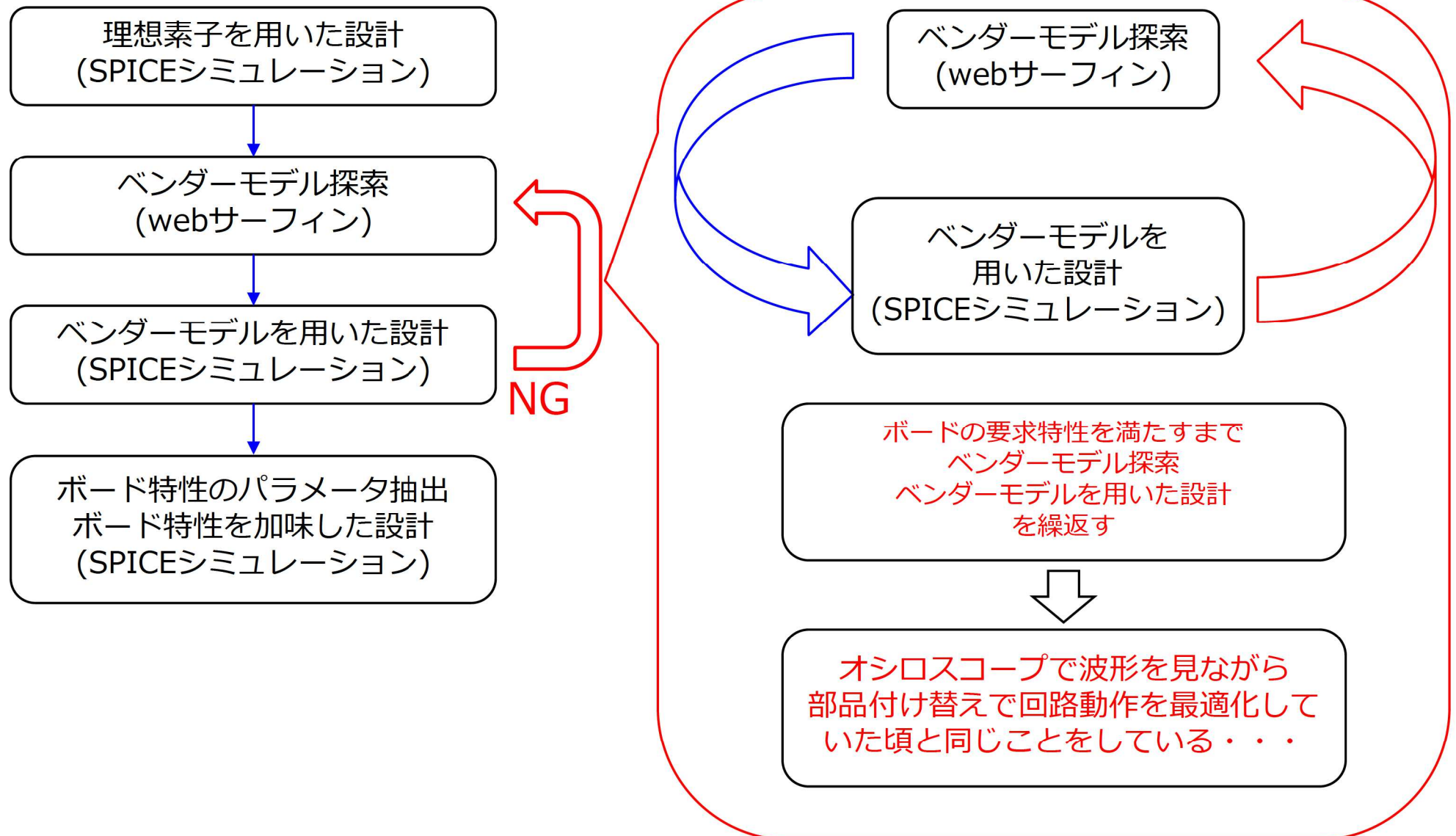


- インダクタンス(F)
- 直流抵抗( $\Omega$ )
- 自己共振周波数(Hz)
- 自己共振周波数インピーダンス( $\Omega$ )
- DC電流依存性係数

