パワーインダクタ、および高誘電率系チップ積層セラミックコンデンサの動的モデルについて

v1.01　2015/6

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

パワーインダクタの
動的モデルについて

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

動的モデルの必要性

Q．なぜ動的モデルが必要なのか？

A．静的モデルでは、リアルタイムに変化するインダクタンスを反映したシミュレーション結果が得られないから

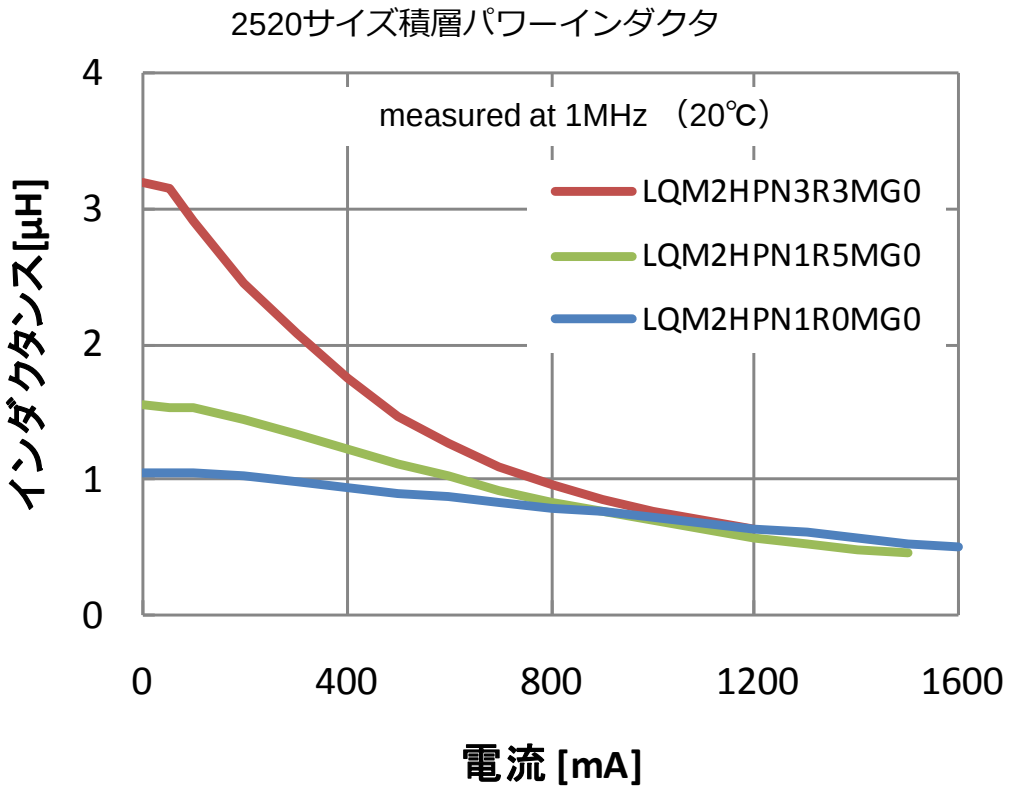
パワーインダクタが使用される回路において、パワーインダクタに流れる電流は一定ではない

＝

インダクタンス値は、動作時では一定ではない

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

パワーインダクタの電流-インダクタンス特性例

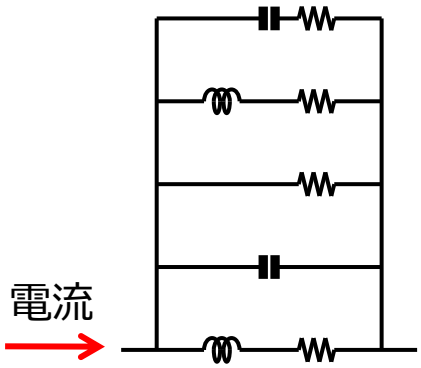


⇒ フェライトを使用したパワーインダクタは、大きな電流が流れるとフェライトが磁気飽和に近づくため、その過程で透磁率が低下します。インダクタンスは透磁率に比例することから、インダクタンスも低下することになります。パワーインダクタに直流電流を流したときの上図の特性（直流重畳特性）は、それを示しています。

