

**TOOL**  
ツール活用シリーズ



実波形を  
忠実に  
再現できる!

定番回路シミュレータ

# LTspice

## 部品モデル作成術

コンデンサ/トランジスタ/トランス/モータ/真空管…どんな部品もOK!

堀米 毅 著

*Tsuyoshi Horigome*

見本



CD-ROMの  
コンテンツ

CD-ROM付き

定番電子回路シミュレータ  
LTspice本体

すぐにシミュレーションを始められます

チューン済み! 20タイプ以上!  
電子部品モデル約150点

トランジスタ2SC1815/2SA1015,  
MOSFET TCP8014, 真空管300Bなど

記事で解説している  
部品&回路ファイル

自分で部品モデルを作成する  
ときのひな形に使えます

CQ出版社

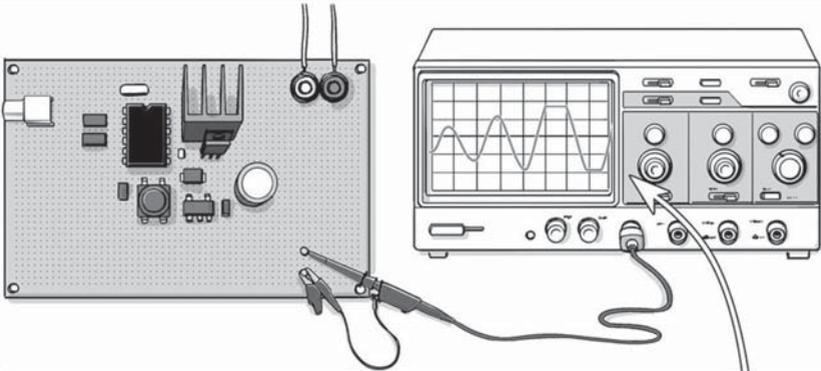
## イントロダクション

ちゃんとした部品モデルさえあれば…

**こんなにいいものありません！**

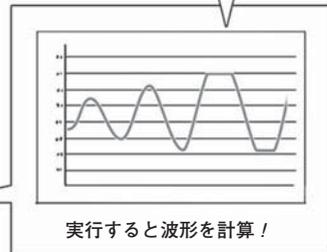
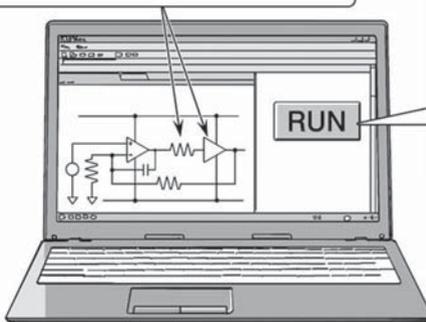
**「電子回路シミュレーション」**

### 電子回路シミュレーションとは



**電子回路を作らなくてもふるまいがパソコン上でパッとわかる！**

電子回路や半導体の電気的特性を表す等価回路やテーブルを「部品モデル」と言います

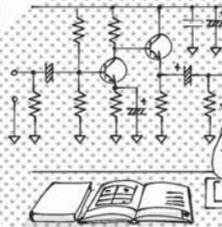


before

# 作り直しの連鎖地獄に！

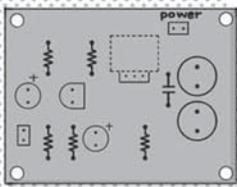
START

部品選定&  
回路設計

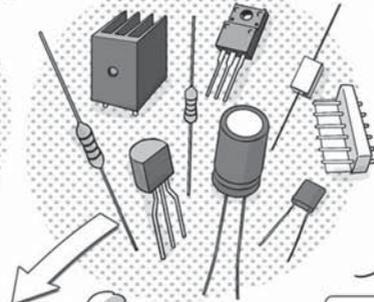


また作り直し  
2週間……

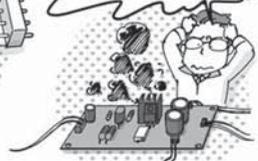
基板の設計&製造



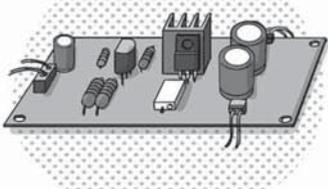
部品の発注



一発でできない!  
お金も時間も  
かかる

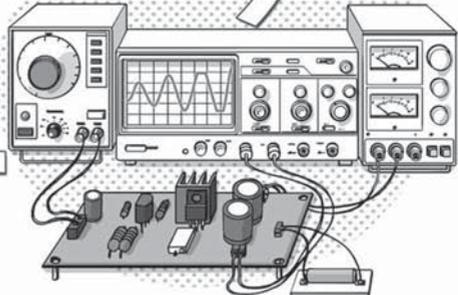


実装



動かない!  
性能が出ない!  
壊れた!

実験



GOAL!  
完成!

ちゃんと  
動けば完成!

一発でできる人はこれでOK……

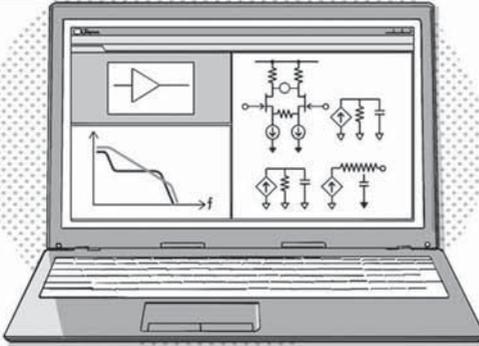
after

# 一発で試作が終わることも！

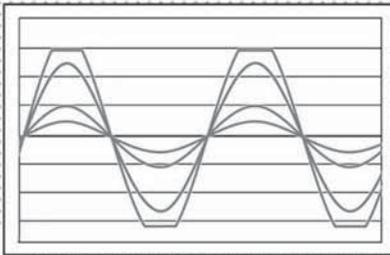
START

部品選定 &  
回路設計

必要に応じて  
部品モデルを  
作成 & 登録

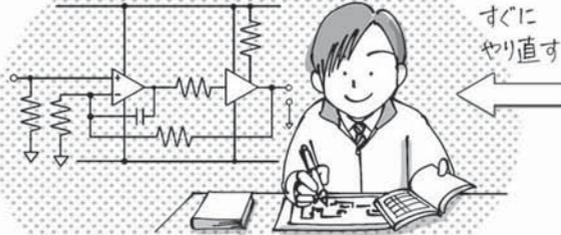


RUN



GOAL!

ちゃんと動けば  
基板と部品をゲットして  
実験で確認！



お金も時間も  
かからない！  
しかも安全！

でも！

動かない！  
性能が出ない！

電子回路シミュレーションの問題…部品モデルが揃わない!

たった1個でも部品モデルが欠けていると  
計算できない!

部品表

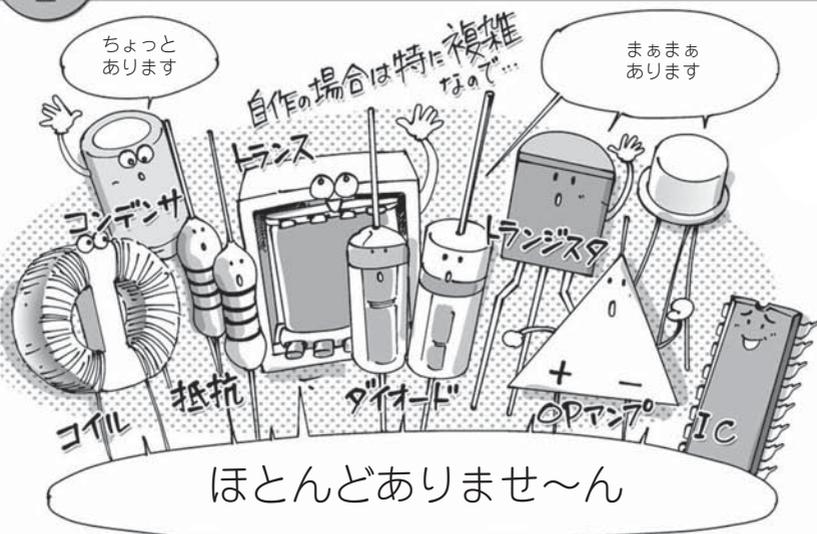
参照番号	値	部品モデル
IC1	LT1056	○
IC2	LT1931	○
L1	10u	○
R1,R3	1k	○
R2	1M	○
R4	10k	○
R5	82k	○
C1,C2	22p	○
C3,C4,C6	10u	○
C5	1u	x
D1	CMS10	○

ERROR!!



