

無償の回路シミュレータ「LTspice」による お手軽1DCAEの基礎検討

コモディティ化を防ぐには [1, 6]

- (1) デライト製品(魅力品質)
- (2) 魅力品質のものづくりには、Model Based Design (≒1DCAE?)が有効といわれている

1DCAEの特徴 [1, 6]

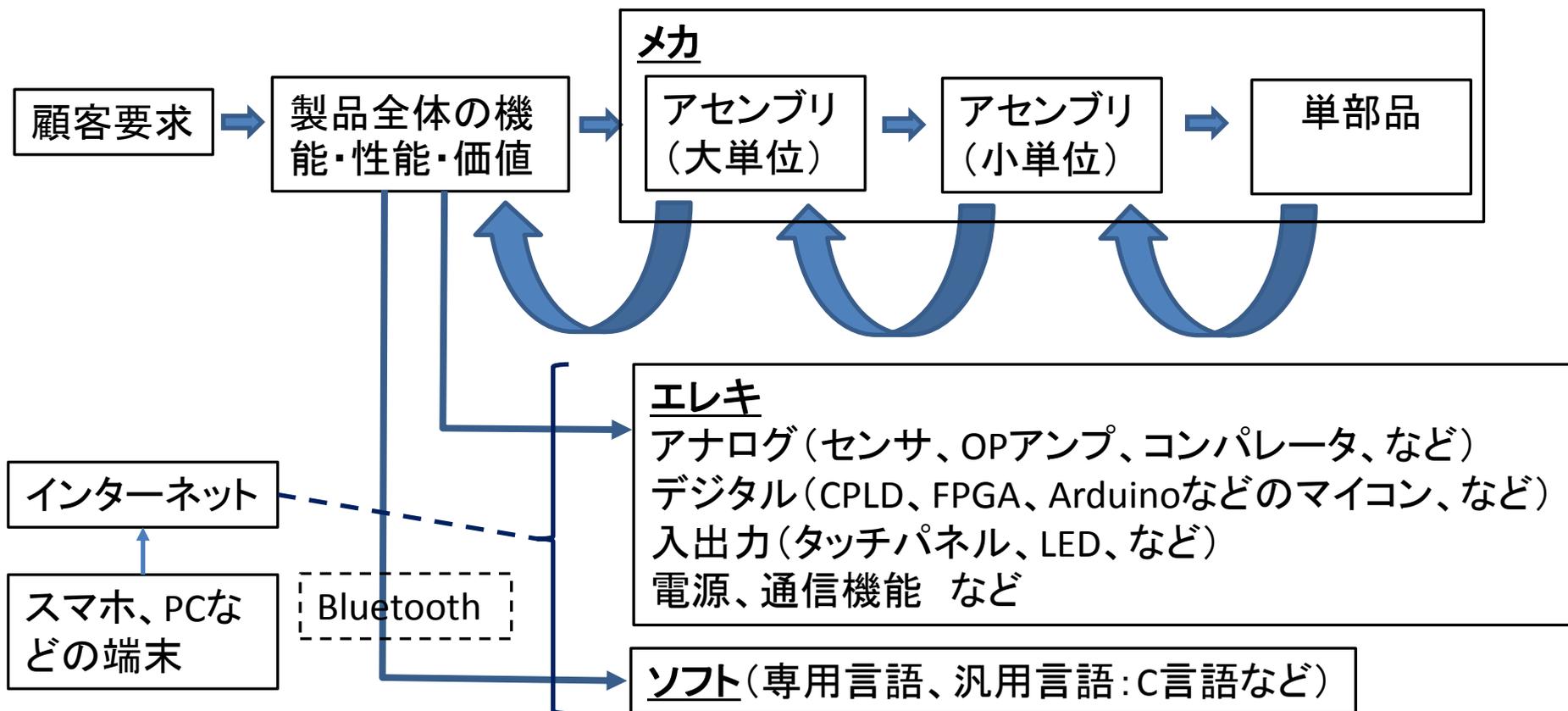
- (1) 製品の全体を俯瞰
- (2) メカ、エレキ、ソフトを統合的に表現

1DCAE用ソフト

- (1) 無償ソフトは操作は難しい。商用ソフトは高価。
- (2) 機械の動力学特性を回路シミュレータにより解析する方法がネットで見つかったので[4]、使用経験のあるLTspiceにより試した。

Model Based Design (1D-CAE)が提案された背景

メカ、エレキ、ソフト融合製品



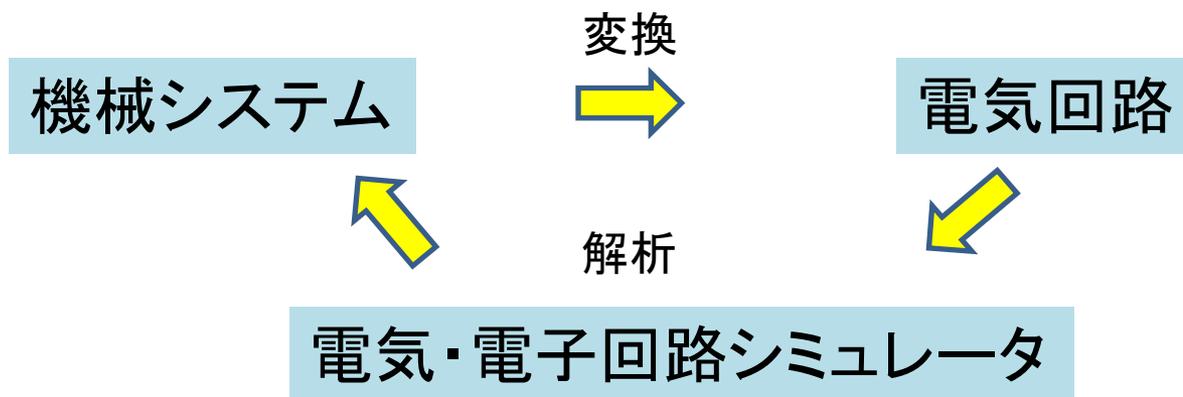
- ・改良設計では、CAD・CAEによる構造を起点としたものづくりに適している
- ・CAD/CAEは、新規設計の機能、価値を起点とした設計には向いていない [1, 6]