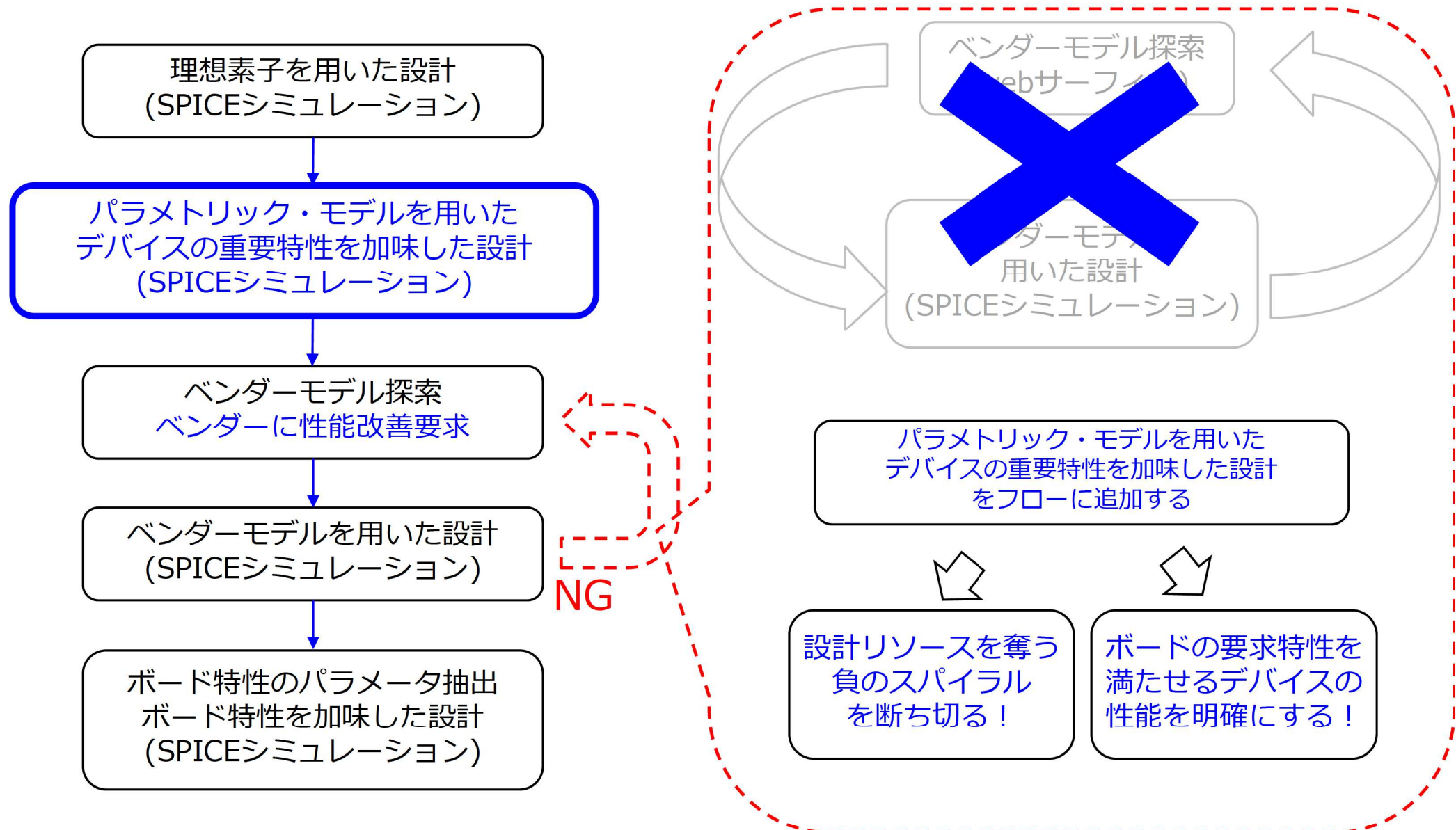
## 第3章

# パラメトリック・パッシブSPICEモデルを用いた 設計フロー改善のご提案

モデル・ベースの設計フローの一例と課題



## パラメトリック・モデルを用いた設計フローの改善提案



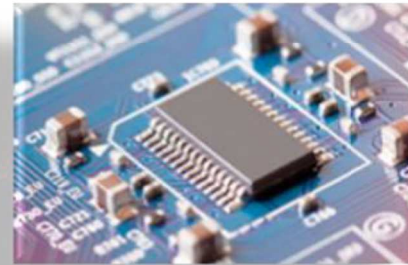
- インダクタ、キャパシタのデータシートに記載されている重要特性を紹介しました。
- パラメトリック・モデルを用いてパッシブ・デバイスの回路特性への影響を紹介しました。
- パラメトリック・モデルを用いたパッシブ・デバイスの重要特性を設計することで得られるメリットを紹介しました。



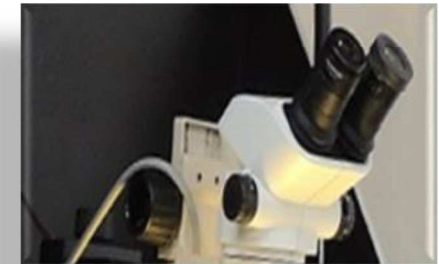
自動車、重機、機器開発



パワーデバイス



シミュレーションモデル



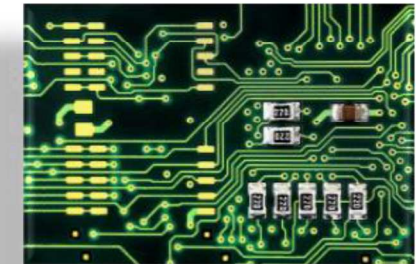
各種設計支援



モデリングソフトウェア

# MODECH

<http://www.modech.com/>



SPICEモデル

