

LTspice の勘所

リニアテクノロジー株式会社 シニアFAE 原田秀一

Copyright © 2014 Linear Technology. All rights reserved.





なぜシミュレータが必要か?

現実の回路を動かしてその結果を確かめることが極め て困難または危険である場合やそのための費用が膨大 になる場合にシミュレーションを行う。

電子回路以外では、空気抵抗を減らすために行った試 作車の風洞実験や水中翼船等の水の抵抗の影響を調べ る水槽実験に代わり、数式化したモデルを用いて模擬 すること。



本日のメニュー



- 1. LTspiceの特徴
- 2. LTspiceの入手方法
- 3. LTspiceを始めるには...
- 4. WEBに掲載されているデモ回路
- 5. 予め準備された模擬回路
- 6. "LTspice Yahoo!"への投稿回路
- 7. LTspiceエディタで独自回路を設計
- 8. 文字化けへの対応
- 9. 回路のシミュレーション方法
- 10. 波形のビューワ
- 11. デモ回路のシミュレーション

- **12.** 波形の拡大・縮小
- 13. 波形の振幅および時間の測定
- 14. ノード間の電圧差
- 15. ワイヤに流れる電流の測定
- 16. 平均値およびRMS値の算出
- 17. 瞬時および平均電力
- 18. BOM(部品表)の生成
- 19. 効率と損失の算出
- 20. 過渡応答のシミュレーション
- 21. AC解析
- 22. 他社SPICEモデルのインポート
- 23. その他のヒント



1. LTspiceの特徴



- ◆ 安定したSPICE回路シミュレーション
 - 無制限のノード数
 - 回路およびシンボルのエディタ
 - ◆ 波形のビューワ
 - ◆ 受動部品のライブラリ
 - ◆ 1100以上のLTC製品のマクロモデル
- ◆ スイッチング電源の高速シミュレーション
 - ◆ 定常状態検出
 - 電源オン時の過渡応答解析
 - ステップ応答解析
 - → 効率・電力計算
- ◆ 先進的な解析およびシミュレーション・オプション
- ◆ 有償ツール以上に高性能で強力



Time Line of SPICE



- LTspice has been the industry de facto standard since mid 2000's
- Downloaded 4 times per minute(excluding updates)
- Distributed 100's of times more than any other SPICE program

Benchmarking SPICE

	LTspice	hspice	¹ PSpice ²		LTspice	hspice	PSpice
ab_ac	<u>4.750</u>	14.63	7.59	loc	9.046	10.64	8.86
ab_integ	<u>0.109</u>	0.17	.23	mike2	<u>5.797</u>	21.39	37.83
ab_opamp	<u>5.454</u>	7.72	6.44	mosrect	<u>9.734</u>	29.14	17.22
arom	3.656	3.34	6.94	mux8	<u>6.531</u>	11.91	12.00
astabl	1.046	5.21	4.52	nagle	<u>0.672</u>	1.53	1.28
b330	2.172	1.90	3.16	nand	1.953	2.45	1.08
bias	<u>3.234</u>	8.63	5.19	opampal	5.109	4.50	1.41
bjtff	<u>2.453</u>	2.94	4.17	optrans	7.500	<u>3.14</u>	6.17
bjtinv	<u>7.594</u>	14.28	13.03	pump	<u>0.016</u>	0.49	.23
counter	7.234	7.40	15.16	rca	1.719	1.45	1.53
cram	0.625	0.74	.91	reg0	<u>4.406</u>	28.78	37.22
e1480	0.188	0.09	(fails)	rich3	33.453	4.67	(fails)
g1310	<u>3.969</u>	5.45	10.91	ring	<u>5.562</u>	19.36	10.33
gml	<u>5.562</u>	11.14	12.39	ring11	<u>2.360</u>	4.72	3.11
gm17	<u>2.703</u>	2.92	4.47	schmitecl	<u>0.015</u>	0.06	.16
gm19	11.968	<u>9.37</u>	(fails)	schmitfast	<u>8.297</u>	29.09	21.16
gm2	<u>1.125</u>	3.21	4.91	schmitslow	<u>10.781</u>	37.28	23.84
gm3	<u>3.453</u>	8.13	8.66	slowlatch	0.156	0.11	.22
дmб	<u>5.109</u>	11.84	13.45	todd3	0.156	0.06	.22
hussamp	<u>0.781</u>	1.42	(fails)	toronto	<u>5.031</u>	11.72	11.74
jge	33.875	<u>9.08</u>	(fails)	vreg	<u>0.735</u>	2.86	2.16
latch	<u>0.969</u>	2.42	2.30				
				WINS:	<u>30</u>	<u>10</u>	<u>3</u>

1] hspice is a Synopsis Trademark 2] PSpice is a Cadence Trademark

2. LTspiceの入手方法



- ◆ 当社WEBサイトにアクセス <u>http://www.linear.com/software</u>
- ◆ "Download LTspice Ⅳ"を左クリック
- ◆ PCにインストールするために手順に従ってお進みください
- ◆ ユーザ・ガイドおよび回路集もご参照下さい

Design Simulation and Device Models

Linear Technology provides a variety of custom design simulation tools and device models to allow even novice designers to quickly and easily evaluate circuits using high performance switching regulators, amplifiers, data converters, filters and more.