簡易検索したModel Based Design (1DCAE) 用ソフト

ベース	ソフト名	ライセンス	個人的なコメント
Model Base Design用	OpenModelica	無償、GPL	Exampleを動かすとコンパイルしてからの実行となるので入門には不向き。計算すると入力図が見えなくなり不便。
	Modelica	無償、Modelica License	物理現象を表現するモデルの構築でよく使われる - Wikipedia
3DCAD+ツール	CATIA (systems engineering)	商用	個人では購入できる価格ではない(数100万円のソフト)
数値解析	MATLAB / SIMULINK	商用	個人では購入できる価格ではない(100万円程度?)
	Scilab / XCOS	無償、CeCILL license (≒ GPL)	Exampleの試用: シンボルと実行内容の関係が解りづらい。ダブルクリックして表示される値は、中身を理解していないと意味が解らない。
数式処理	Maple+ MapleSim	商用	個人では購入できる価格ではない? 数式のマトリクスを理解する必要がある。

機械の動力学解析と電気回路の解析手法

	電気	機械	熱	流体
流通量	電流 (i)	力 (f) モーメント (M)	熱流量 (q)	流量 (w)
位差量	電圧 (V)	速度 (v) 角速度 (ω)	温度 (T)	圧力 (P)



出典:「機械回路の記号解析」、電気通信大学 知能機械工学科、下条様 [4]

上記文献では、回路シミュレータとして「QUCS」を使用しているが、利用者が多く(書籍も多い)、ユーザー会(英語)が充実している「LTspice」を用いて、簡単なモデルを解析した。

主な回路シミュレータ

ベース	ソフト名	ライセンス	個人的なコメント
独自？	QUCS QucsStudio	無償、GPL 無償、？	GUI付統合環境。表示・操作が洗練されていない。QUCSは、日本語対応（日本語書籍少ない）
SPICEベース （代表的なGUI付 統合環境のもの）	LTspice	無償、プロプライ エタリ	QUCSと比べて、書籍が多い。 慣れが必要、ショートカットなどの隠れた機能が多い。 基本的に英語環境のソフト。 Yahoo.com LTspiceグループでボランティアベースで実質サポート。 半導体メーカーは利用できない。
	HSPICE	商用	拡張性に優れる
	OrCAD EE (PSPICE) Designer	商用	LTspiceが普及する前は、評価版の利用者が多かった
	Micro-Cap	商用	PSPICEよりもマイナー？
Sandia National Lab. 独自	Xyce	無償、GPL	ソルバーのみ。回路図エディタと波形表示には別ソフトが必要。

SPICE系のソフトは多いが、LTspice以外の統合環境ソフト（評価版）は、解析規模などの制限がある。また、オープンソースのものは統合環境が整備されていない（NGSPICEなど）。

回路シミュレータ「LTspice」とは [3]

- (1) リニアテクノロジー社のマイク・エンゲルハートのチームが開発
リニアテクノロジーのホームページから無償でダウンロードできる
- (2) GUI付の統合環境、回路規模およびユーザーライブラリ制限なし
- (3) 動作プラットフォーム
Windows (32bit), OS X (64bit、UIがWindows用と異なる)、Linux上の
wine (英語環境の方がフォントがきれい、Windowsと同等速度)
- (4) マルチスレッド対応
- (5) プログラムおよびLT社のライブラリの編集・変更を認めていない。

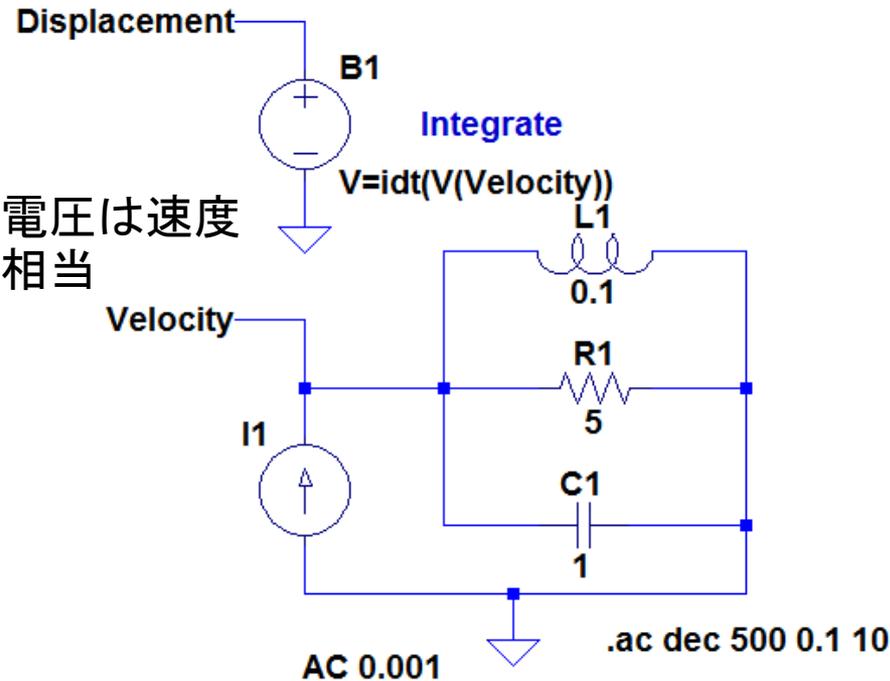
HelpのIntroduction抜粋

LTspice is a analog circuit simulator with integrated schematic capture and waveform viewer.