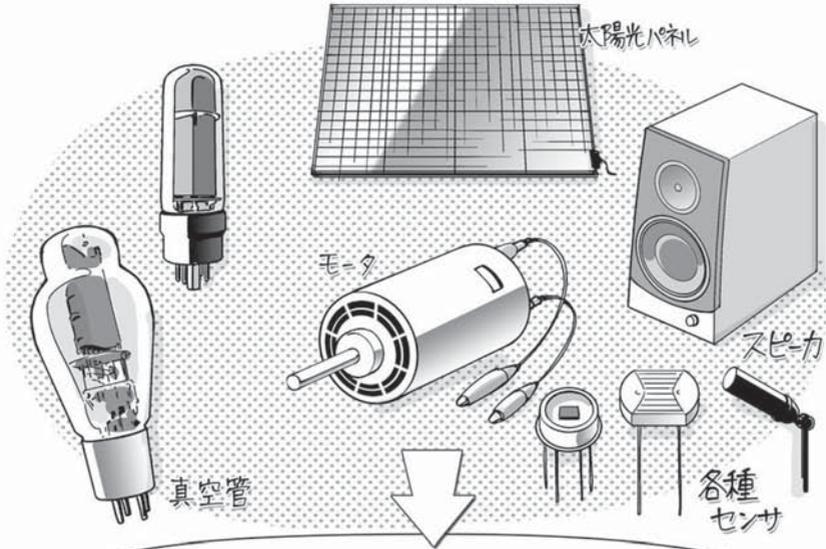
原因  
1

そもそもICや部品のモデルがない



原因  
2

今どきの部品モデルはもっていない



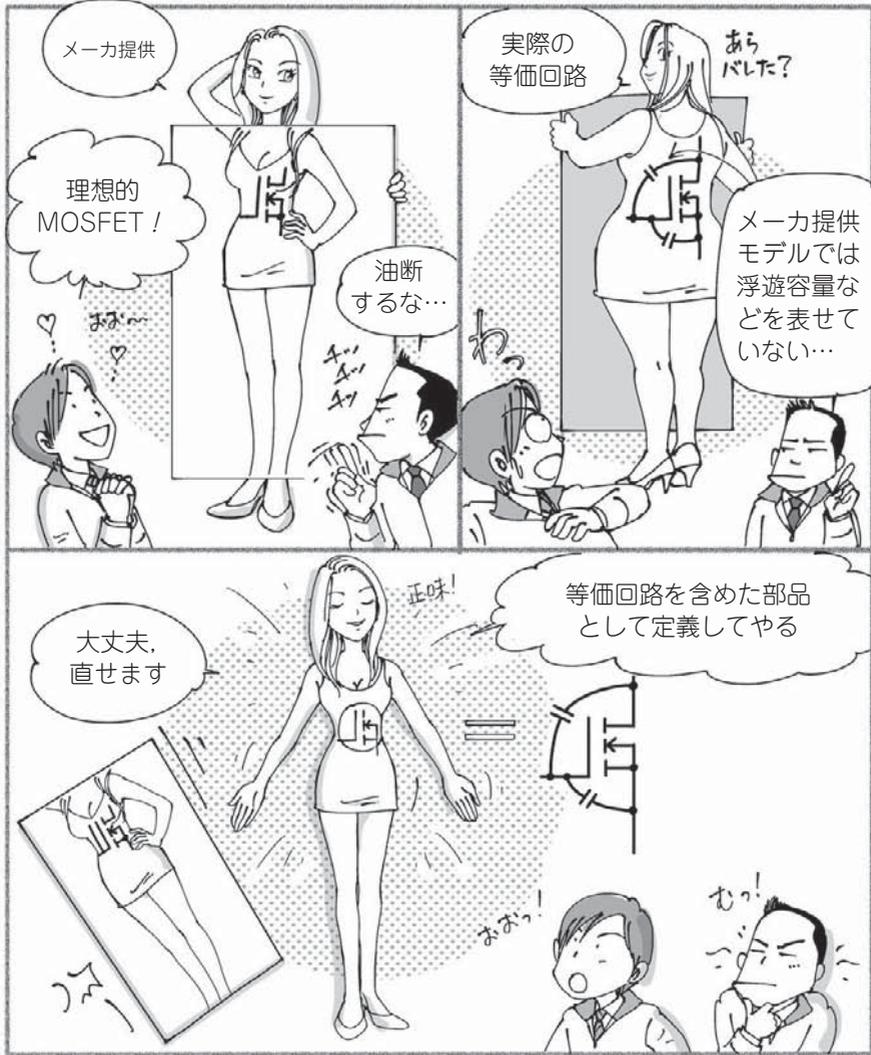
部品モデルは作れる！



部品モデルを自作できるとさらに嬉しいことに…

知らんと思うけど

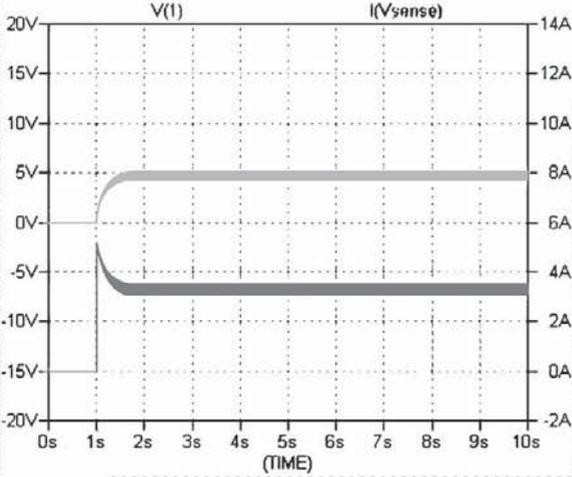
## 実は提供されている 部品モデルも不完全！



ちゃんと  
やると

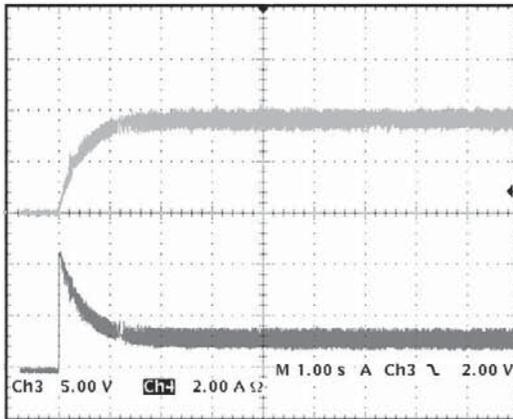
## 実機のふるまいをかなり再現できる

### シミュレーション波形



ちょっとしたパラメータの  
違いで現れなくなる現象も  
ちゃんと再現！

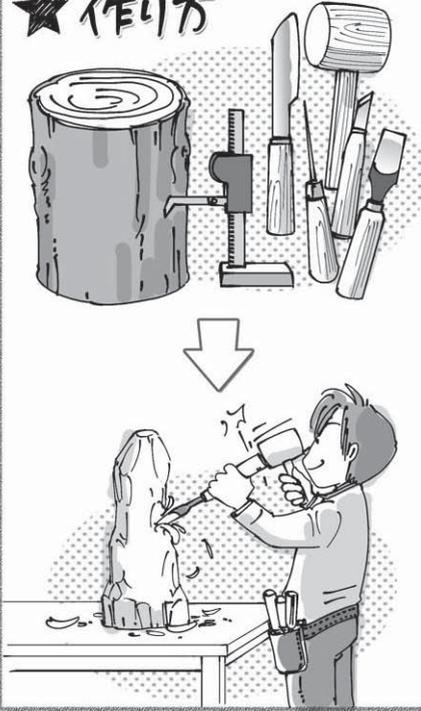
### 実測波形



欲しい部品モデルの…

解説！

★作り方



★チューニングの仕方



考え方はどんなSPICE  
でも同じやけど、

LTspiceで解説！

なんせ  
タダ!!

機能制限も  
な〜い!