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

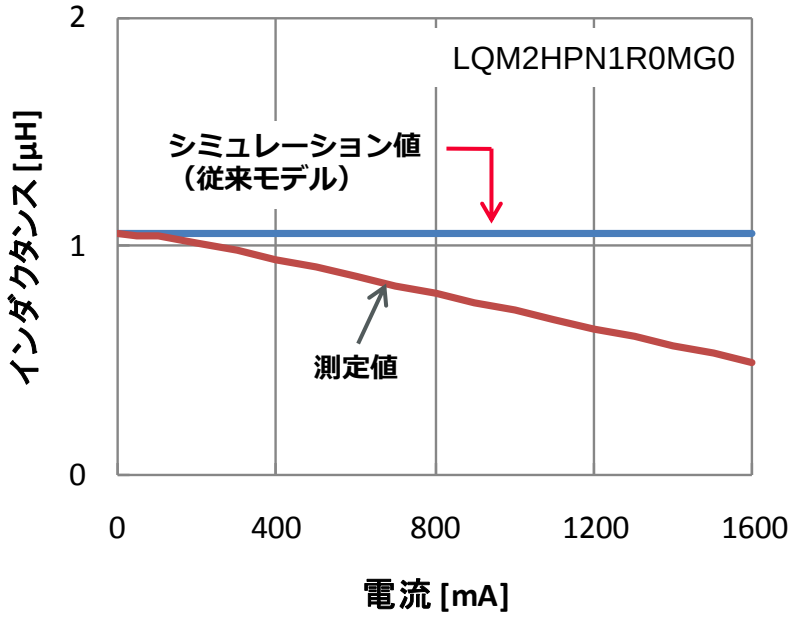
当社の従来モデルと実測値との比較

（1）当社インダクタの従来の等価回路モデル（例）



⇒ 電流が変化しても各素子の定数は変化しない（直流重畳特性は反映されない）

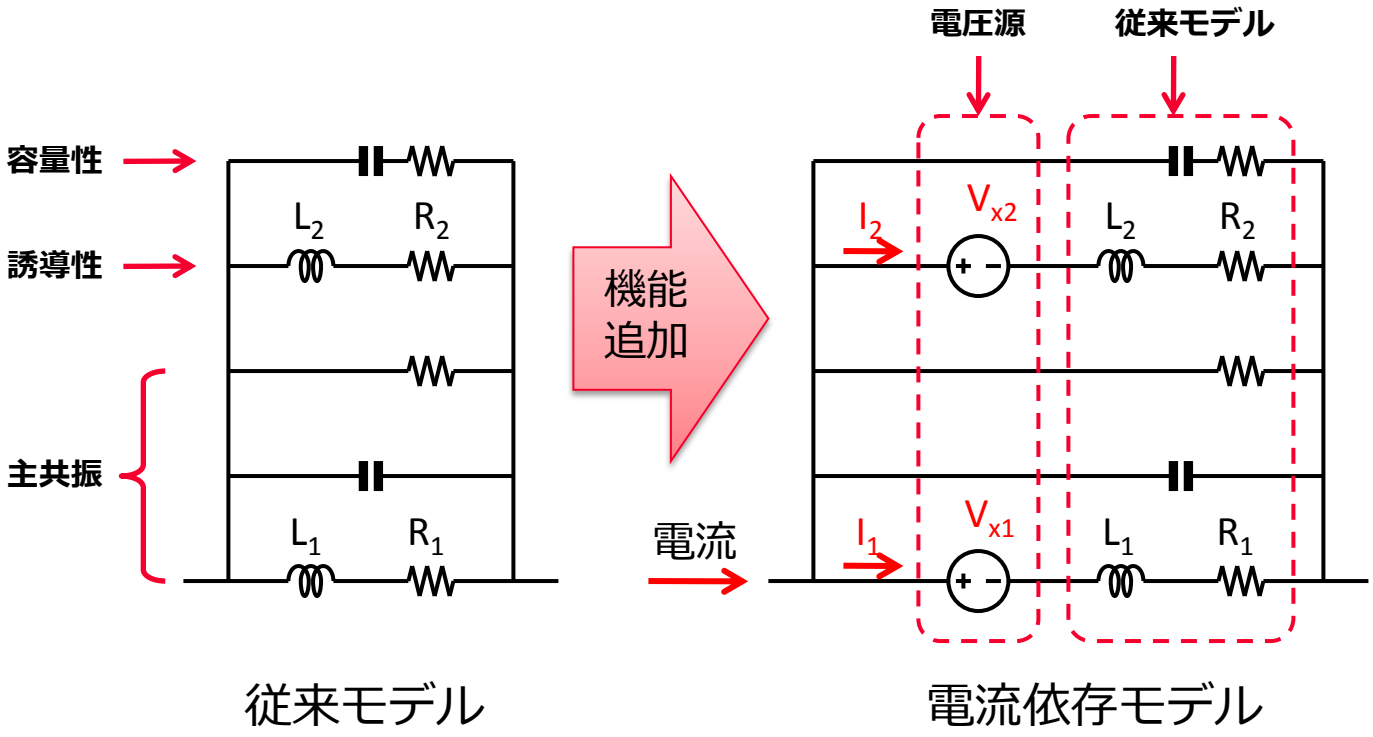
（2）従来モデルと実測値との比較



⇒ （1）の従来モデルでは、直流重畳特性は反映されていません。

. Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

電流依存モデル（動的モデル）の提案

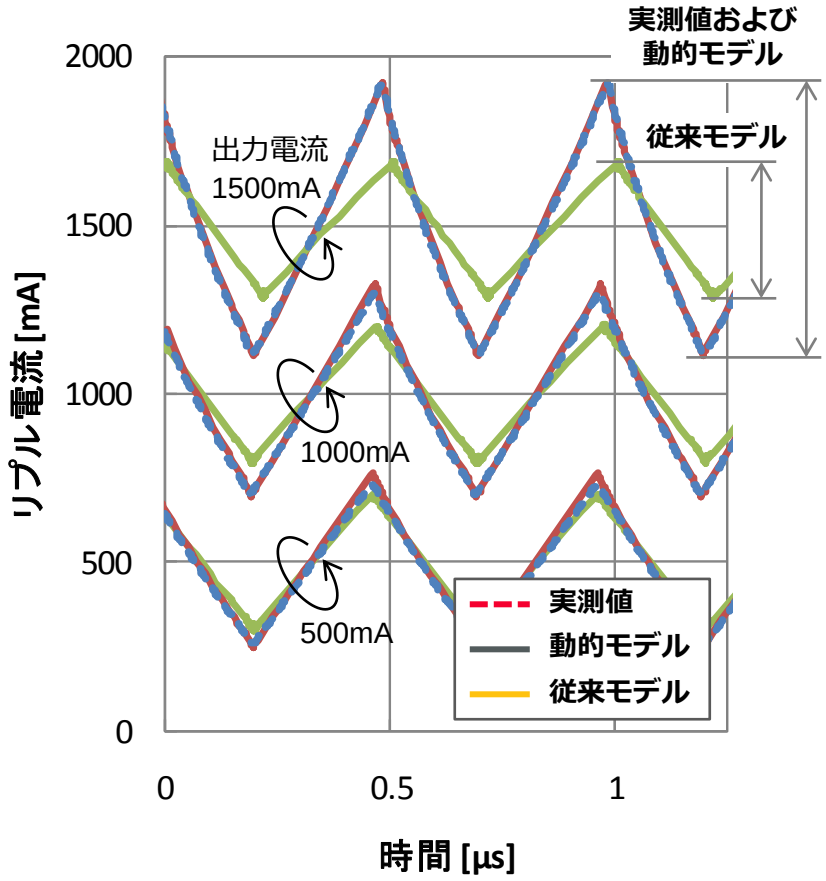


⇒ 従来モデルのいくつかの素子に対して電流依存性をもたせることで、リアルタイムな電流の変化にともなうインダクタンスの変化に対応した動的モデルを実現しました。

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

動的モデルと実測値との比較（1/2）

検証例：DC-DCコンバータにおけるリプル電流の比較

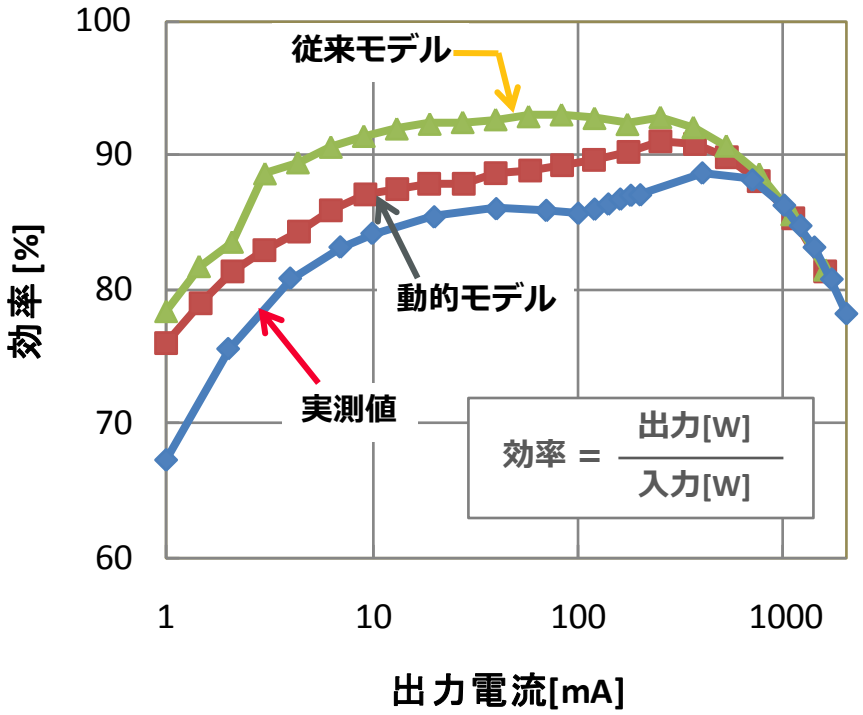


⇒ 従来モデルでは、インダクタの電流依存特性が反映されていないため、
実測値から外れたシミュレーション結果となっています。
一方、動的モデルでは実測値に近い結果が得られました。