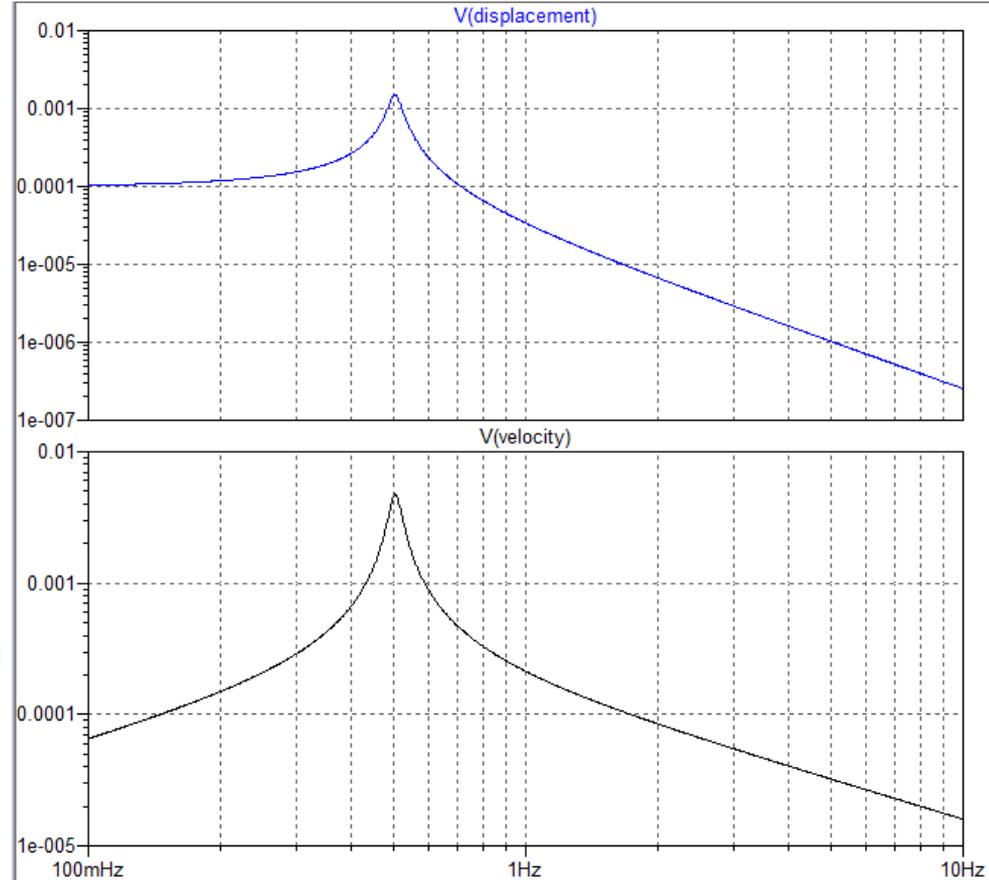
Now, what is unusual about LTspice is that is it also freely distributed in the interest of allowing potential customers to simulate LTC products in a faster simulator. Further, the freely distributed version is not crippled to limit its capability in the hope that it will be useful.

--Mike Engelhardt / 2012

1自由度減衰項を含む振動系(周波数応答)



電流は力相当
文献[4]のP34と同等の回路



ポイント

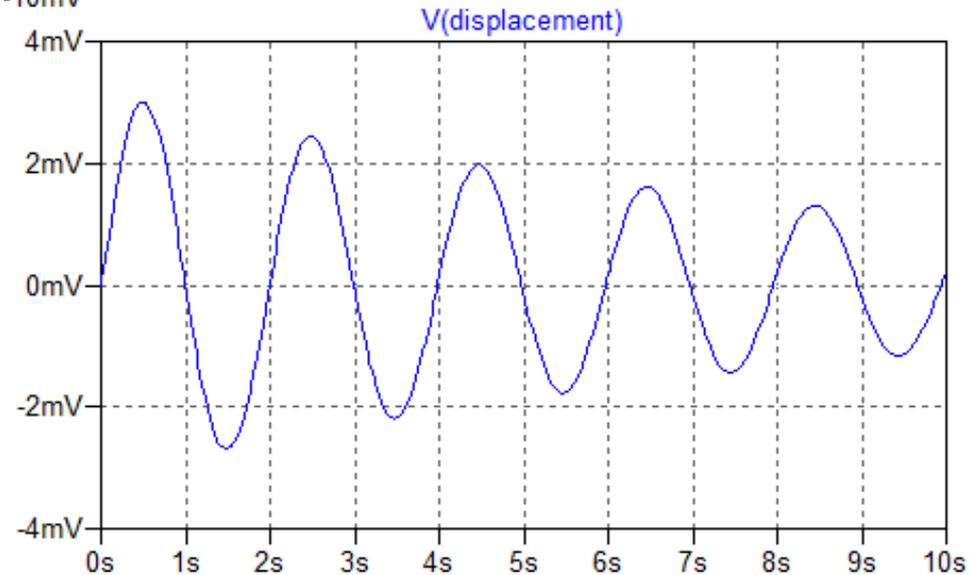
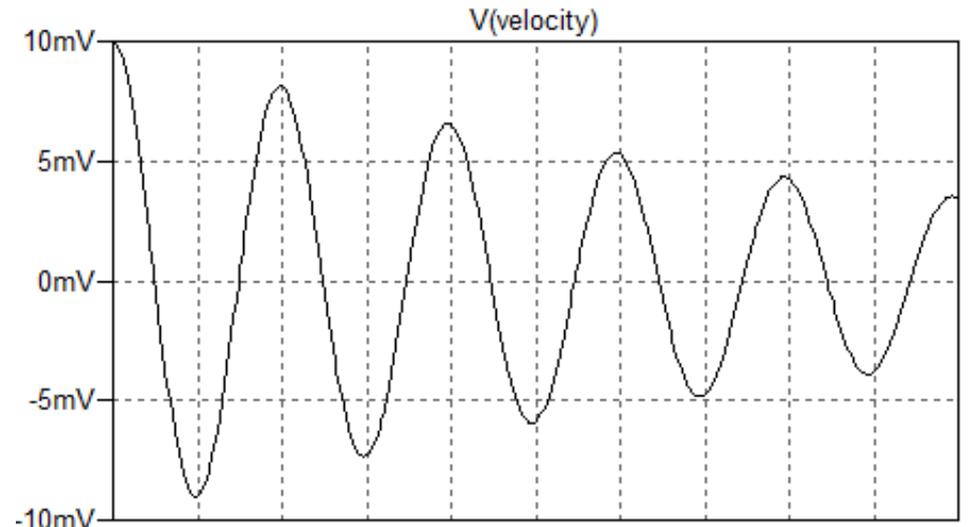
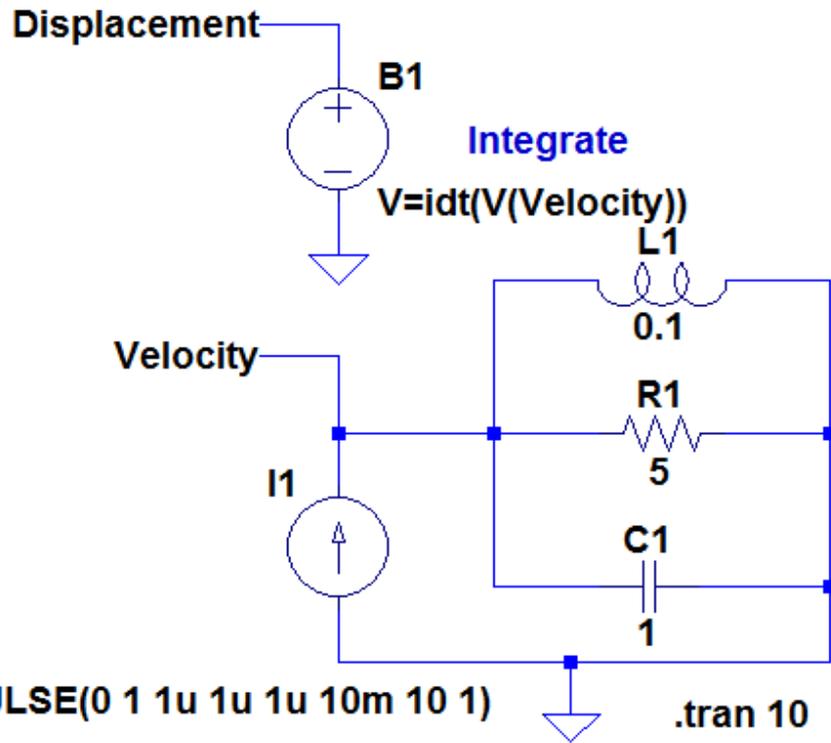
BV(電圧)、BI(電流)を用いると、時間積分(idt)、時間微分(ddt)などの演算が可能