なる  
ほど〜



# 付属 CD-ROM の収録内容

Windows XP/Vista/7/8で動作を確認しています。

CD-ROMを開いたとき表示される画面を図1に示します。付属CD-ROMには以下の三つが収録されています。

- 電子回路シミュレータ LTspice (リニアテクノロジー社)
- 150種類以上の部品モデル
- 本書で解説しているシミュレーションのファイル

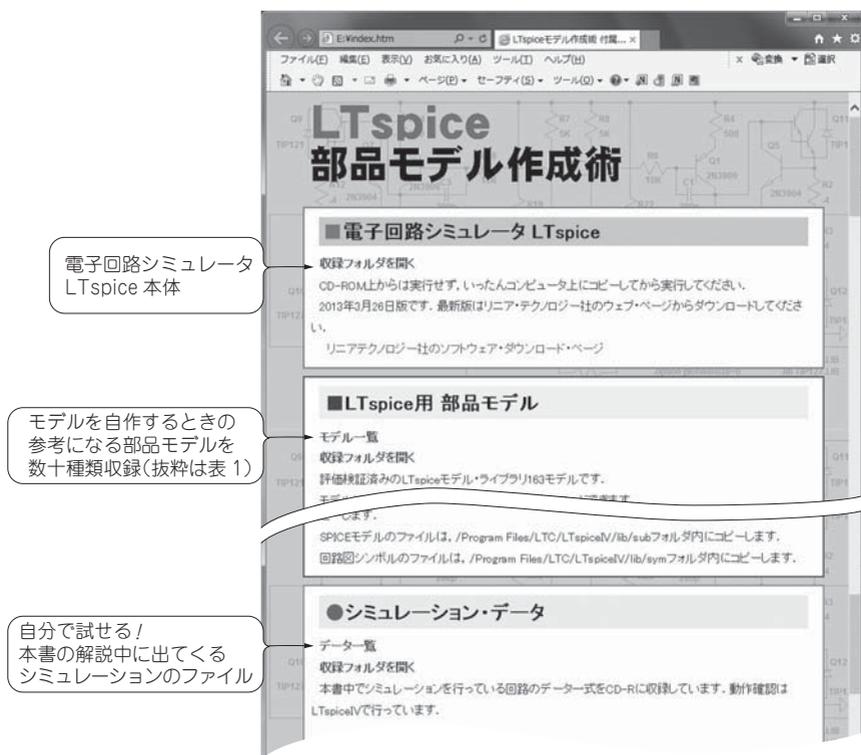


図1 CD-ROMのトップ・ページ(index.htm)

## ● 150種類以上の部品モデル

自分でモデルを作成するときの参考になるように、さまざまな部品のモデルを収録しています。収録したモデルの一部を表1(pp.14-15)に示します。

図1の「モデル一覧」をクリックして表示される画面を図2に示します。部品モデルは、図3に示すように、3種類のファイルをまとめたzipファイルになっています。評価レポートには、データシートや実測の特性とどの程度一致しているかをまとめてあります。

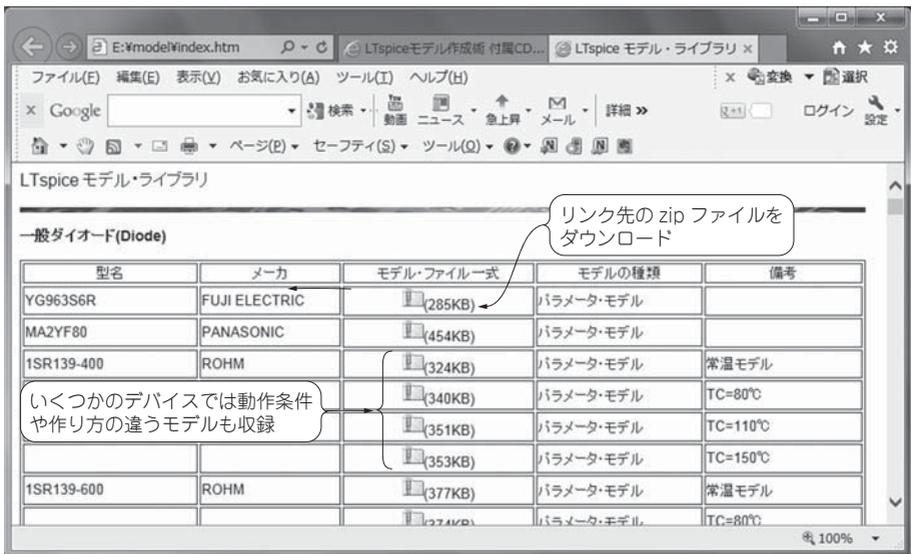


図2 CD-ROMにあるLTSpiceの部品モデル一覧のページ

モデル・ファイル一式がまとめられたzipファイルがダウンロードできる

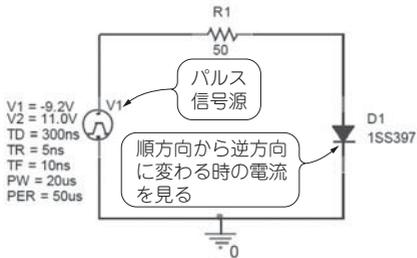


図3 モデル・ファイル一式の中身

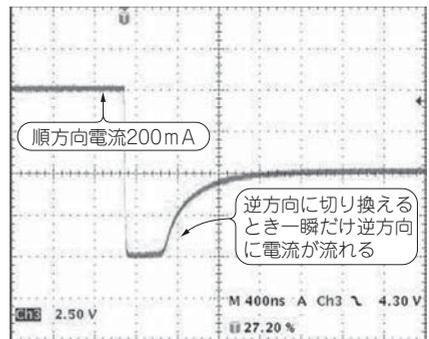
▶複数のモデルを収録しているデバイスもある

いくつかのデバイスでは、モデルを複数収録しています。

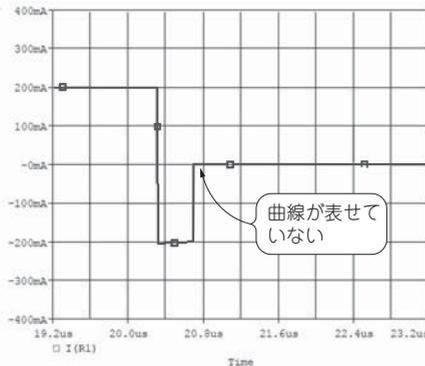
例えば小信号ダイオード1SS397は、パラメータ・モデルと等価回路モデルの両方を収録しています。この二つのモデルは、図4に示すように、逆回復特性の再現性が異なります。等価回路モデルのほうが、実測特性をよく再現しています。ただし、等価回路モデルは作成がかなり難しくなります。



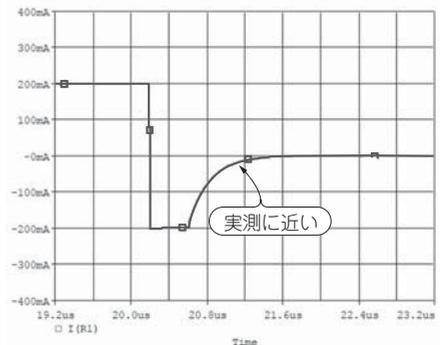
(a) 逆回復特性の測定回路



(b) 実測した逆回復特性



(c) パラメータ・モデルの逆回復特性



(d) 等価回路モデルの逆回復特性

図4 再現性などが異なる複数のモデルを収録しているデバイスもある

小信号ダイオード1SS397の例。等価回路モデルのほうが再現性は良い。しかしパラメータ・モデルのほうが作りやすい

表1 付属CD-ROMに収録しているLTspice用部品モデル(抜粋)