- LTspice IV
- LTpowerCAD
- LTpowerPlay
- Amplifier Simulation & Design
- Filter Simulation & Design
- Timing Simulation & Design
- PScope & QuikEval Evaluation Systems
- Dust Networks Starter Kits
- Dust Networks Programmer

LTSPICE IV

LTspice IV

LTspice IV is a high performance SPICE simulator, schematic capture and waveform viewer with enhancements and models for easing the simulation of switching regulators. Our enhancements to SPICE have made simulating switching regulators extremely fast compared to normal SPICE simulators, allowing the user to view waveforms for most switching regulators in just a few minutes. Included in this download are LTspice IV, Macro Models for 80% of Linear Technology's switching regulators, over 200 op amp models, as well as resistors, transistors and MOSFET models.

- Download LTspice IV for Windows (Updated May 13, 2014)
- Download LTspice IV for Mac OS X 10.7+
- LTspice Information Flyer & Shortcuts
- Mac OS X Shortcuts
- LTspice Getting Started Guide
- LTspice Blog
- LTspice Demo Circuit Collection
- View Upcoming LTspice Seminars

Follow LTspice on Twitter!

3. LTspiceを始めるには...



- 1. WEBに掲載されている数百のデモ回路を使用
 - 本社アプリケーション・グループで設計・検証されています <u>http://www.linear.com/designtools/software/demo_circuits.jsp</u>
- 2. 予め準備された模擬回路(JIG)を使用
 - 手始めとしてはお勧めですが、量産向けではありません
 - 主にデバイス・モデルの検証用であり、完全な設計ではありません
 - 理想部品を使用しており、使用条件に合わせて調整が必要です
- 3. "LTspice Yahoo!"に投稿されている回路を使用
 - 非常に有用な論議や指導の書き込みも多く掲載されています <u>http://tech.groups.yahoo.com/group/LTspice</u>
- 4. 独自の回路を設計するためにLTspiceのエディタを使用
 - 殆どのパワーICモデルがあり、以下に練習用モデルもあります C:¥Program Files¥LTC¥SwCADIII¥examples¥Educational



4. WEBに掲載されているデモ回路



LTSPICE IV

LTspice IV

LTspice IV is a high performance SPICE simulator, schematic capture and waveform viewer with enhancements and models for easing the simulation of switching regulators. Our enhancements to SPICE have made simulating switching regulators extremely fast compared to normal SPICE simulators, allowing the user to view waveforms for most switching regulators in just a few minutes. Included in this download are LTspice IV, Macro Models for 80% of Linear Technology's switching regulators, over 200 op amp models, as well as resistors, transistors and MOSFET models.



X

- Download LTspice IV for Mac OS X 10.7+
- LTspice Information Flyer & Shortcuts
- Mac OS X Shortcuts
- LTspice Getting Started Guide
- LTspice Blog
- LTspice Demo Circuit Collection
- View Upcoming Tspice Seminars
- Follow LTspice on Twitter!
- View the LTspice Video Channel

		Product
Demo Circuit	Posted •	Page
LTC3874 & LTC3875 Demo Circuit - High Efficiency, 4-Phase Step-Down Supply with Sub-Milliohm DCR Sensing (4.5-14V to 1V @ 120A)	2014-05- 07	LTC3874
LTC3874 & LTC3875 Demo Circuit - High Efficiency, 4-Phase Step-Down Supply with Sub-Milliohm DCR Sensing (4.5-14V to 1V @ 120A)	2014-05- 07	LTC3875
LT8710 Demo Circuit - Synchronous SEPIC Converter with Output Current Control (4.5-28V to 5V @ 6A)	2014-05- 06	LT8710
LT8710 Demo Circuit - Synchronous Inverting Converter with Output Current Control (4.5-28V to -5V @ 6A)	2014-05- 06	LT8710
LTM4676 Demo Circuit - Single 26A µModule Buck Regulator with Digital Interface for Control & Monitoring (4.5-16V to 1V @ 26A)	2014-05- 06	LTM4676
LT8614 Demo Circuit - Ultralow EMI, μPower Buck Converter (5.8-42V to 5V @ 4A)	2014-05- 06	LT8614
LT8612 Demo Circuit - µPower Buck Converter (5.8-42V to 5V @ 6A)	2014-05- 06	LT8612
LTC3624-2 Demo Circuit - High Efficiency Buck Regulator with Ultralow Quiescent Current (5.6-17V to 5V @ 2A)	2014-05- 06	LTC3624
LTC3624 Demo Circuit - High Efficiency Buck Regulator with Ultralow Quiescent Current (5.6-17V to 5V @ 2A)	2014-05- 06	LTC3624
LT8301 Demo Circuit - µPower Isolated Flyback Converter (10-32V to 5V @ 0.7A)	2014-05-	LT8301