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

動的モデルと実測値との比較（2/2）

検証例： DC-DCコンバータにおける電源効率の比較



⇒ 動的モデルによるシミュレーションでは、より実測に近い結果を得ることができました。

※インダクタの動的モデル以外の要素があるため、シミュレーションと実測値とは完全に一致していません。

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社インダクタの動的モデルのダウンロード

本モデルは、当社Webサイトにてライブラリとして公開しています。

■ Cadence® PSpice®
http://www.murata.com/ja-jp/tool/library/pspice

■ Cadence® Spectre
http://www.murata.com/ja-jp/tool/library/spectre

■ Synopsys HSPICE®
http://www.murata.com/ja-jp/tool/library/hspice

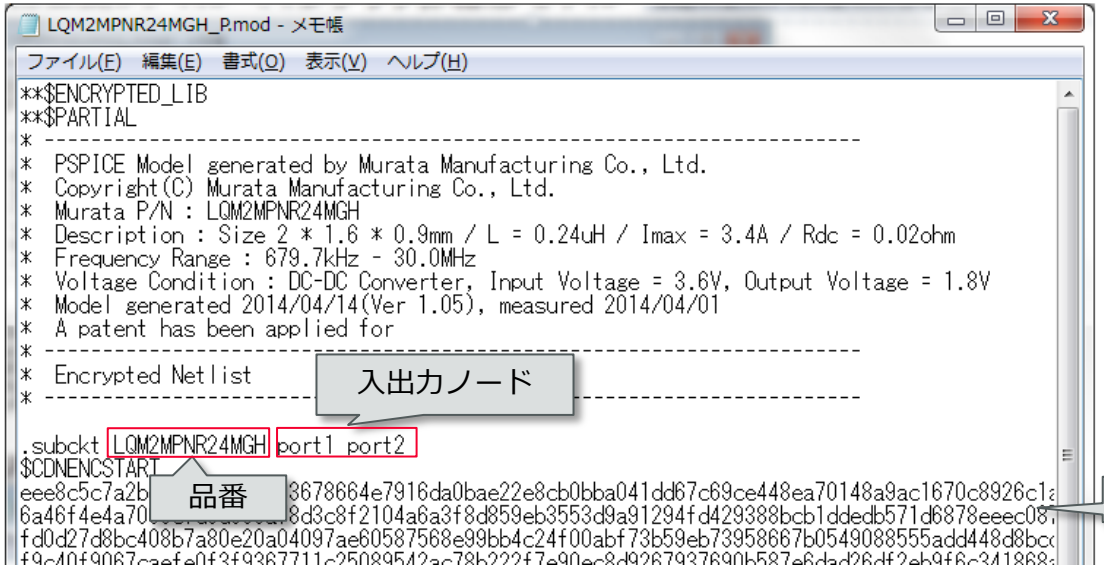
■ Linear Technology LTspice
http://www.murata.com/ja-jp/tool/library/ltspice

［収容製品］
パワーインダクタ：LQMxxPシリーズ

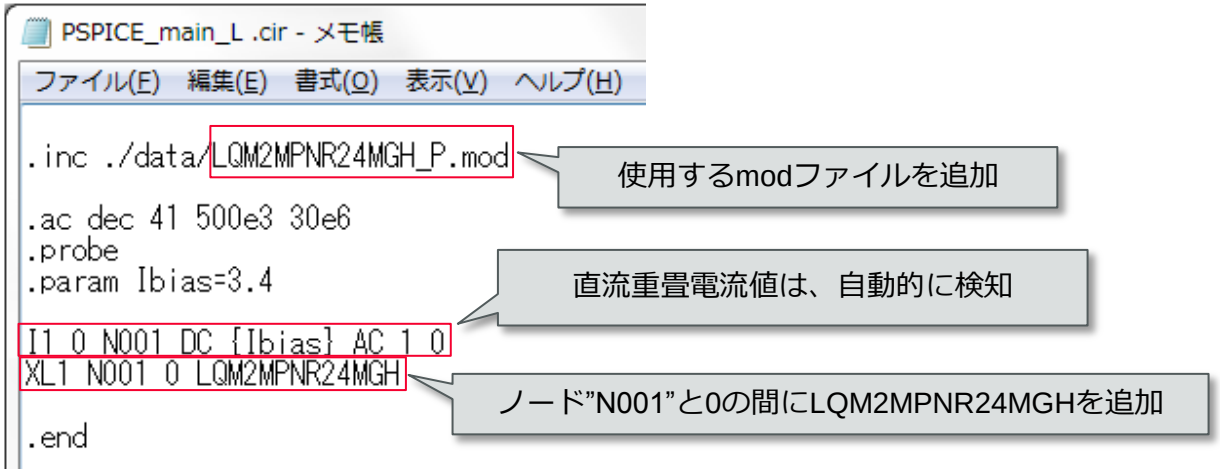
※CadenceおよびPSpiceは、Cadence Design Systems, Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標です。
※HSPICEは、Synopsys, Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標です。

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社パワーインダクタの動的モデルの使用例 - PSpice® -