入力1mAの正弦波

0.1~10Hz、周波数10倍間の計算ポイント数:500

共振周波数: $2\pi fL=1/(2\pi fc)$ より、0.50329Hz

1自由度減衰項を含む振動系(10msパルス応答)



ポイント

パルス電流値: 1A(10ms)

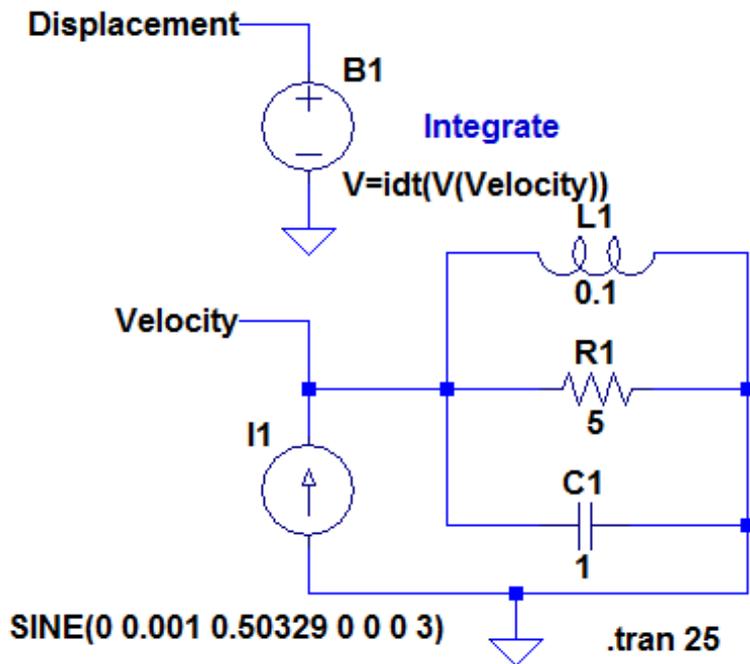
立ち上がりまでの遅れ: 1 μ s

立ち上がり、立ち下り時間: 1 μ s

1サイクル: 10s

サイクル数: 1

1自由度減衰項を含む振動系(共振正弦3波)