http://www.linear.com/designtools/software/demo_circuits.jsp





✓ 本社アプリケーション・グループで設計され、確認されてはいますが...

- ◆お客様ご自身で動作や信頼性を実機で検証してください
- ◆ 部品変更やPCBレイアウトにより回路性能や信頼性に影響する可能性があります





5. 予め準備された模擬回路



♦ "File" ⇒ "New Schematic" でブランク・スクリーンを開きます





予め準備された模擬回路 - つづき -



◆ "Edit"⇒"Component"またはF2などでデバイスを追加します

Linear Technology LTspice/Switcher	CAD III - [Draft2.asc]					
🔨 File Edit Hierarchy View Simulate Too	File Edit Hierarchy View Simulate Tools Window Help					_ 8 ×
Linear Technology LTspice/Switch	nerCAD III 🔳 🗖 🔀		A La S	1) 4 6		
📕 🚰 🔣 Eile Edit Hierarchy View Simulate	Tools Window Help - 🗗	••=••••••••••••••••••••••••••••••••••••	≞ <mark>∕∠</mark> ⇒Ψ<	= > ¥ 4	2 49 49 49 69 E	π Ε∃ Ala .ºp
🖓 Undo F9	×				Component	
••••• 🕞 🍙 🖓 R <u>e</u> do Shift+F9	0, 12, 122 101 🗖 🖬 🦷		<mark>.</mark>		omponent	
			· · <mark>·</mark> · · · · · ·			
•P SPICE Directive 'S'						
SPICE Analysis			<mark>.</mark>			
Resistor 'R'						
···· 涬 Capacitor 'C'						
I Inductor 'L'			Select Comp	anont Symbol		
Diode 'D'			Select Comp	onent symbol		
Ecomponent F2			Top Directory:	C:\PROGRA~1\LTC\	SwCADIII\lib\sym	*
Ém <u>R</u> otate Ctrl+R						
É Mirror Ctrl+E						
Draw <u>W</u> ire F3						
···· 면 Label <u>N</u> et F4						
Pare BUS tap					Open this macromodel's t	test fixture
been been been been been been been been						
····· 唱韵 Duplicate F6						
F/			IComparatoral	- TALTONSWOADTINIDA	EerriteBead 700	mentet
			[Digital]	cap	g	njf
			[FilterProducts] [Misc]	CNSW csw	g2 h	nmos nmos4
Draw			[Opamps]	current	ind	npn
Place a new component on the schematic.			[Uptos] [PowerProducts]	diode e	inaz LED	npn∠ npn3
		•	[References]	e2	load load2	npn4 pif
			bi	FerriteBead	lpnp	pmos
			bi2	FerriteBead2	Itline	pmos4
						2

Cancel



OK

予め準備された模擬回路 -つづき-



- ◆ モデルを選択して模擬回路を開きます
 - 1. モデルの検索には製品番号のみを入力します(例:3412A)
 - 2. "Open this macromodel's test fixture"ボタンをクリックします





予め準備された模擬回路 -つづき-



- ◆ 手始めとしてはお勧めですが、量産向けではありません
- ◆ 主にデバイス・モデルの検証用であり、完全な設計ではありません
- ◆ お客様ご自身で動作や信頼性を実機で検証してください
- ◆ PCBレイアウトにより回路性能や信頼性に影響する可能性があります





6. "LTspice Yahoo!"への投稿回路





17









単位の表記方法

- ♦ K = k = kilo = 10³
- ♦ MEG = meg = 10⁶
- ♦ G = g = giga = 10⁹
- ♦ T = t = tera = 10¹²

- M = m = milli = 10-3
- ◆ U = u = micro = 10-6
- ♦ N = n = nano = 10-9
- ◆ P = p = pico = 10-12
- F = f = femto = 10-15