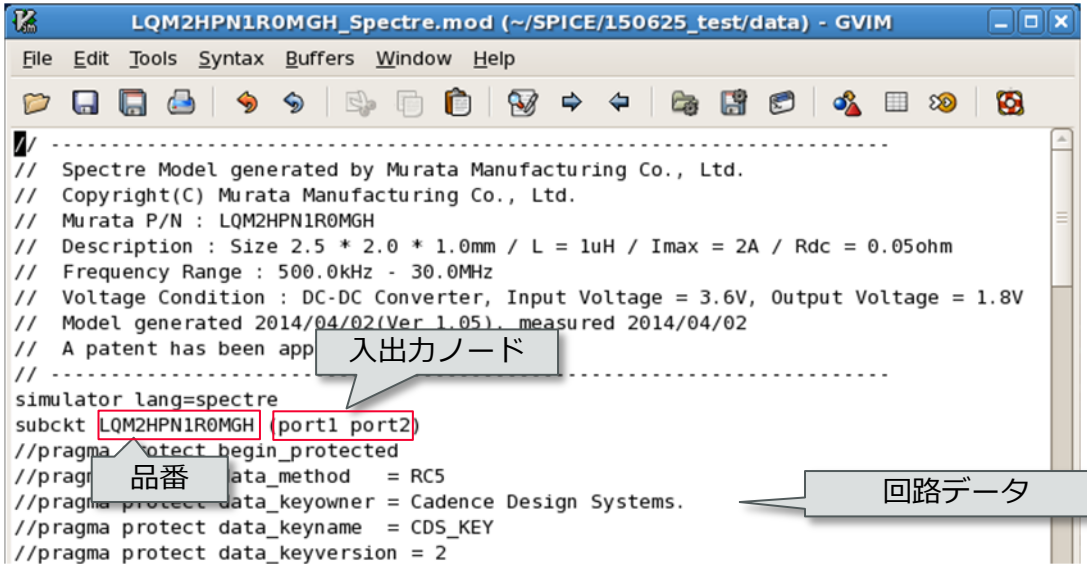


◎使用例

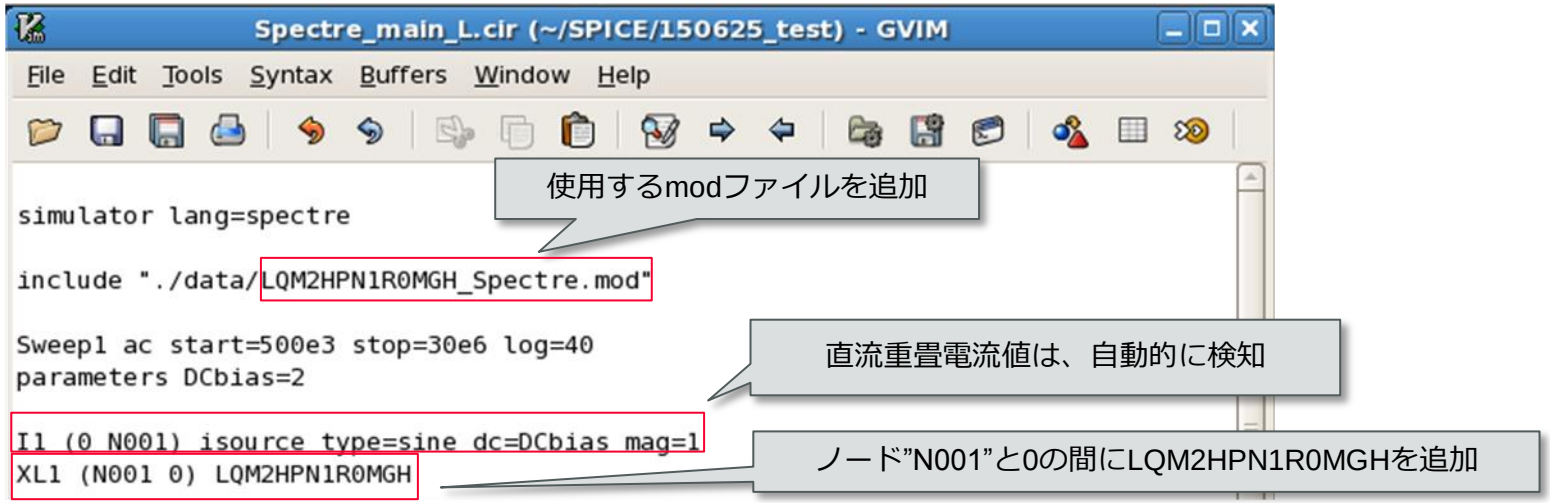


Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社パワーインダクタの動的モデルの使用例 - Spectre -

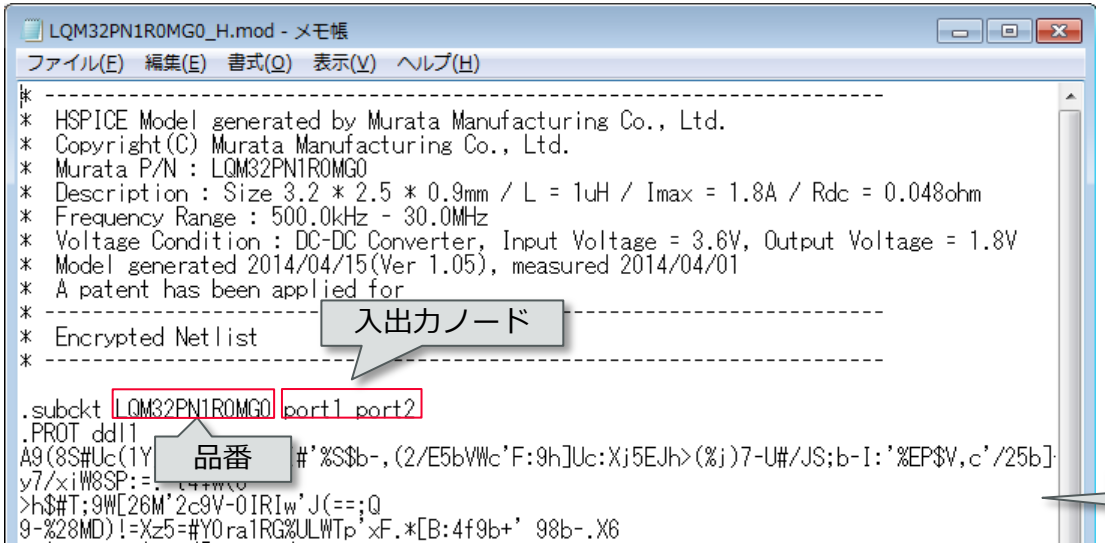


◎使用例

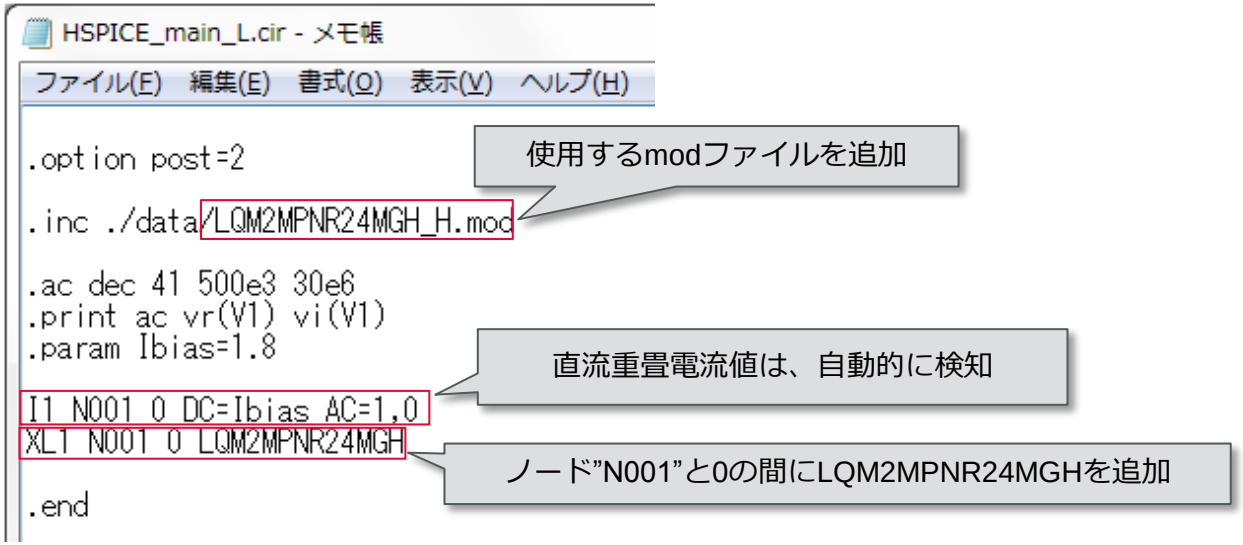


Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社パワーインダクタの動的モデルの使用例 - HSPICE® -