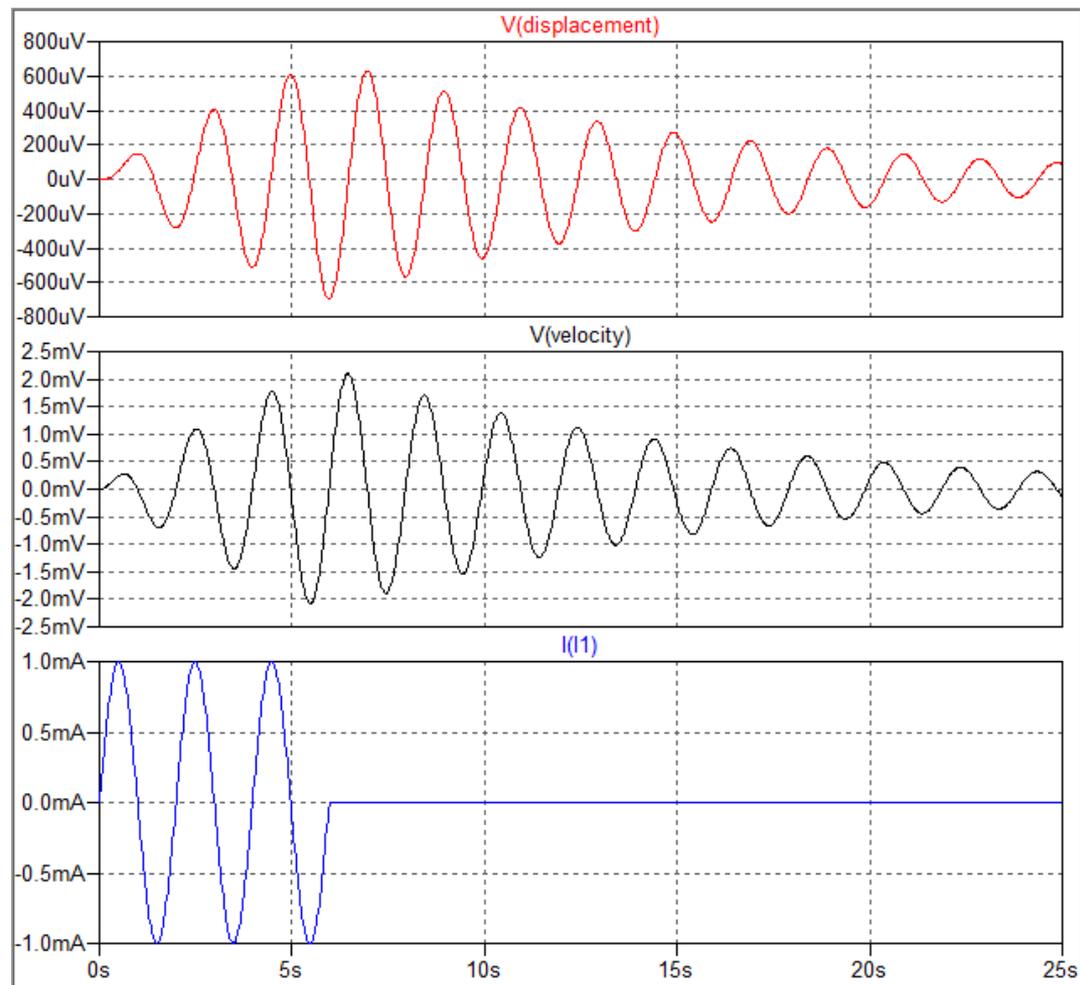


ポイント

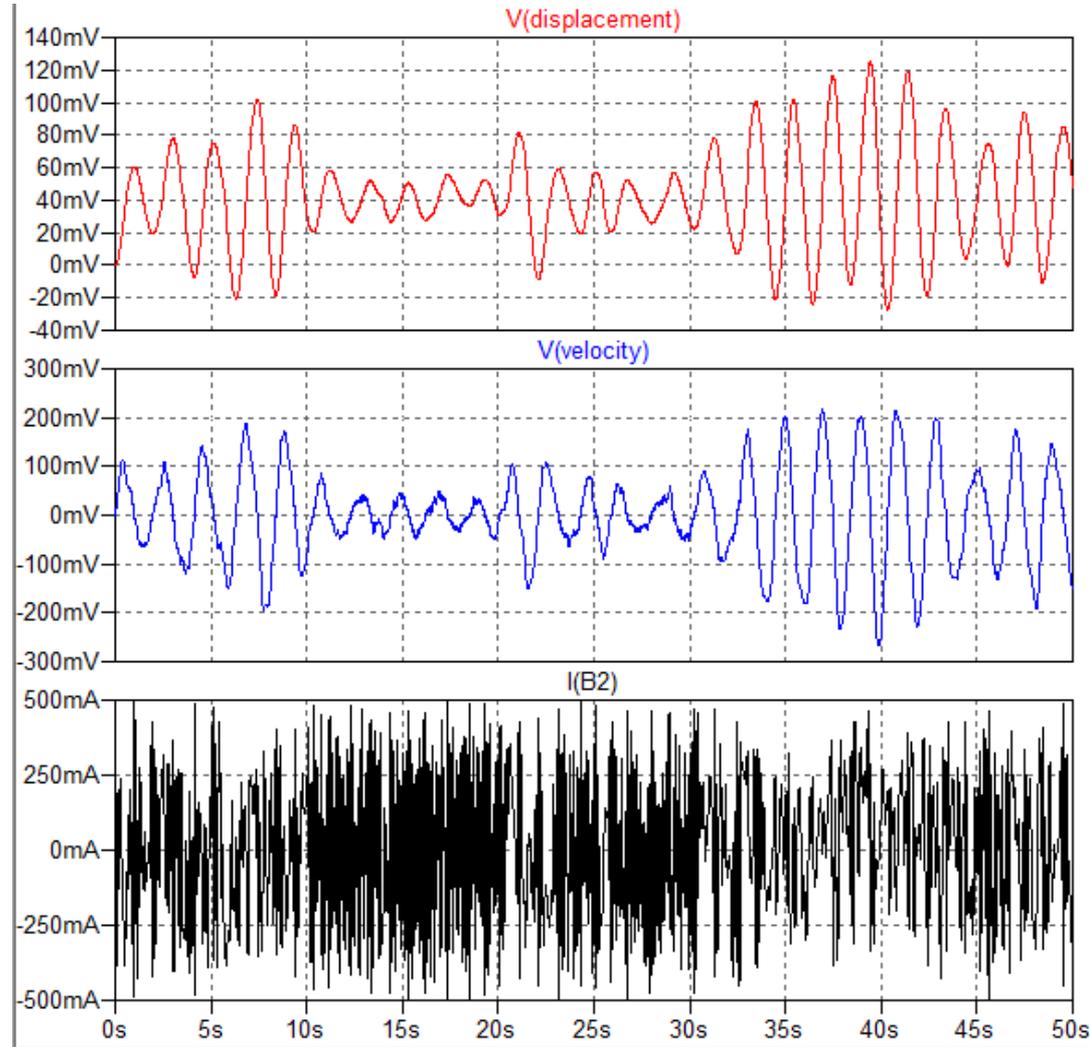
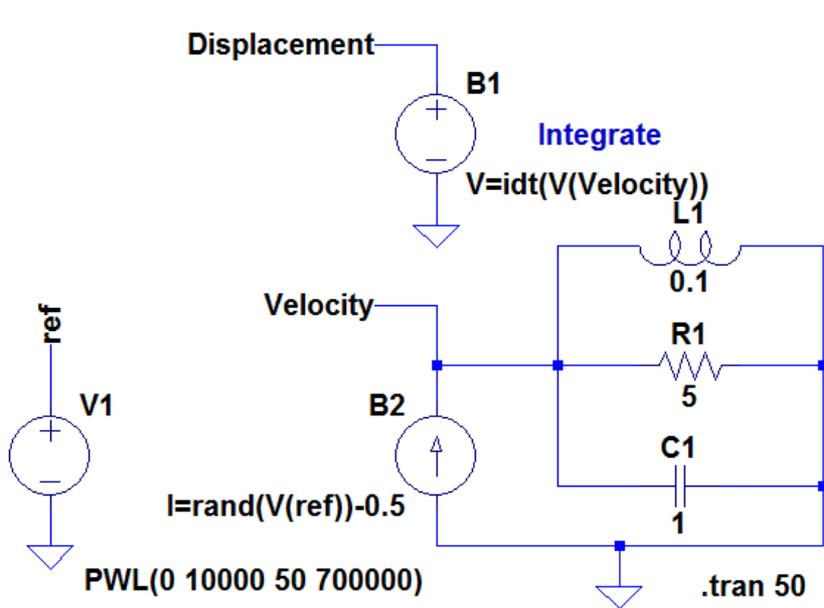
電流波高値: 1mA