注意

- 10⁶を規定するにはMではなく、MEG(またはmeg)を使用
- 1ファラッドに対しては1Fではなく、単に1と入力



- ◆ 以降、簡単なRC回路の例を示します
 - ◆ ツールバーから"New Schematic"を選択
 - ツールバーから抵抗、コンデンサ、グランドを選択し、以下のように配置
 - ツールバーの"Component"ウィンドウでダイアログ・ボックスに"voltage"と入力"し、 "OK"を押して電圧源を配置







- ◆ ツールバーから"Wire"を選択し、以下のようにRC回路を配線
- ◆ ツールバーから"Label Net"を選択し、以下のように入出力ノードにラベルを貼付
- 各部品を右クリックし、以下のように各値を変更
- 電圧源を右クリックし、タブをクリックした後に以下のようにパラメータを入力







◆ 部品の属性は、部品上にポインタをもっていき、右クリックして編集できます (テキスト上で右クリックしても値を編集可能です)

Resistor - R6	Inductor - L1	Capacitor - Cp1 🛛 🔀
Manufacturer: OK Part Number: Cancel Select Resistor Cancel Resistor Properties Resistance[Ω]: Tolerance[%]: Power Rating[W]:	Manufacturer: Coilcraft OK Part Number: D01608P-222 Cancel Select Inductor Show Phase Dot Inductor Properties Inductance[H]: Peak Current[A]: 2.3 Series Resistance[Ω]: 0.06 Parallel Resistance[Ω]: 55000 Parallel Capacitance[F]: 1.8p (Series resistance defaults to 1mΩ) 1.000	Manufacturer: ΟΚ Part Number: Cancel Type: Cancel Select Capacitor Cancel Capacitor Properties Capacitance[F]: Capacitor Properties Capacitance[F]: Voltage Rating[V]: Voltage Rating[V]: BMS Current Rating[A]: Equiv. Series Resistance[Ω]: Equiv. Series Inductance[H]: Equiv. Series Inductance[F]: Equiv. Parallel Resistance[Ω]: Equiv. Parallel Capacitance[F]: Mean Time Between Failures[hr]: []
Enter new Value for R6	Enter new Value for L1	Enter new Value for Cp1
Justification OK Left Cancel	Justification OK Top Cancel Vertical Text Cancel	Justification OK Left Cancel Vertical Text Cancel



- ◆ 以下のような部品は既存データベースにもアクセスできます
 - 抵抗、コンデンサ、インダクタ、ダイオード
 - トランジスタ、MOSFET、JFET
 - 個々の電圧源および電流源







8. 文字化けへの対応



☑ Control Panel ×	
Compression 🖌 Save Defaults 🍄 SPICE TDrafting Options	この項目をチェック
Style /Convention Convert 'µ' to 'u' [*] Reverse comp. order Semiconductor Models Pefault Devices [*]	
✓ Default Libraries[*]	
[*] Setting remembered between program invocations.	
Reset to Default Values	
OK キャンセル ヘルプ	

これによって単位の文字化けが解消されます。



9. 回路のシミュレーション方法



- ◆ ツールバーの"RUN"ボタンをクリックします
- ◆ シミュレーション・コマンドのエディット・ウィンドウが現れるので、例えば停止時間を60msに設定し、"OK"をクリックします
- ◆ 出力電圧波形を表示するには、マウスで"OUT"ノードをクリックします







回路のシミュレーション方法 -つづき-



◆ 入力電圧波形を表示するにも、マウスで"IN"ノードをクリックします





回路のシミュレーション方法 -つづき-



- ◆ プロット枠を分けるためには、"Plot Settings"のプルダウン・メニューから "Add Plot Pane"を選択します
- ◆ V(in)波形のタイトルをドラッグして、新しいプロット枠に入れます

🗖 LTspice IV - RC Filter Time Domain.raw
<u>File View Plot Settings</u> Simulation Tools Window Help
◙ ☞ 🖬 ♈ ≯ ⊕ ♥ ♥ ♥ ♥ ♥ 😫 🔛 ☴ 틈 📽 ℁ 🖻 ഭ 🛤 급 🎒 ∠ 🕂 ୩
🔨 RC Filter Time Domain.asc 🔛 RC Filter Time Domain.raw
KRC Filter Time Domain.asc
PULSE(0 5 0 1u 1u 10m 20m 3)
🖾 RC Filter Time Domain.raw
V(in)
2.5V-
0.0V
2.5V-
0.0V +
Ready



step

10. 波形のビューワ



◆ LTspiceには高度な波形ビュー ワがあります

1. 単にポインタを置いてクリックするだけで、 どのワイヤの電圧でもプロットできます



電流プローブのカーソル

- 2. 部品の上をクリックするだけで、そこに流 れる電流をプロットできます
 - R, C, L
 - ネットリストのピン1からピン2にプラ
 スの電流が流れます