◎使用例



Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社パワーインダクタの動的モデルの使用例 - LTspice -

■シンボルファイル（拡張子.asy）

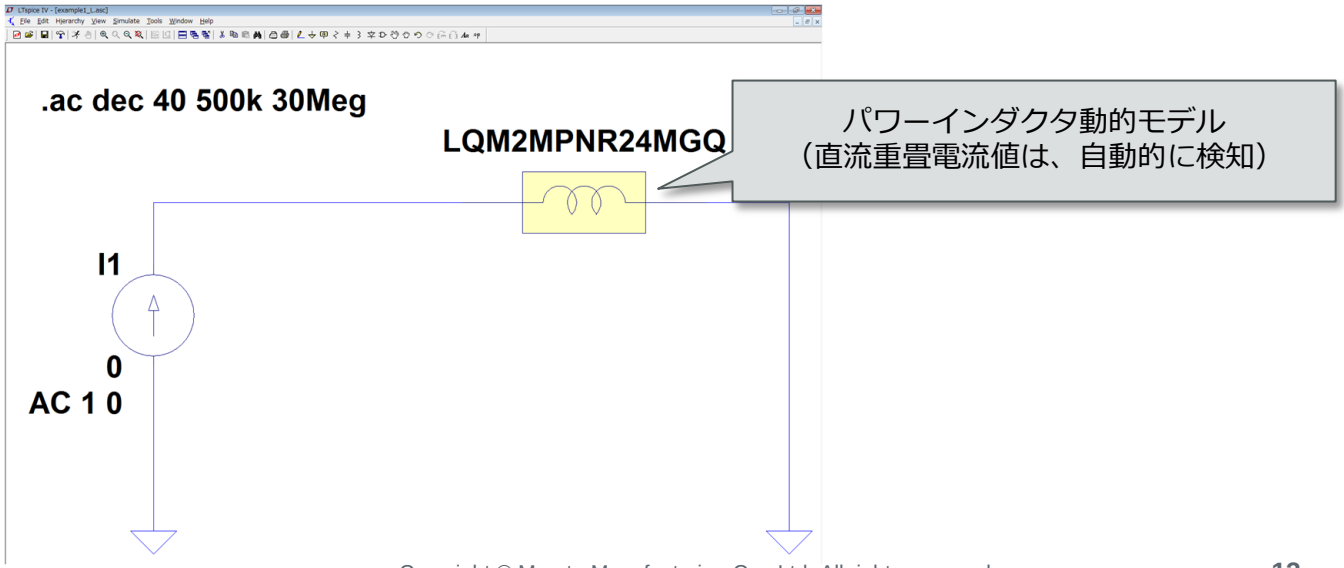
LTspiceがインストールされているフォルダにある「sym」フォルダ以下に、
任意のフォルダを作成して保存する。
例）　C:¥Program Files (x86)¥LTC¥LTspiceIV¥lib¥sym¥murata_Inductor¥

■暗号化済み非線形SPICEファイル（拡張子.mod）

LTspiceがインストールされているフォルダにある「sub」フォルダ以下に、
modファイルを直接保存する。
例）　C:¥Program Files (x86)¥LTC¥LTspiceIV¥lib¥sub¥

※参照元の回路(例：test1.asc)と同じフォルダに.modファイルを保存することも可能
※それ以外のフォルダに保存する場合は、コマンド「.inc」を使用して参照する

メニューの
Edit -> Componentから
保存したファイルを選択



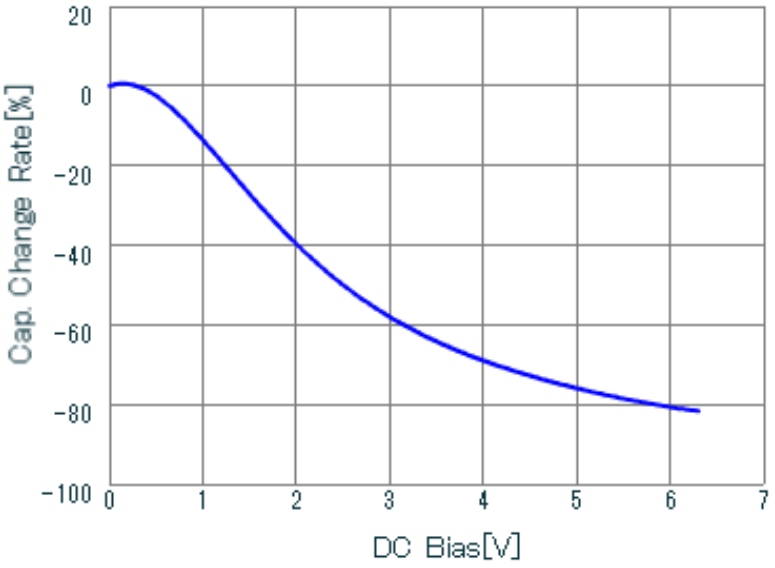
Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

高誘電率系チップ積層セラミック コンデンサの動的モデルについて

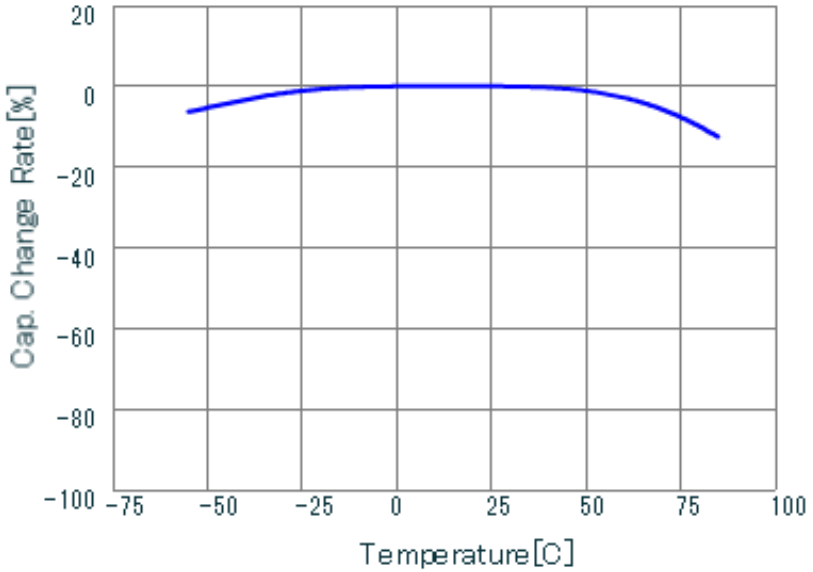
Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