すべて評価レポート付きなので、どの程度の精度があるモデルなのかを確認して使える

部品の種類	型名	メーカー	モデルの種類	
小信号スイッチング・ダイオード	1SS187	東芝	パラメータ・モデル	
	1SS250		パラメータ・モデル	
	1SS272		パラメータ・モデル	
	1SS370		パラメータ・モデル	
	1SS397		パラメータ・モデル 等価回路モデル(逆回復特性に再現性がある)	
	1SS400	ローム	パラメータ・モデル	
整流用ダイオード	1SR139-600	ローム	パラメータ・モデル パラメータ・モデル( $T_C=80^\circ\text{C}$ ) パラメータ・モデル( $T_C=110^\circ\text{C}$ ) パラメータ・モデル( $T_C=150^\circ\text{C}$ )	
			1SR153-400	パラメータ・モデル パラメータ・モデル( $T_C=80^\circ\text{C}$ ) パラメータ・モデル( $T_C=110^\circ\text{C}$ ) パラメータ・モデル( $T_C=150^\circ\text{C}$ )
				1SR154-400
	FML-G14S	サンケン電気		
	D1NL20U	新電元工業	パラメータ・モデル	
	D3SB80		パラメータ・モデル	
	S3K60		パラメータ・モデル	
	S3L60		パラメータ・モデル	
	20GL2C41A	東芝	パラメータ・モデル パラメータ・モデル( $T_C=80^\circ\text{C}$ ) パラメータ・モデル( $T_C=110^\circ\text{C}$ ) パラメータ・モデル( $T_C=150^\circ\text{C}$ )	
			1DQ06	日本インター
ショットキー・バリア・ダイオード	1N5822	PANJIT	パラメータ・モデル	
	CRS04	東芝	パラメータ・モデル	
	SiC ショットキー・バリア・ダイオード	SCS110AG	ローム	パラメータ・モデル 等価回路モデル(逆特性の再現性が向上)
CSD01060A		CREE	等価回路モデル	
C4D30120D			等価回路モデル	
ツェナー・ダイオード	1N4760A	オン・セミコンダクター	等価回路モデル	
レーザー・ダイオード	SLD323V	SONY	等価回路モデル	
発光ダイオード	OSM57LZ161D	OptoSupply	パラメータ・モデル	
フォトカプラ	TLP350	東芝	等価回路モデル	

部品の種類	型名	メーカ	モデルの種類
Junction FET	2N4416	VISHAY SILICONIX	パラメータ・モデル
MOSFET	MTM23223	パナソニック	パラメータ・モデル
	TPC8014	東芝	パラメータ・モデル 等価回路モデル(プロフェッショナル・モデル)
トランジスタ	2SA1015	東芝	パラメータ・モデル
	2SC1815		パラメータ・モデル
IGBT	GT15M321	東芝	IGBT：MOSFET+BJT型モデル 内蔵寄生ダイオード：パラメータ・モデル、 等価回路モデル、電流減少率モデル
ボルテージ・レギュレータ	uPC7893A	ルネサスエレクトロニクス	等価回路モデル
シャント・レギュレータ	AN1431T	パナソニック	等価回路モデル
サイダック／トリガ・ダイオード	K1V14	新電元工業	等価回路モデル
ZNR／サージ・アブソーバ	ERZV05D391	パナソニック	等価回路モデル
デジタル・トランジスタ／BRT	DTA123EE	ローム	等価回路モデル
	RN1418	東芝	等価回路モデル
電解コンデンサ	C10UF16V	エルナー	等価回路モデル
	C22U50V	HER-MEI	等価回路モデル
	EEUFM1E821L	パナソニック	等価回路モデル
セラミック・コンデンサ	DE1E3KX332MA5B	村田製作所	等価回路モデル
コイル	L7447140	Würth Elektronik	等価回路モデル
DC モータ	RS-540SH	マブチモーター	等価回路モデル
スイッチング電源用トランス	T1-100LB	Siam Bee Technologies	等価回路モデル
太陽電池	FPV2090SFM1	富士電機	等価回路モデル
	FMS-200	福島ソーラー	等価回路モデル
	HEM115PA	HONDA	等価回路モデル
	PV-MX185H	三菱電機	等価回路モデル
	HIP-200BK5	パナソニック	等価回路モデル
	ND-165AA	シャープ	等価回路モデル
真空管	12AX7	GENERAL ELECTRIC	等価回路モデル
	6V6		等価回路モデル
	300B	Western Electric	等価回路モデル

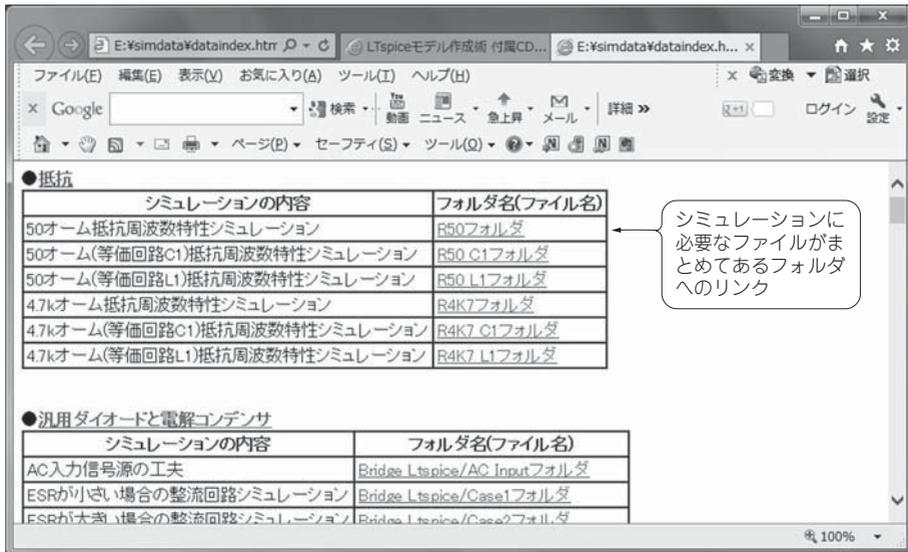


図5 CD-ROMにあるシミュレーション・データ一覧のページ  
シミュレーションごとに必要なファイルがフォルダにまとめられている

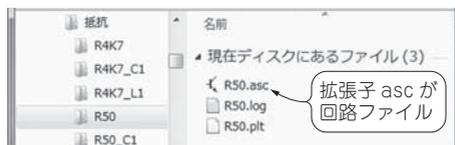


図6 シミュレーションごとのフォルダの中身  
ファイルをすべてコンピュータ上にコピーして使う

### ● 本書で解説しているシミュレーションのファイル

本書では、最終的にモデルを作り上げるまでに、さまざまなシミュレーションを行っています。それらをすぐに実行できるファイルを取録しています。

図1の「データ一覧」をクリックして表示される画面を図5に示します。部品ごと(章ごと)に分けてあります。

フォルダに収録されているデータの例を図6に示します。

## 第 1 章

これが定番！

# 無償の電子回路シミュレータ LTspice

## 1-1——LTspice の特徴

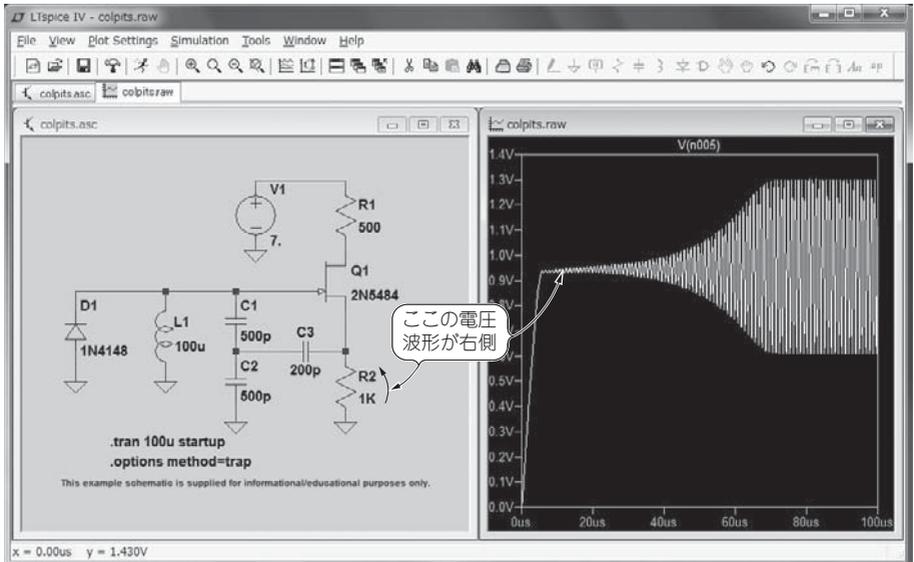


図 1-1 機能や素子数の制限なし！ 無償の電子回路シミュレータ LTspice

回路図を描き、その回路が動作したときの理論上の電圧や電流をみることができる。半導体メーカーのリニアテクノロジー社が提供

### ■ 最大の特徴！ 無償で素子数や機能の制限がない！

LTspice(図 1-1)は、半導体メーカーのリニアテクノロジー社が提供している無償の電子回路シミュレータです。フル装備の回路シミュレータであり、実務で十分に活用できます。