11. デモ回路のシミュレーション



◆ デスクトップ上の"LTspice Training Files"フォルダにあるLTC3412Aデモ 回路"LTC3412A.asc"を開いてください



◆ ツールバーの"RUN"ボタンをクリックします

- ◆ シミュレーションが開始し、波形ウィンドウが開きます
- ◆ 以降、各波形を観測していきます



デモ回路のシミュレーション -つづき-



- ◆ デモ回路にプローブを当ててみます
 - ◆ "IN"および"OUT"とラベルがあるノードをクリックして、双方の波形を表示します











- ◆ インダクタ電流波形を表示するためにはインダクタL1上でマウスをクリックします カーソルがL1上にあるとき、電流計シンボルが現れます
- ◆ 波形の拡大・縮小には、波形ウィンドウでマウスを使用します
 - 拡大したい範囲をボックスでクリックしてドラッグします
- ◆ ツールバーで"Zoom full extents"をクリックすると、元に戻ります



13. 波形の振幅および時間の測定



- 1. 測定したい範囲をボックスでドラッグします
 - をクリックしてドラッグし、そのままホールドします
- 2. ウィンドウ左下にあるステータス・バー内を見ます
 - dxおよびdyの測定データが表示されています
- 3. 元の波形に戻るには、ツールバーの"undo"ボタンをクリックします







波形の振幅および時間の測定 -つづき-



- 1. 波形ウィンドウの波形名の上で右クリックします
- 2. "Attached Cursor"で"1st & 2^{nd"}を選択します
- 3. 必要な測定をするためにカーソルで位置を合わせます。

1	→ 2. —	3 .	
✓ Linear Technology □ □ × ✓ File View Plot Settings Simulation Tools Window Help □ □ × ✓ □ ○ ○ ○ × □ ○ × ✓ □ ○ ○ ○ ○ × □ □ × ✓ □ ○ ○ ○ ○ ○ × □ □ × ✓ □ □ ○ ○ ○ ○ ○ × □ □ × □ □ × □ □ × □ □ × □ □ × □ □ × □ □ × □	Expression Editor - F(V(out)) Default Color: Attached Cursor: Inter an algebraic expression to plot: V(out) Delete this Trace	Image: Constraint of the second se	V(out) Image: Transform of the second s



14. ノード間の電圧差



- ◆ 一方のノードをクリックしてホールドし、他方のノードへマウスのカーソルを ドラッグします(最初が赤で、2番目が黒)
- ◆ 差動電圧測定が行われます







ノード間の電圧差 -つづき-



- ◆ 測定の基準ノードを決めるには、所望のノードで右クリックし、"Mark Reference"を選択します
 - ◆ 黒の電圧プローブが基準ノードとして固定されます
- ◆ 回路内の全ての測定は、そのノードを基準とするようになります









- ◆ ワイヤの電流を測定するためには、ALTキーを押しながら、所望のワイヤ 上で左クリックします
 - 電流測定を行うワイヤ上に電流計が表示されます。





16. 平均値およびRMS値の算出



- ◆ 選択したウィンドウの電流、電圧、または電力損失の平均値およびRMS値を算出します
- ◆ インダクタ電流波形を表示するためにインダクタL1上でクリックします
- ◆ 安定状態の波形を10~20サイクル、拡大して表示します
- ◆ 波形ウィンドウのI(L1)とトレース名をCTRLキー+左クリックします
 - インダクタ電流の平均値とRMS値を示す 波形のサマリ・ウィンドウが表示されます

例:

LTC3412A回路でインダクタ 電流の平均値とRMS値を算 出します

図のように波形を拡大します。





17. 瞬時および平均電力損失



- ♦ 瞬時電力損失
 - LTC3412A上でAltキー+左クリックを押し 続けます
 - 波形はW(ワット)で表示されます
- ◆ 平均電力損失
 - 安定状態の波形を表示するために波形 ウィンドウでクリックして押し続け、ドラッグ します
 - 波形枠の電力損失トレース名上でCTRL キー+左クリックします
 - ・ 波形のサマリ・ウィンドウが現れ、ICの電 力損失と電力の積分(ジュール:J)が示さ れます

例:

LTC3412Aの電力損失を測定します





18. BOM(部品表)の生成



◆ "View"メニューから"Bill of Material"を選択

"Show on Schematic"または"Paste to Clipboard"(Excelファイルに添付できます)