高誘電率系MLCCにおけるDCバイアス/温度による静電容量の変化（1/2）

静電容量変化率－DCバイアス特性例



静電容量変化率－温度特性例

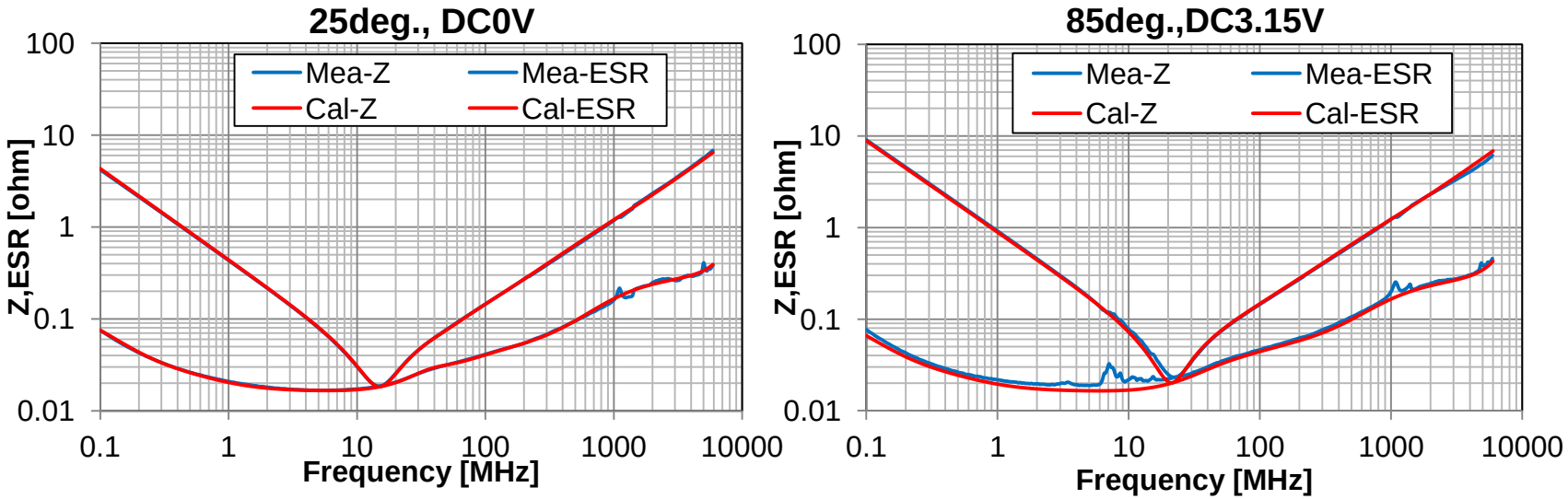


MLCC：0603サイズ/R6温特/0.47μF/定格6.3V

⇒ 高誘電率系の積層セラミックコンデンサ（MLCC）は、DCバイアスおよび温度によって、上図のように静電容量が変化します。そのため、回路設計においてシミュレーション結果と実測値との間で乖離が生じることがありました。

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

高誘電率系MLCCにおけるDCバイアス/温度による静電容量の変化（2/2）



0603サイズ/R6温特/0.47μF/定格6.3V

赤線：計算値(Cal)　青線：実測値(Mea)

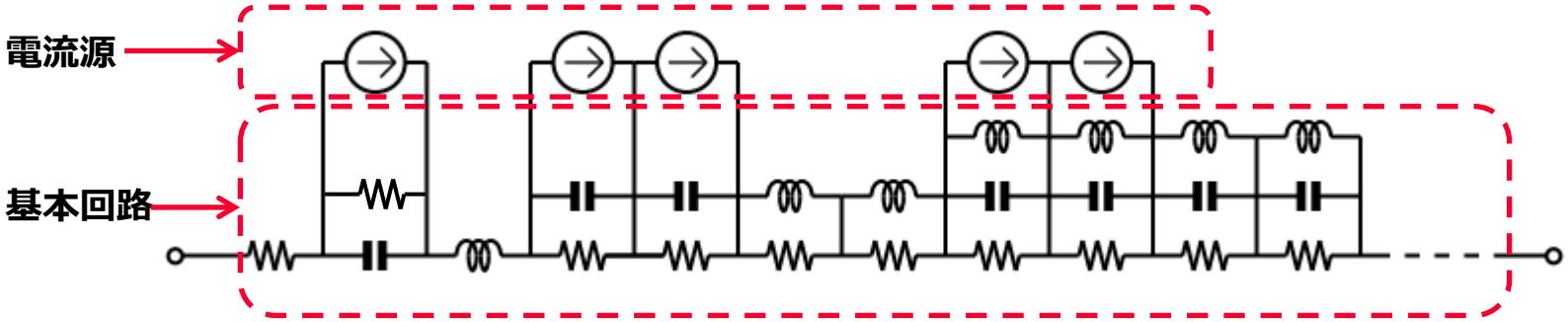
⇒ シミュレーションと実測との乖離の低減をはかるため、 DCバイアスおよび温度を1条件指定できるSPICEモデルを、当社設計支援ツール“SimSurfing”にて提供しています（※）。

※my Murata(https://my.murata.com/ja/web/mymurata/simsurfing_c)の「より高機能なSimSurfing」にてご利用いただけます。 通常版”SimSurfing” (http://www.murata.co.jp/simsurfing/) では、DCバイアスのみ条件指定が可能です。

上の左図はDCバイアス0V/常温の条件のSPICEモデル、右図は DCバイアス/温度の条件を反映したSPICEモデルより求めた|Z|とESRの計算値と実測との比較です。両者ともよく一致しています。

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

高誘電率系MLCCにおける動的モデルについて



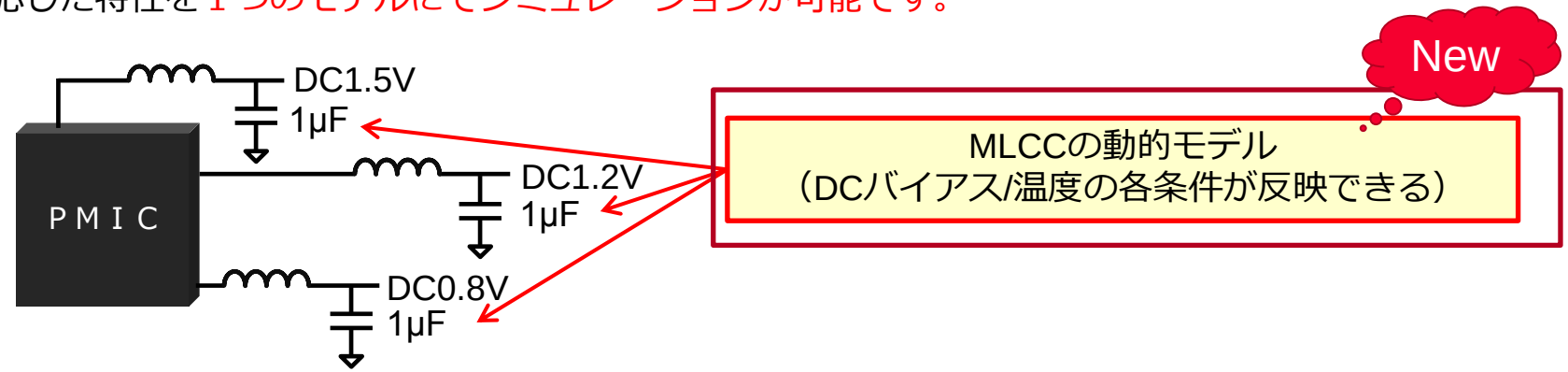
DCバイアス依存と温度依存を反映させたSPICEモデルの例

⇒ 当SPICEモデルは、基本の等価回路モデルにおけるいくつかの素子に対して、DCバイアスと温度の依存性をもたせることで、DCバイアスと温度の変動に対応する動的モデルを実現しました。