## 第2章

# まずやってみよう！ 電子回路シミュレーション

### 2-1——交流電源から DC 電圧を作る電源回路をシミュレーション

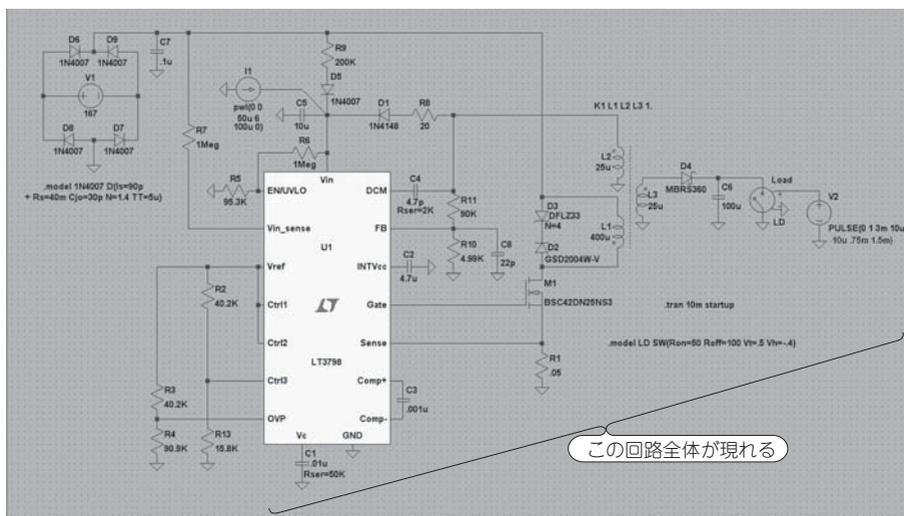


図2-1 試してみるサンプルのシミュレーション回路

スイッチング電源のコントロールIC LT3798の呼び出し画面で[Open this macromodel's test fixture]ボタンをクリックするとサンプル回路が開く

LTspiceには、リニアテクノロジー社のICとそのアプリケーション回路が多数収録されているので、それら呼び出せば、すぐにシミュレーションできます。

ここでは例として、スイッチング電源のコントロールIC LT3798<sup>※1</sup>(リニアテクノロジー

注1：LT3798は、最近の交流電源で必要なことが増えているアクティブ力率補正(PFC)機能を備えた、絶縁型フライバック電源コントローラです。コンバータに出力電圧を帰還するのにフォトカプラが不要で、部品点数を減らせます。LED照明などに応用できるよう、定電圧、定電流どちらの制御も可能になっています。

## 第3章

# 部品モデルに必要なこと

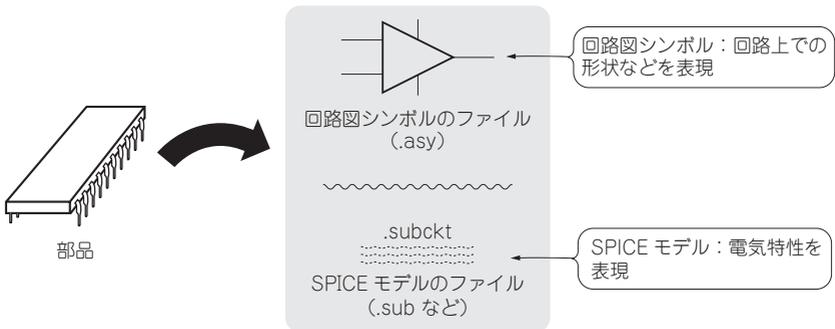


図3-1 LTspiceで使う部品には二つのファイルが必要

### 3-1——部品モデルを使えるようにするには

LTspiceを活用するには、LTspiceに標準装備されている部品モデルだけでなく、外部で入手した部品モデルを取り込んだり、自分で作成したモデルを取り込んだりして、活用できる環境作りが大切です。

#### ● 自分で使う部品のモデルは自分で用意する

LTspiceを活用するには、自分に必要な部品のモデルを揃えなければなりません。リニアテクノロジー製品の部品のモデルは充実していますが、その他の部品のモデルはほとんどありません。自分がよく使う部品のモデルをLTspiceに取り込んで、自分の最適な環境を構築していきましょう。

## 第4章

# SPICE モデルその 1： パラメータ・モデル

部品のモデルは、回路図シンボルと SPICE モデルで構成されます。このうち SPICE モデルは大きく分類すると、パラメータ・モデルと等価回路モデルの2種類があります。この章では、SPICE モデルがパラメータ・モデルの場合について LTspice への取り込み方を解説します。

## 4-1——だいたいの動作を把握するには十分！パラメータ・モデル

### ● SPICE モデルは2種類ある

SPICE モデルを分類すると2種類あります。パラメータ・モデルと等価回路モデルです。パラメータ・モデルは、モデル・パラメータのみで表現されている SPICE モデルです。等価回路モデルは、名前の通り、電子部品が何らかの等価回路で表現されています。これらは、SPICE モデルのネットリストの最初の行で判断できます。

- パラメータ・モデルの場合  
ネットリストの表記が.model で始まる
- 等価回路モデルの場合  
ネットリストの表記が.subckt で始まる

### ● パラメータ・モデルで表現できる部品

パラメータ・モデルで表現できる代表的な部品は、次の通りです。

ダイオード(.model D)  
トランジスタ(.model Q)  
ジャンクションFET(.model J)  
MOSFET(.model M)

## 第5章

# SPICE モデルその2： 等価回路モデル

部品モデルは回路図シンボルと SPICE モデルで構成され、このうち SPICE モデルは大きく分類すると、パラメータ・モデルと等価回路モデルの2種類があります。本章では、SPICE モデルが等価回路モデルの場合の LTspice への取り込み方を解説します。

## 5-1—すべての部品が表せる！等価回路モデル

### ● 等価回路モデルとは実際にどういうものか

等価回路モデルの場合、SPICE モデルのネットリストでは、最初の行のはじまりが、`.subckt` になります。等価回路モデルは、パラメータ・モデルだけでは表現できない電子部品を等価回路で表現している SPICE モデルのことをいいます。等価回路モデルは主に二つのモデルから構成されます。

- ・素子モデル(ダイオード, トランジスタ, MOSFET, 抵抗, コンデンサ, コイルなど)
- ・SPICE の標準ライブラリの中にあるアナログ・ビヘイビア・モデル

この二つを使ってほぼすべての部品の等価回路を表現します(Appendix 参照)。

### ● 回路図シンボル・ファイルと SPICE モデルの関係

部品モデルは、二つのファイルで構成されています。回路図シンボルのファイルと SPICE モデルのファイルです。これらの二つのファイルは関連付けられなければなりません。

ウェブなどで部品のモデルを入手した場合、SPICE モデルと回路図シンボルのファイルの関係は、大きくすると三つのケースがあります。それぞれについての等価回路モデルを作成する場合のポイントを解説します。自分で SPICE モデルを作成した場合はケース2

## 第6章

# 従来の PSpice モデルを LTspice モデルに置き換える方法

LTspiceには、リニアテクノロジー製品の部品モデルは数多く標準装備されていますが、回路を設計する場合、半導体部品だけではなく、受動部品、バッテリー、センサ、モータなどの部品モデルが必要になることもあります。リニアテクノロジーの製品だけでは回路設計ができません。ほかのSPICEモデルも用意しないとけません。

世の中で流通しているSPICEモデルは、現状PSpiceモデルが主流であり、LTspiceで使いたいときは取り込まないとけません。

## 6-1—LTspice は PSpice 用モデルをかなりそのまま使える

### ● LTspice と PSpice の相性はとても良い

他のSPICE系電子回路シミュレータと比較すると、LTspiceはPSpiceとの相性が非常に良く、回路図シンボルはLTspice用に自作する必要はあっても、修正なしで使用できるモデルがたくさんあります。LTspiceは、PSpiceのSPICEモデルの資産も継承できるプラットフォームであり、世界中の回路設計者が使用しています。

ただし、LTspiceで使用できないPSpiceモデルや、修正を加える必要があるPSpiceモデルもあります。

## 6-2—LTspice では使用できない PSpice モデル

### ● その1…PSpiceのデジタル素子ライブラリが使われているモデル

PSpiceは、独自にデジタル素子ライブラリを充実させています。そのため、デジタルICのSPICEモデルはPSpiceのデジタル素子で表現されているものが多くあります。そのようなモデルは、LTspiceだけでなく、PSpice以外のSPICE電子回路シミュレー