🗖 Linear Technology LTspice/SwitcherCAD III - [LTC3411.asc]	y LTspice/SwitcherCAD III - [LTC3411.asc]
🔨 Eile Edit Hierarchy View Simulate Tools Window Help – 🗗 >	View Simulate Tools Window Help
│ ☑ ☞ │ 🖬 │ 🍄 │ ¾ ④ │ ♥ Q Q 🎗 │ 🔛 🕾 📽 │ ံ 🗈 🛍 🛤 │ 즲 噕 │ 🧶	Ctrl+Z Ctrl+Z Q Zoom Back Ctrl+B
1 LTC3411.asc	Zoom to Eit
ar Technology Inc. All rights reserved.	Q Pan us Step-Down DC/DC Convert
Bill of Materials	✓ Show Grid Ctrl+G
Ref. Mfg. Part No. Description C1 TDK C3225X5R0J226M capacitor, 22uF, 6.3V	Mark Unconn. Pins U
C2 TDK C3225X5R0J226M capacitor, 22uF, 6.3V Cp1 capacitor, 22pF	Bill of Materials Show on Schematic Efficiency Report Paste to clipboard
Cth capacitor, 220pF Cthp capacitor, 10pF	Rt 2 SPICE Error Log
R1 resistor, 20K	20 Wisible Traces Pgood
R3 resistor, 324K R6 resistor, 10K	Marching Waves Month of the second seco
Rth resistor, 20K U1 Linear Technology LTC3411 integrated circuit	n V Status Bar e V Toolbar e Toolbar
	Window Tabs nce. This circuit is distributed
	of this circuit at the bottom of the schematic.



19. 効率と損失の算出



- ◆ スイッチング電源回路の効率を算出します
 - "Edit Simulation Command"エディタで"Stop simulating if steady state is detected"にチェックを入れ、シミュレーションを再度"Run"します



安定状態の自動検出は必ずしも正しく機能するとは限りません 安定状態検出の基準が厳し過ぎるか、甘過ぎる可能性があります



効率と損失の算出 -つづき-



- ◆ 効率レポートを作成します
 - ◆ ツールバーの"View"コマンドで"Efficiency Report"を選択します
 - "Show on Schematic"または"Paste to Clipboard"(Excelファイルに添付できます)

🛛 Linear Technology	LTspice/SwitcherCAD III - [LTC3	411.asc]											 	
K Eile Edit Liese	<u>V</u> iew <u>S</u> imulate <u>T</u> ools <u>W</u> indow <u>H</u> elp		- 8 ×			·		Efficier	ncy Repo	rt _.			 	
🖻 📽 🖬 🛜 2	€ Zoom <u>A</u> rea Ctrl+Z	E 5 5 X 6 6 A A (S 🔼			Efficiency: 8	3.1%						 	
🐛 LTC3411.asc 🔛 L	Zoom Back Ctrl+B					· · · Imput:	1·2₩@	3.31/					 	
	Q Pan		🔼			• Output:	997mW(@.999mV					 	
Efficien	✓ Show Grid Ctrl+G							.					 	
	Mark Unconn. Pins 'U'					. Ref	Irms .		. Ipeak		Dissip	ation	 	
· · · · · · Out	Mark Text Anchors 'A'					C1	0mA		0mA		. 0n	nW _	 	
 Def	Bill of <u>M</u> aterials	· · · · · · · · · · · · ·				C2 9	99mA		177mA		0n	Ŵ		
C1	Efficiency Report	Show on Schematic				Cp1	0mA		0mA		0n	ήW΄	 	
C2	SPICE Netlist	Paste to clipboard				Cth i	0mA 👘		i 0'mA		i 0n	nW '	 • •	• •
Cp1	SPICE Error Log	OmVV	· · _			Cthp 1	0mA 🕚		· 0mA	• •	· 0n	nW ·	 	• •
· · · · · · Cthp	🞬 <u>V</u> isible Traces	• • • 0mW • • • • • • •				· L1 · · 100)3mA 🐳		1176mA		- 60m	W ·	 	
· · · · · L1 · · P1	Autorange <u>Y</u> -axis	60mW	• •			. R1	0mA .		. 0mA		. 2u	W .	 	
	Marching <u>W</u> aves	8uW	=			. R2	0mA		, 0mA		. 8u	W.	 	
	Set Probe Reference	2uW				R3	0mA		0mA		2u	W		
Ro. Rth	✓ Status Bar	0uvv 0uVV			•	R6	0mA		0mA		0u	ŵ .	 • •	
1. 1. 1. 1. 1 . U1 . 1.	▼ <u>T</u> oolbar	142mW	· ·	•	•	Rth	0mA i		0 mA	• •	. Du	Ŵ	 • •	• •
	I✓ Window Tabs		~	•	•	U1 100)3mA		1176mA		'142m	W ·	 	
<			2											
Print the efficiency report at	the bottom of the schematic													