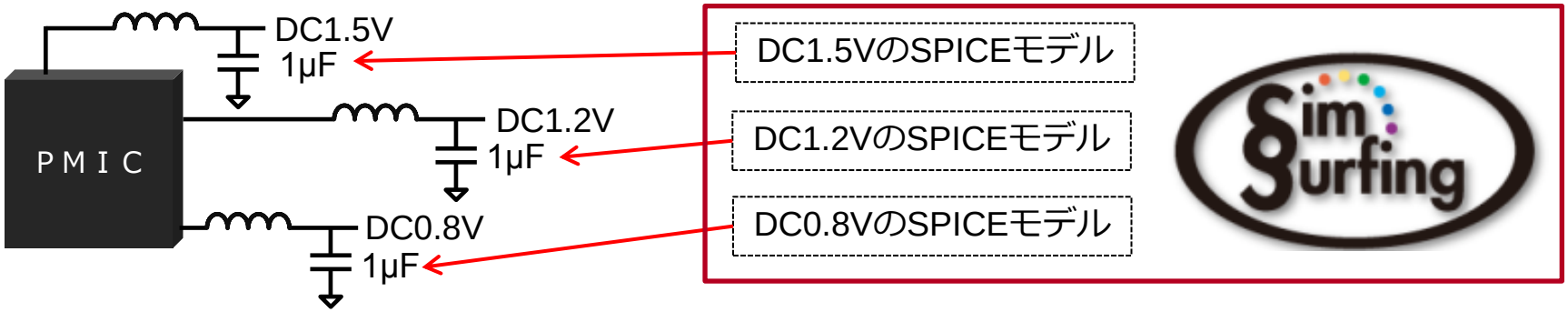
Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

動的モデルを使用することによるメリット

◎動的モデル（DCバイアス自動設定/温度指定が可能なSPICEモデル）を用いた場合
下の回路を例として、ある動作温度環境下で、各コンデンサに印加されたDCバイアス電圧に応じた特性を１つのモデルにてシミュレーションが可能です。



＜参考＞ myMurata版”SimSurfing”からダウンロードしたSPICEモデルを用いた場合
本SPICEモデルは、DCバイアス/温度をそれぞれ設定したモデルでダウンロードされます。
したがって、上記と同様のシミュレーションをする場合、3種類の異なるDCバイアスを設定したモデルを用意する必要があります。



Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社MLCCの動的モデルのダウンロード

本モデルは、当社Webサイトにてライブラリとして公開しています。

■Cadence® PSpice®
http://www.murata.com/ja-jp/tool/library/pspice

■Synopsys HSPICE®
http://www.murata.com/ja-jp/tool/library/hspice

■Linear Technology LTspice
http://www.murata.com/ja-jp/tool/library/ltspice

［収容製品］
MLCC： GRM/GCD/GCM/GJ4/GJ8/LLL/LLRの各シリーズ

※CadenceおよびPSpiceは、Cadence Design Systems, Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標です。
※HSPICEは、Synopsys, Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標です。

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社MLCCの動的モデルの使用例 - PSpice® -

GRM219B31A226MEA0_P.mod - メモ帳

ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)

```
**$ENCRYPTED_LIB
**$PARTIAL
*---------------------------------------------------------------------
* PSPICE Model generated by Murata Manufacturing Co., Ltd.
* Copyright(C) Murata Manufacturing Co., Ltd.
* Description : 2012/B/22uF/10V (Capacitor)
* MURATA P/N : GRM219B31A226MEA0
* Property : C = 22 [uF]
*---------------------------------------------------
* Applicable Conditions:
*   Frequency Range = 30Hz - 8.5GHz
*   Temperature = -55 degC -
*   DC Bias Voltage = 0V - 1
*   Small Signal Operation
*---------------------------------------------------------------------
.subckt GRM219B31A226MEA0 Port1 Port2 PARAMS:temperature=25
$CDNENCSTART
eee8c5c7a2b                3678664e7916da0bae22e8cb0bba041dd67c69ce448ea70148a9ac1670
3b33857aaa0                7a21e9923a241a839a9452a9d1690c29149d3e49952fd302c71ff8dc76
e47652bdde991f48d6085d4ffa1a7c791690c29149d3e49952fd302c71ff8dc76009b66c7b581ffe7
bd92b7ac246cc3c14fc392e13cf1f65f9bbd027d10818dcd23f363b602b1468cd3496b9439efb5dad
b6df740f908333a34fc392e13cf1f65f5d33d2c20c2dc32223f363b602b1468cd3496b9439efb5dad
```

温度指定方法の定義
値は、呼び出し時に指定が無い場合のデフォルト値

入出力ノード

品番

回路データ

◎使用例

PSPICE_main_C .cir - メモ帳

ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V)

使用するmodファイルを追加

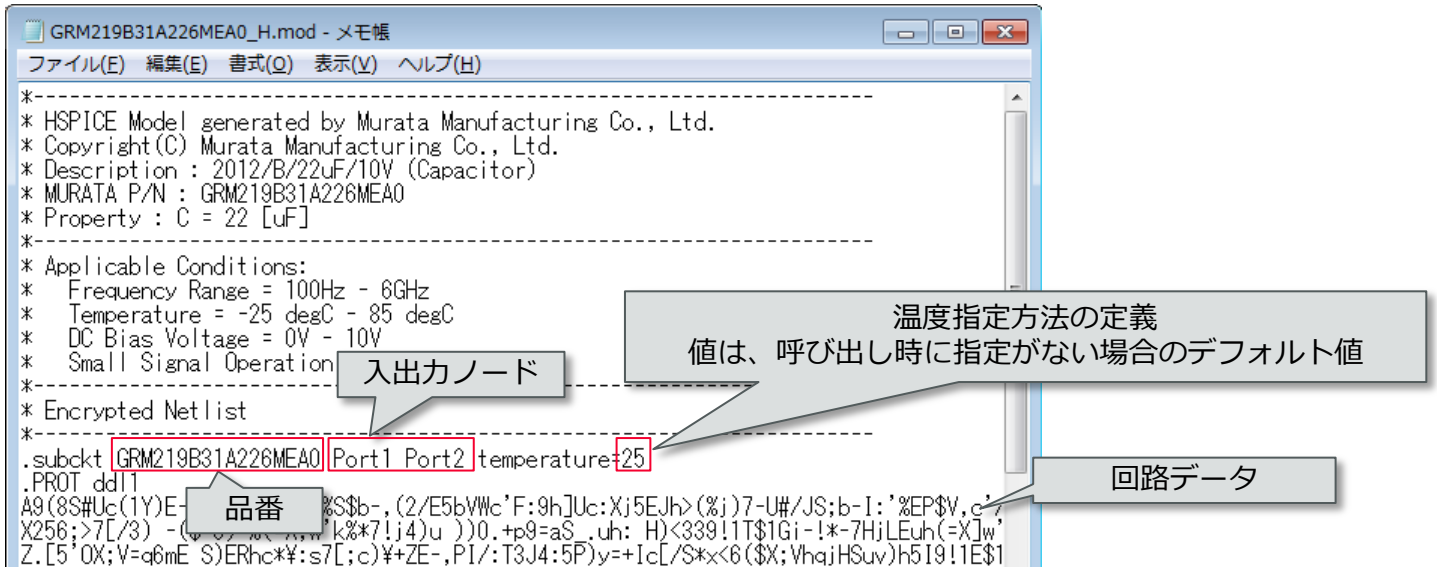
```
.inc ./data/GRM219B31A226MEA0_P.mod

.ac dec 41 100 6000000000
.probe
.param DCbias=0

V1 N001 0 DC {DCbias} AC 0.1 0
XC1 N001 0 GRM219B31A226MEA0 PARAMS:temperature=125

.end
```