## 第7章

# 部品：抵抗

# 再現：インピーダンス

# 特性



## 7-1——抵抗の等価回路モデル

## ● 2種類がよく使う抵抗器を例にモデルを作成してみる

抵抗器には色々な種類があります。代表的な例として、次の2種類の抵抗について、SPICEモデルを作成してみます。

(1)カーボン皮膜抵抗[写真7-1(a)]：4.7k $\Omega$

(2)セメント抵抗[写真7-1(b)]：50 $\Omega$  5W

カーボン抵抗は、電子工作で良く使用される種類の抵抗です。安価ですが、温度係数が大きいのが弱点です。E12, E24などの規格にそって幅広い抵抗値があります。

セメント抵抗は、巻き線型抵抗や酸化金属皮膜抵抗などを耐熱性に優れたセメントで固めた抵抗です。用途は、大電力用であり、大きな電流が流れる場合に使用されます。弱点は、インダクタンス成分が大きく、高周波用の回路には使用できないことです。

## ● 回路が動作する周波数が高くなると寄生成分を考慮する必要がある

回路解析シミュレーションでは抵抗は通常、抵抗のシンボル図を表示させ、値に抵抗値を入力します。しかし、高周波領域でシミュレーションをする場合、抵抗といえども、寄生素子を考慮した周波数特性モデルを採用する必要があります。



(a) カーボン皮膜抵抗



(b) セメント抵抗

写真7-1 抵抗のSPICEモデルを作成してみる

## 第8章

# 部品：汎用ダイオード

## 応用：整流回路



本章からは、実際に回路を組んで測定した実測データと、シミュレーション結果のデータを比較していくことにします。正しくモデルを作成すれば、シミュレーションでも実測に近いデータが得られることを確認できます。まずは、半導体モデルの中で最も簡単なモデルである汎用ダイオードのモデルを作成してみます。題材は整流回路(電源回路)です。

### 8-1——汎用ダイオード・モデルを作成して整流回路を再現

#### ● 回路と再現する波形

本章では、整流回路の実機の動作をシミュレーションで再現します。整流回路を図8-1に示します。トランスで、入力AC220Vから出力AC16Vに降圧し、整流ダイオードで整流し、 $C_1$ 、 $C_2$ の電解コンデンサで平滑化しています。オシロスコープで観察した実機の電圧および電流波形を図8-2(a)に示します。

#### ● デフォルトのSPICEモデルを安易に使うと実機のふるまいを再現できない

今回採用した整流ダイオードは1SR139-400(ROOM)です。正確にモデリングしたSPICEモデルを使ってLTspiceでシミュレーションした結果を図8-2(b)に示します。1SR139-400のSPICEモデルは提供されていないので、LTspiceでデフォルトとして用意されているダイオードのモデルを使用した場合のシミュレーション結果を図8-2(c)に示します。

SPICEモデルがないからといって回路シミュレータに標準でついてくるダイオード・モデルを安易に採用すると、実機とシミュレーション結果が合いません。その型名にあったSPICEモデルを使う必要があります。

## 第9章

# 部品：電解コンデンサ 応用：整流 / 電源回路



本章では、整流/電源回路で使う電解コンデンサのSPICEモデルの作成&チューニング方法を解説します。電解コンデンサのSPICEモデル作成法を把握できれば、より作成しやすいセラミック・コンデンサやフィルム・コンデンサのSPICEモデルも作れるようになります。

半導体だけでなく、受動部品にも、再現性のある等価回路モデルを採用することで、実機に近いふるまいを再現できます。

### 9-1——電解コンデンサのモデルを改良して整流回路のリプル波形を再現

#### ● シミュレーションする回路と再現対象

シミュレーションする整流回路を図9-1に示します。回路図上は、ダイオードのモデルを作成した前章と同じです。

入力のAC220VからトランスでAC16Vに降圧、4本の汎用整流ダイオード( $D_1 \sim D_4$ )で整流し、 $C_1$ 、 $C_2$ の電解コンデンサで平滑化します。その時の出力波形にはリプルが出現します。

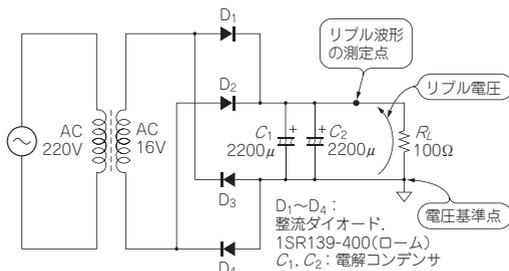
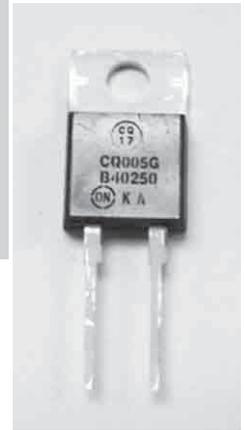


図9-1 解析する整流回路

## 第10章

# 部品：ショットキー・ バリア・ダイオード 応用：誘導負荷の 駆動回路



本章では、ショットキー・バリア・ダイオード(SBD)のSPICEモデルの作成&チューニング方法について紹介します。第8章の汎用ダイオードと比べると、バリア金属のエネルギーギャップ・パラメータEGを指定したり、 $V_F$ が低いため $N=1$ 固定だったりといった点が違います。

ショットキー・バリア・ダイオードは逆電流が大きくて逆方向の電圧-電流特性がガラガラと変化するため、降伏点の値だけではうまく特性を表せません。等価回路を作成できればその特性を表せますが、そんなに簡単ではありません。代表的な降伏点の電圧値と電流値を使って、なるべく再現性のある電子回路シミュレーションを行ってみます。常温25℃と高温125℃の温度解析にもトライしてみます。

## 10-1—目標：ショットキー・バリア・ダイオード・モデルを作成して誘導負荷回路を再現

### ● 回路と再現する波形

今回は、図10-1の誘導負荷駆動回路の実機動作をシミュレーションで再現します。

誘導性負荷と並列に、MOSFETがOFFしたときに生じるエネルギーの通路となるダイオードが接続されています。

パルス電源にて、パルス電圧を発生させ、ゲート抵抗( $R_G$ )を介してMOSFETをスイッチングさせます。そのときのゲート-ソース間電圧( $V_{GS}$ )、ドレイン電流( $I_D$ )、ドレイン-ソース間電圧( $V_{DS}$ )の波形を観察します。

## 第 11 章

# 部品：コイル 応用：スイッチング 電源回路



本章では、コンデンサと並んで主要な受動部品であるコイルの SPICE モデルを作成する方法について解説します。コイルも、コンデンサ同様デフォルトのモデルでは、現実の素子の特性をうまく表せないのが、等価回路モデルを作ります。題材は、コイルの用途として大きな割合を占めるスイッチング電源回路です。

### 11-1—目標：コイルの SPICE モデルを作成して、スイッチング電源回路の出力ノイズを再現

#### ● 回路と再現する波形

今回は、コイルの等価回路モデルを作成することで、フォワード・コンバータ(FCC : Forward Coupling Converter)回路という絶縁型スイッチング回路(図 11-1)の出力側の実機動作(図 11-2)をシミュレーションで再現します。

FCC 回路の出力仕様は以下の通りです。

出力電圧：5V  
出力電流：0.5A

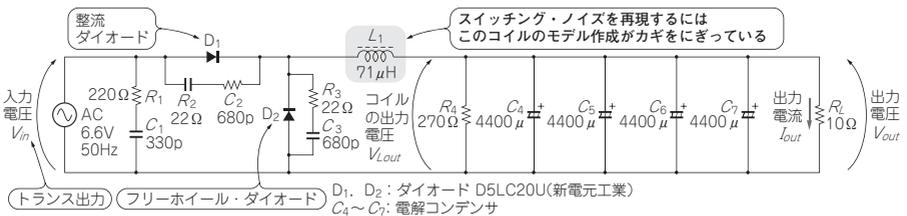


図 11-1 今回再現するスイッチング電源回路(FCC 回路)とモデルを作成するコイル

## 第12章

# 部品：パワー MOSFET

## 応用：DC-DC コンバータ回路



本章では、パワー MOSFET の SPICE モデルを作成 & チューニングし、同期整流型の降圧 DC-DC コンバータの実機動作をシミュレーションで再現します。本回路では MOSFET コントロール IC も必要になります。次章で難しいといわれている IC の SPICE モデルの作成方法を解説します。