20. 過渡応答のシミュレーション



- ◆ 抵抗負荷または電流負荷でシミュレーションが出来ます
- ◆ 特に、過渡応答および制御ループ安定度の解析には電流負荷のパルス機能が有用です
 - ある値から他の値へ電流負荷をステップします

🖸 Linear Technology LTspice/SwitcherCAD III - [LTC3411.asc]	🗖 Linear Technology LTspice/SwitcherCAD III - [3411.raw]
🔨 Elle Edit Hjerarchy Vjew Simulate Tools Window Help 🛛 🗕 🛪	🔛 Elle View Plot Settings Simulation Tools Window Help 🛛 – 🗗 🗙
│፼፼∥∎│╦│¾⊕│€़Q< <u>२</u> │陰╚│⊒ ⋷ ड∥ँँы∎⋷ぬ│₫⊜│८→@२÷३文	▏፼፼ਗ਼ਸ਼ੑਖ਼ੑਗ਼ੑਖ਼ੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑੑ
🔨 LTC3411.asc 🔛 LTC3411.raw	🔣 3411.asc 🔛 3411.raw
	1.02A-, [[1]
ошт	0.96A-
	0.90A-
R1 Cp1 C2	
	0.84A-
22p 22u PULSE(.5 1 0.7m 100n 100n 0.1m 0.2m 1)	0.78A-
	0.724
R2	0.7 <i>L</i> A
80 6K	0.66A-
oo.or	0.60A-
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	0.54A-
	0.48A-
	0.42A+
	x = 670.90µs y = 1.0490A



過渡応答のシミュレーション -つづき-



- ◆ DC電流負荷をパルス負荷に変更します
 - ◆ LTC3412Aのシミュレーションでは、電流負荷を右クリックします
 - ◆ "Pulse"を選択し、以下のように属性を変更して、"OK"をクリックします

Independent Current	Source - I1
Functions	
O (none)	DC value: 3
PULSE(I1 I2 Tdelay Trise Tfall Ton Period	Ncycles) Make this information visible on schematic:
O SINE (loffset lamp Freg Td Theta Phi Novo	
O EXP(I1 I2 Td1 Tau1 Td2 Tau2)	Small signal AC analysis(.AC)
SFFM(loff lamp Fcar MDI Fsig)	AC Amplitude:
O PWL(t1 i1 t2 i2)	AC Phase
○ TABLE(v1 i1 v2 i2)	Make this information visible on schematic:
I1[A]: 1	
12[A]: 3	Parasitic Properties
Tdelay[s]: 1.4	4m This is an active load: 🔽
Trise[s]: 1u	
Tfall(s): 1u	Make this information visible on schematic: 🗹
Ton[s]: 10	
Tperiod[s]: 20	
Neucles: 2	
Additional PWL P	
	Lancel



過渡応答のシミュレーション -つづき-



- ◆ シミュレーションを"Run"しま
 す
- ◆ Voutを表示するためにOUT ノードをクリックします
- ◆ loutを表示するために電流負 荷をクリックします
- ◆ パルス負荷があることを確認 してください





21. AC解析



- ◆ DC動作点の周辺で線形の小信号AC解析を行います
- ◆ フィルタ、ネットワーク、安定度の解析、およびノイズの検討などに有用です
 - ◆ RCネットワークによる1ポールのフィルタを例に取ります

Syntax: .ac <oct, dec, lin> <Nsteps> <StartFreq> <EndFreq> 今回、10mHz~1MHzまで、10倍毎に100ポイントで掃引します





AC解析 -つづき-







22. 他社SPICEモデルのインポート



- 1. 他社WEBサイトからSPICEモデルのファイルをダウンロードします
- 2. そのファイルがLTspiceシミュレーション・ファイルと同じディレクトリにある ことを確認します
- 3. 次のSPICE命令をLTspiceシミュレーション・ファイルに追加します