DCバイアス電圧値は、自動的に検知

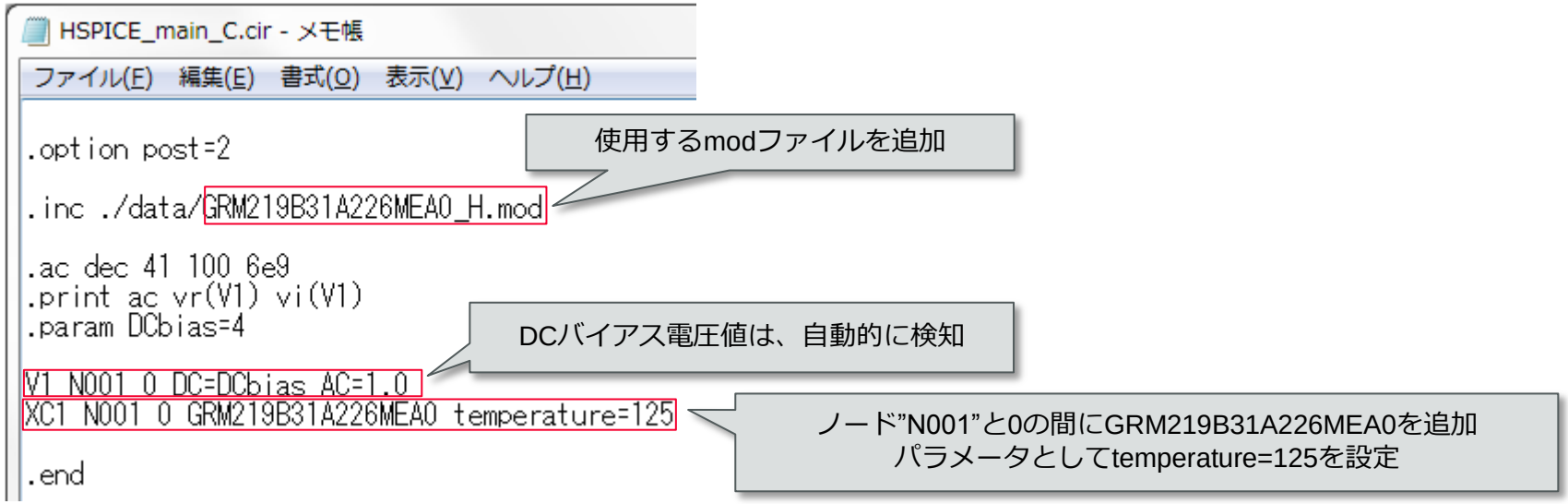
ノード"N001"と0の間にGRM219B31A226MEA0を追加
パラメータとしてtemperature=125を設定

Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社MLCCの動的モデルの使用例 - HSPICE® -



◎使用例



Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.

当社MLCCの動的モデルの使用例 - LTspice -

■シンボルファイル（拡張子.asy）

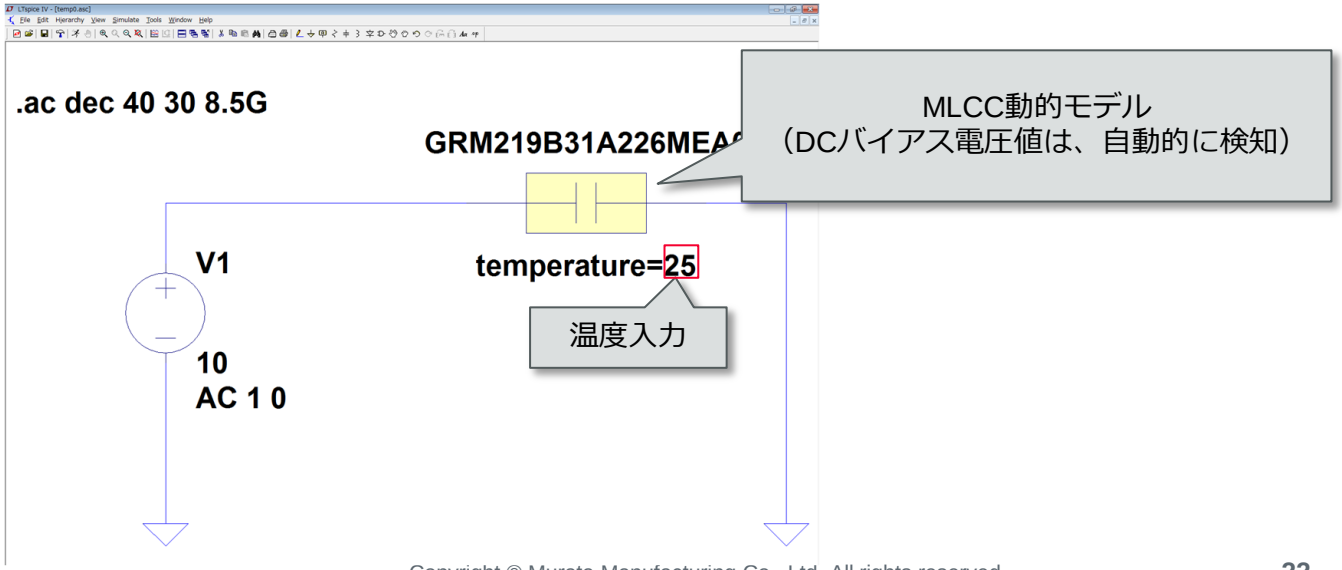
LTspiceがインストールされているフォルダにある「sym」フォルダ以下に、
任意のフォルダを作成して保存する。
例）　C:¥Program Files (x86)¥LTC¥LTspiceIV¥lib¥sym¥murata_MLCC¥

■動的SPICEファイル（拡張子.mod）

LTspiceがインストールされているフォルダにある「sub」フォルダ以下に、
modファイルを直接保存する。
例）　C:¥Program Files (x86)¥LTC¥LTspiceIV¥lib¥sub¥

※参照元の回路(例：test1.asc)と同じフォルダに、modファイルを保存することも可能
※それ以外のフォルダに保存する場合は、コマンド「.inc」を使用して参照する。

メニューの
Edit -> Componentから
保存したファイルを選択



Copyright © Murata Manufacturing Co., Ltd. All rights reserved.