### 12-1—パワー MOSFET の SPICE モデルを作成して、 DC-DC コンバータ回路の動作を再現

#### ● 回路

降圧回路の仕様は次の通りです。

入力電圧：5V

出力電圧：1.8V

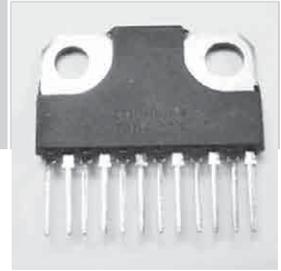
回路図を図12-1に示します。また、実験のようすと回路を写真12-1に示します。図12-1のスイッチング・レギュレータのキー・デバイスは、コントロールICと出力に使用する低耐圧パワー MOSFET です。

パワー MOSFET を外付けして使う大電流 DC-DC コントロール IC TPS5618 (テキサス・インスツルメンツ) を使用します。この IC は二つのパワー MOSFET の ON/OFF を制御します。

外付け低耐圧パワー MOSFET は、ハイサイドとローサイドがあり、コントロール IC

## 第13章

# 部品：電源制御 IC 応用：DC-DC コンバータ回路



### ● 難しいといわれるICの部品モデル作成にトライ！

本章では、ICのSPICEモデルの作成の仕方を解説します。ICの中にある回路をそのままモデル化するのは

現実的ではないので、IC内部を機能ブロックに切り分け、それぞれのブロックをシミュレーション可能な素子に置き換えることで、最終的にIC全体のモデル化を実現します。

電源制御ICを題材に、必要最低限の機能を自作する方法を、実際にモデルを作りながら解説します。

## 13-1—電源制御 IC の SPICE モデルを作成して、 DC-DC コンバータ回路の動作を再現

### ● 回路と再現する波形

回路は、前章と同じ、図13-1の同期整流型DC-DCコンバータです。電源制御IC TPS5618(テキサス・インスツルメンツ)がハイサイドとローサイド、二つのパワーMOSFETのON/OFFを制御します。チョーク・コイル、電解コンデンサと合わせて降圧回路を構成し、安定化された電圧を出力します。

この制御ICのSPICEモデルを作成し、ICがMOSFETへ出力する電圧、すなわち、MOSFET ゲート-ソース間電圧を再現します(図13-2)。

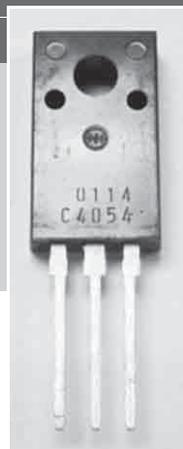
### ● 電源制御 IC 以外の部品モデル

#### ▶ パワー MOSFET

今回ハイサイドとローサイドで使用したパワー MOSFET は、TPC8014(東芝セミコン

## 第14章

# 部品：バイポーラ・ トランジスタ 2SC1815 応用：LEDドライブ



本章は、バイポーラ・トランジスタのSPICEモデルの作成 & チューニング方法について紹介します。幅広く使われてきた 2SC1815(廃品種ですが小売では購入可能)などを例にします。

### 14-1—バイポーラ・トランジスタの SPICE モデルを作成して、 LED ドライブ回路動作を再現

#### ● 回路と再現する波形

今回は、NPNのトランジスタ、PNPのトランジスタを活用し、LEDドライブ回路の実機動作をシミュレーションで再現します。

回路図を図14-1に、波形を図14-2に示します。5VのDC電源にてコレクタ-エミッタ

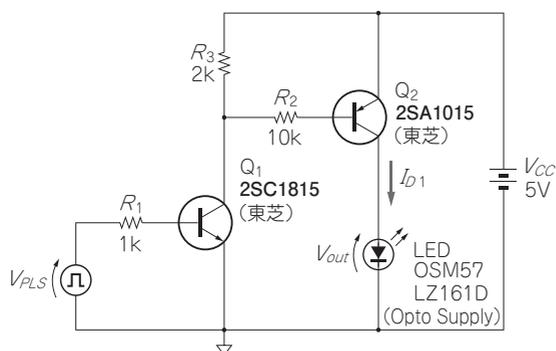


図14-1 LEDドライブ回路

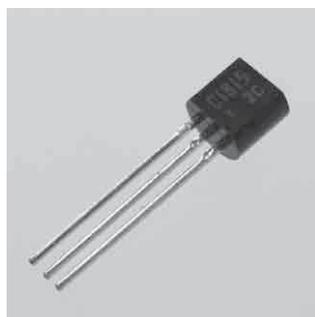


写真14-1 モデル化する2SC1815の外観

## 第15章

# 部品：白色発光 ダイオード 応用：LED ドライブ回路



本章では白色LEDのSPICEモデルの作成例を紹介し、バイポーラ・トランジスタのSPICEモデルと組み合わせて、LEDドライブ回路のふるまいを再現します。

### 15-1—白色発光ダイオードのSPICEモデルを作成して、LEDドライブ回路の波形を再現

#### ● 回路と再現する波形

回路を図15-1に、再現する波形を図15-2に示します。

第14章では、LEDドライブ回路のバイポーラ・トランジスタ2SC1815(NPN)と

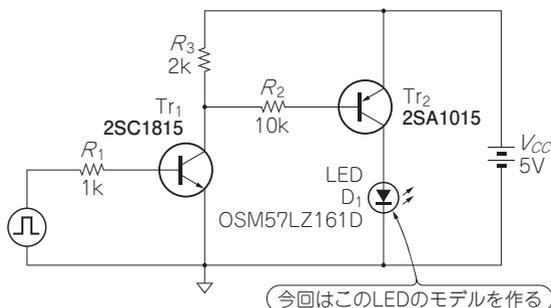
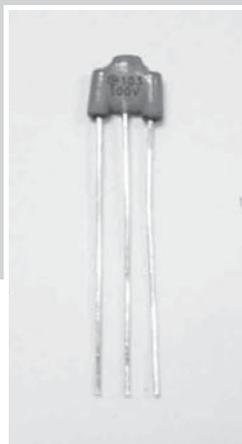


図15-1 白色LEDドライブ回路  
シミュレーションのために用意した回路

## 第16章

# 部品：エミフィルと プロードライザ

## 応用：FPGA用 電源回路



最近のFPGA(フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ)は、低電圧大電流を出力できる電源が必要です。その電源回路に採用される2種類のフィルタ(入力側と出力側)のSPICEモデル作成方法を紹介します。

### 16-1—FPGA用電源回路の出力特性を再現する

#### ● 対象回路：12A出力のFPGA用電源

今回モデルを作成するのは、FPGA用の超低ノイズ電源モジュールLTM4601LNシリーズ(東京エレクトロニクス)の内部回路です。LTM4601LNは、リニアテクノロジーのDC-DCコンバータLTM4601を搭載しています。詳細は(<http://www.teldevice.co.jp/product/ltc/focus.html>)を参照してください。