(ツールバーの"EDIT"から"SPICE Directive"を選択して以下を入力) .include spice_model_file_name.abc

4. SPICEモデルのファイルに含まれるモデル名と一致するように、LTspice 回路の部品名を変更します(デバイス名の上で右クリックして変更)

<u>注意:</u>

SPICEモデル・ファイルの内容は、SPICE命令として回路上に貼り付けできます

この時、".include"SPICE命令は不要で、SPICEモデルのファイルも不要です。



他社SPICEモデルのインポート -つづき-



次の点にご留意下さい

1. ".include"記述内のファイル名は、SPICEモデルのファイル名 と同じにしてください

ファイル名の文法は自由ですが、全ての文字が一致していることを確かめてください

2. SPICEモデル内のモデル名は、LTspice回路内のデバイス名と 同じにしてください

モデル名の文法は自由ですが、全ての文字が一致していることを確かめてください



他社SPICEモデルのインポート -つづき-



<u>Spiceモデル1</u>	<pre>IN5244B.mod - Notepad File Edit Format View Help * 1N5244B Zener Diode *</pre>	ファイル名 = 1N5244B.mod モデル名 = 1N5244B1
<u>Spiceモデル2</u>	<pre>Joe.txt - Notepad File Edit Format View Help * 1N5244B Zener Diode * .MODEL Everest 0 + IS = 7.02E=10 + RS = 0.3182 + N = 1.69</pre>	→ ファイル名 = Joe.txt → モデル名 = Everest
	+ XTI = 3.0 + EG = 1.11 + CJO = 4.582E-11 + M = 0.3377 + VJ = 2.983 + FC = 0.5 + ISR = 10E-21 + NR = 3.907 + BV = 14.00 + IBV = 0.001	<u>まとめ</u> : ファイル名とモデル名は無関係です LTspiceシミュレーションのデバイス名と ".include"ファイル名が、SPICEモデルのファ イル名と一致していることを確認してください







<u>演習:</u>

- 1. LTSpiceトレーニング・ファイルがある フォルダに移ります
- "Zener Import Example.asc"と記載 されたシミュレーション・ファイルを開 きます
- "1N5244B.mod"と記載されたSPICE
 モデル・ファイルを開き、デバイス・
 モデル名を確認します
- シミュレーション・ファイルを変更し、 前の頁で示した命令に沿って他社 1N5244BのSPICEモデルを使用しま す
- 5. シミュレーションを行い、INおよび OUTのノードにプローブを当てます







他社SPICEモデルのインポート -つづき-



<u>回答:</u>

- SPICEモデル・ファイル内のモデル 名と一致するようにツェナー名を 1N5244B1に変更します(ダイオード 名のテキスト上で右クリック)
- SPICEモデル・ファイルにリンクする ために".include"SPICE命令を追加 ("Edit"プルダウン・メニューから "Spice Directive"でこのSPICE命令 を追加)
- 3. ツールバーで"Run"した後、INおよ びOUTのノードにプローブを当てま す





23. その他のヒント



外部制御電圧源/電流源













電圧/電流制御スイッチ

◆ 短絡回路の例







電圧/電流制御スイッチ -つづき-



◆ スイッチのパラメタ

Voltage Controlled Switch Model Parameters

Name	Description	Units	Default
Vt	Threshold voltage	v	Ο.
Vh	Hysteresis voltage	v	Ο.
Ron	On resistance	Ω	1.
Roff	Off resistance	Ω	1/Gmin
Lser	Series inductance	Н	Ο.
Vser	Series voltage	v	Ο.
Ilimit	Current limit	А	Infin.



ビヘイビアソース



こんな波形を作りたい。さあどうする?





ビヘイビアソース





.tran 3m





Measurement機能





高速化のコツ



◆ 初期状態

- 初期状態を設定するには、SPICE命令の".ic"を使用します
 - ◆出力が12Vになる場合には、その付近から始めます
 - 同様に、他のノードを初期状態に設定することも時には有用です。

例:スイッチング電源のVcピンの初期状態を有意な安定状態の値にします



高速化のコツ -つづき-



- ◆ パルス電流負荷を使用して負荷を遅らせます
 - ・ 起動時に負荷がなければ、負荷を最終値する時間を短くできます(全エネルギーが出力コンデンサに向かいます)
 - 負荷をオンする3msの時に屈曲があります









高速化のコツ -つづき-



◆ 一般にコンデンサで構成されるソフトスタートを取り除く

ソフトスタートあり

ソフトスタートなし



1778 Soft start example.asc





高速化のコツ -つづき-



"Time to start saving data"

 指定した時刻までデータをセーブしないようにLTspiceを設定します (メモリやハードディスクへのセーブ内容を減らして高速化)

"Time to start saving data"で設定した時刻以前の波形はセーブされずに破棄されるので、見ることがきません。

 例:10msの過渡応答解析で最後の1msのデータだけをセーブすると、32秒 を27秒に短縮できます(パソコンの性能によります)









高速化のコツ -つづき-



- ◆ 必要トレースのみをセーブするにはSPICE命令".save"を使用します
- ◆ Voutのみをセーブする場合、前頁のシミュレーションを26秒に短縮 できました
- ◆ ただし、セーブしたノードの波形のみを見ることができます