周波数: 0.50329Hz

サイクル数: 3



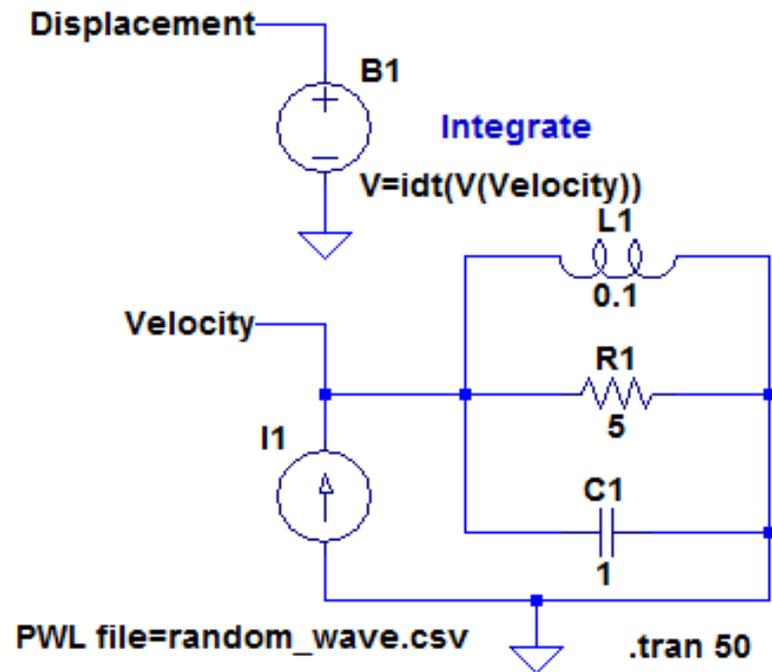
1自由度減衰項を含む振動系(ランダム波)



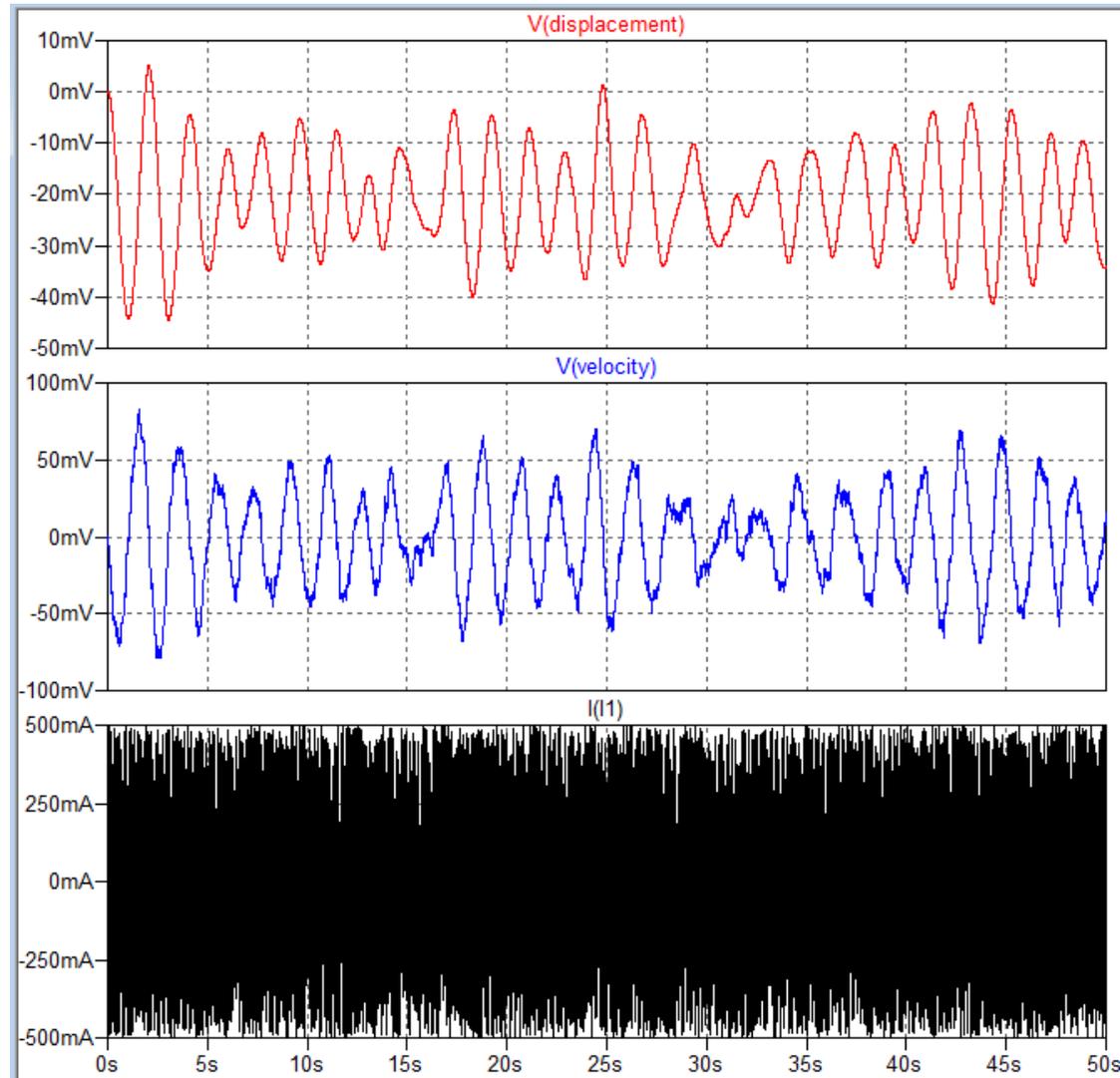
ポイント

$V1$ の電圧を変化させて、 $B2$ に乱数の電流を発生させた。時間と数値のCSVファイルからの読み込みも可能

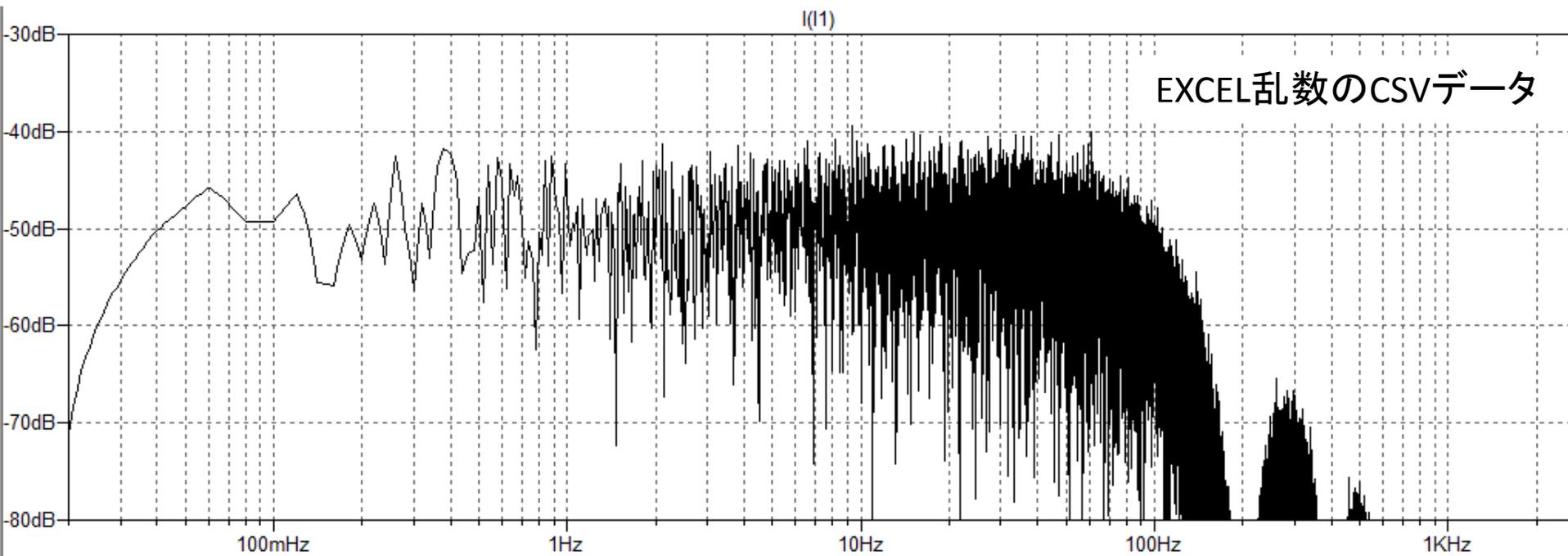
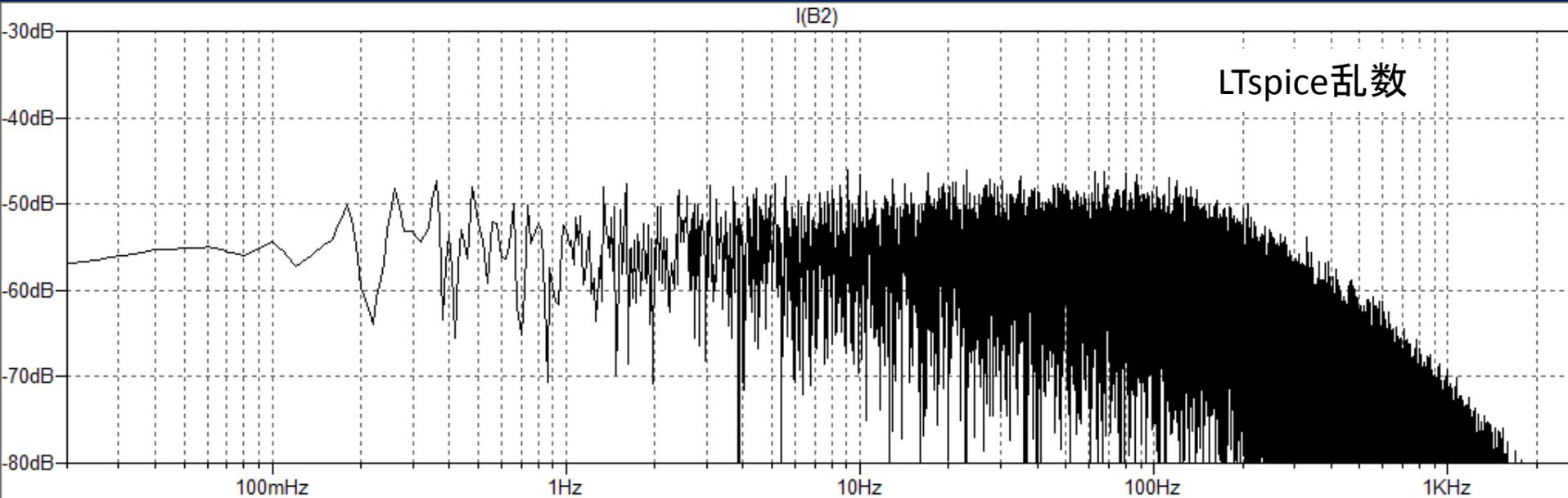
1自由度減衰項を含む振動系(ランダム波-CSVファイル)



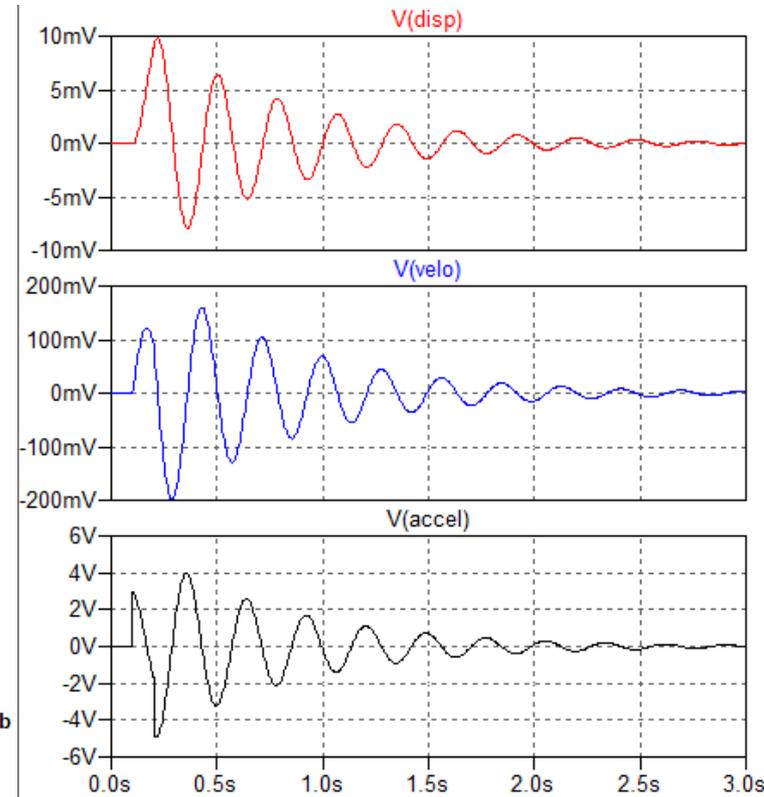
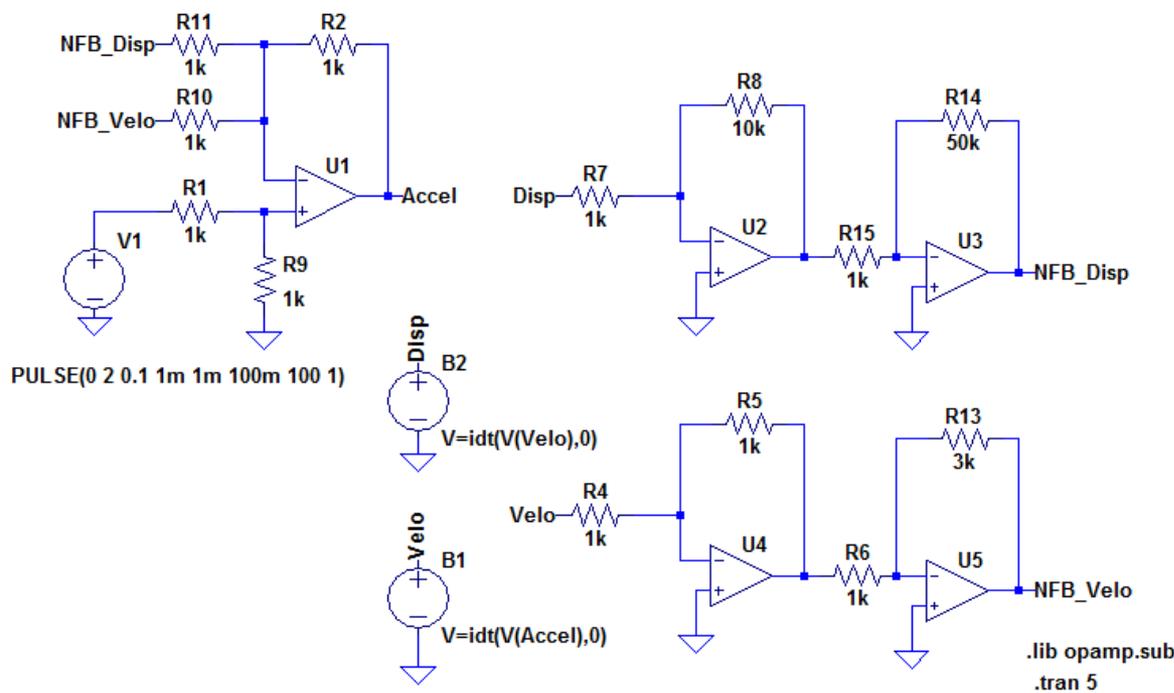
ポイント
折れ線波形(PWL)のテキスト
形式から時間とデータの
CSVファイルを読み込んだ。
データ数は、10001個。



ランダム電流波の周波数スペクトル(FFT)



積分+フィードバック回路の解析



「Disp」フィードバックゲインを高くして、振動波を生成した。
LTspiceの演算機能付き電源「B」とOPアンプにより、物理モデルを構築できそう。
ラベルが同じものは、接続された状態になる。

問題点

SPICEとOPアンプを知らない人は、意味不明になる。
大規模になると、読みづらくなる。

ブロック図化およびまとめ

ブロック図化

Yahoo.com/ LTspice Groupのexampleにサブサーキットを用いて、Matlab/Simulinkと同様の結果が得られたとの事例があった [11]。

ブロック図化の問題点

- ・サブサーキットの回路図・シンボル作成は、難易度が高い。
LTspice Groupで公開されているものを利用すれば、難易度が下がる
- ・シンボルとサブサーキット作成に手間がかかる
- ・シンボルの名称、表示を工夫しないと理解できなくなる
- ・サブサーキット化した部分は、全体図からの編集自由度が下がる
- ・個人的には、大規模回路や第三者への説明用として利用価値があると考える

LTspiceによる1DCAEーまとめ

- ・LTspiceの「B電源」の演算機能やOPアンプを用いることにより動的な物理現象を解析できます⇒簡易的な1DCAEが可能と思われます。但し、利用するには慣れが必要。
- ・興味のある方は、参考資料をご確認お願いします。

参考資料ーその1

1. 1D-CAEについて(講演会資料および学会誌)

https://www.jsee.or.jp/?action=common_download_main&upload_id=1420

学会誌「シミュレーション」、Vol.33、No.1～No.4、2014年

2. QucsStudio (QucsはGPLであるが、著作権付のフリーソフト。作者が開発方針に合わなかったのでQucs開発から離れ、独自で機能を拡張しフリーで公開)

<http://dd6um.darc.de/QucsStudio/download.html>

http://www.mos-ak.org/india/presentations/Brinson_MOS-AK_India12.pdf

3. LTspice (無償ソフト、プロプライエタリ)

ユーザーのライブラリ・事例が公開されている。英文メールでのサポートが充実 (Yahoo.com LTspice Group、登録が必要)。ソフトのHelpや事例を見て、確認後にメールした方が良い。

<http://www.linear-tech.co.jp/designtools/software/>

<https://groups.yahoo.com/neo/groups/LTspice/info>

4. 機械特性と電気回路の関係

機械回路の記号解析 電気通信大学 下条様

<http://www.rm.mce.uec.ac.jp/sjE/index.php?plugin=attach&refer=%B9%D6%B5%C1%BB%F1%CE%C1%28%B2%BC%BE%F2%29&openfile=2011ppt1.pdf>

<http://www.rm.mce.uec.ac.jp/lecture/mech/MechCircuitMatrix.pdf>

5. 論文: Multiphysics Analysis for Micro Electromechanical Systems Based on Electrical Circuit Simulator

http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/toshilab/?plugin=attach&refer=DAIQ&openfile=20642_ftp.pdf

参考資料—その2

6. 第1回デライトデザインシンポジウム 2015年2月20日
http://www.delight.t.u-tokyo.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2015/03/150220_ddpHandout.pdf
7. シミュレーションおよびモデルベースデザイン
<http://jp.mathworks.com/products/simulink/>
8. Scilab / Model-Based Development
<http://www.modprod.liu.se/modprod-2015/1.612937/Claude-Gomez-Abstract-Bio-Keynote-MODPROD2015.pdf>
<http://web.hs-merseburg.de/~lohoefen/Vienna/REM2013-Lohoefener-2.pdf>
9. LTspiceを用いてDCモータの挙動を手軽に数値解析する方法
<http://robotics-note.blogspot.jp/2012/10/ltspicedc.html>
10. Spiceの応用解析—微分方程式を解く
<http://ednjapan.com/edn/articles/1503/27/news009.html>
11. LTspiceを用いたブロック図解析(無償のLTspiceグループのメンバー登録が必要)
<https://groups.yahoo.com/neo/groups/LTspice/files/%20Examples/Educational/Automatic%20control/>