#### ● フィルタのモデルをつくる

モジュールの回路図を図16-1に、外観を写真16-1に示します。写真16-2のように実装します。ここで検討するFPGA電源回路の仕様は、次の通りです。

入力電圧：12V

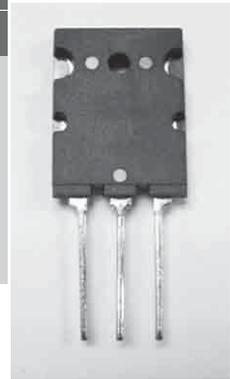
出力電圧：1.05V

出力電流：12A

LTM4601のモデルは、リニアテクノロジーが提供しているものを利用します。

## 第17章

# 部品：IGBT 応用：モータ駆動回路



本章では、モータ・ドライブ回路に使われるIGBTのSPICEモデルの作成方法を紹介します。

### 17-1—IGBTのSPICEモデルを作成してモータ駆動回路の動作を再現

#### ● 回路と再現する波形

本章でシミュレーションでふるまいを再現する回路は、DCモータ駆動回路です。DCモータをゲート制御回路やフォトカプラを経由して、IGBTでドライブします。

ゲート制御回路部分は、ドライバIC自体のSPICEモデルを作成してそれを使うことも

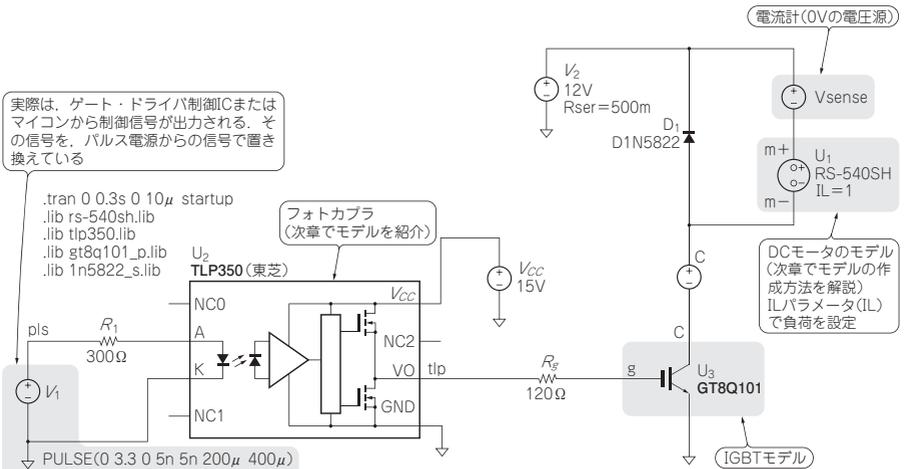


図17-1 IGBTによるモータ駆動回路

## 第 18 章

# 部品：DC モータ 応用：モータ駆動回路



### 18-1—DC モータの SPICE モデルを作成してモータ・ドライブ回路の動作を再現

本章では、DC モータの SPICE モデル作成方法を紹介します。ブラシ付き DC モータもブラシレス DC モータもパラメータ値が違うだけで同様に扱えます。また、フォトカプラの SPICE モデルも紹介します。

#### ● 回路と再現する波形

対象となる回路は、ブラシ付き DC モータ駆動回路です。回路図を図 18-1 (図 17-1 の再掲) に示します。ゲート駆動回路、フォトカプラを経由して、IGBT で DC モータをドライ

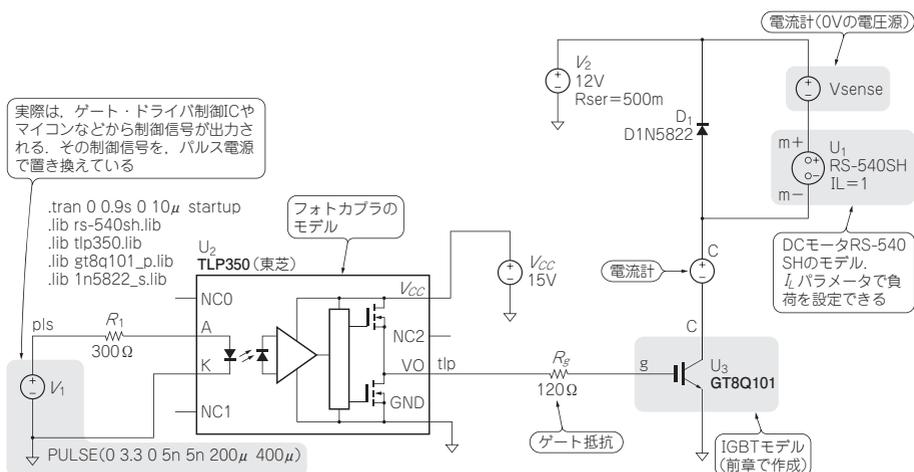


図 18-1 LTspice で DC モータの駆動回路を再現する

## 第 19 章

# 部品：トランス 応用：絶縁型 スイッチング電源



本章では、トランスのSPICEモデルを作成して、絶縁型のスイッチング電源(絶縁型フライバック・コンバータ)の動作を再現してみます。

### 19-1 トランスの SPICE モデルを作成してスイッチング電源の動作を再現

#### ● 回路と再現する波形

対象となる回路は、高電圧の絶縁型フライバック・コンバータ回路です。LT3511(リニアテクノロジー)というパワー素子内蔵の電源ICを活用した回路です。出力電圧を1次側フライバック波形から直接検出するため、トランス3次巻き線または絶縁のためのフォトコプラが不要です。

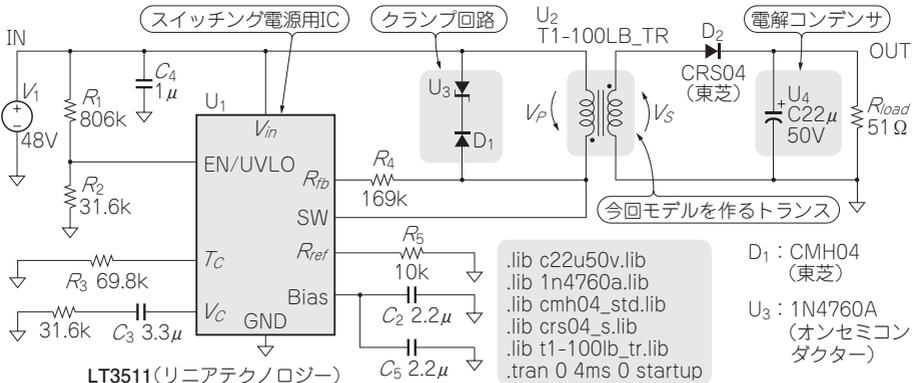


図 19-1 シミュレーションと試作を行った絶縁型スイッチング電源回路

## 第20章

# 部品：太陽電池 再現：日照変化時 の出力特性



本章では、太陽電池のモデルを作成してみます。

太陽電池は、起電力が約0.5Vのセルを何個か直列にしてパッケージした、太陽電池パネルを入手するのが一般的です。今回は、125Wの太陽電池パネルを例にモデルを作成しますが、出力の大小にかかわらず、ここで解説する方法でモデルを作成できます。

## 20-1—LTspice でシミュレーションできる範囲

太陽電池は、日照条件によって特性が変化するため、再現性の高い回路実験が困難であり、電子回路シミュレーションを使って解析すると有効です。

### ● 太陽電池セルから太陽光システムまで

太陽電池のセル、またはパネルを対象とする出力特性のシミュレーションをする場合と、太陽光システム全体をシミュレーションする場合があります。

#### ▶その1：太陽電池システムをシミュレーションする場合

太陽電池、パワー・コンディショナ、二次電池、インバータ回路などで構成され、実際の気象データである日射量を反映させ、全体をシミュレーションできます。仕様の発電能力があるかどうかや、一日を通じた負荷変動に対して電池の充放電でカバーできるかどうかなど、解析分野は多岐に渡ります。

#### ▶その2：パネルを対象とするシミュレーションの場合

工夫次第では、影の影響を考慮したシミュレーションや、漏れ電流が発生した場合のシミュレーション、バイパス・ダイオードの影響を考慮したシミュレーションなどができます。これらのシミュレーションはLTspiceで可能です。

## 第21章

# 部品：真空管

## 応用：オーディオ・アンプ



Western Electric社の三極真空管300BのSPICEモデルを作成して、シングル電力増幅回路のシミュレーションをしてみます。300Bは出力段の増幅回路に採用され、初段、2段目の後に接続されるのが一般的ですが、今回は、仮想的な単段のシングル電力増幅回路を作ります。

### 21-1—三極管の特性と等価回路

#### ● オーディオ・アンプの設計に！真空管もLTspiceでシミュレーション

現在、真空管が採用されている分野は、高級オーディオ・アンプ、ギター・アンプなどです。真空管アンプを自作する人も増えています。しかし、アンプの設計、定数決定など難しいのが実情です。回路実験をする場合、高電圧を取り扱うので、感電にも十分な注意が必要です。採用する真空管のSPICEモデルを作成すれば、真空管のアンプもLTspiceでシミュレーションできます。

#### ■ 三極管の二つの電気的特性

三極管の回路図シンボルを図21-1に示します。三極管には、ヒータと電極が分離している傍熱管と、ヒータと電極が一緒になっている(フィラメントとよぶ)直熱管があります(図21-2)。300Bは直熱管です。シミュレーションでは、ヒータのことを考えないので、この二つに区別はつけません。

三極管の電気的特性は二種類あります。グリッド特性( $E_g-I_p$ 特性曲線)とプレート特性( $E_p-I_p$ 特性曲線)です。

## 第22章

# 部品：スピーカ 再現：シミュレーション 波形を音声として 聴く！



オーディオ回路は、パワー・アンプを中心にSPICEシミュレータが得意とする回路分野です。オーディオ用パワー・アンプの負荷はスピーカです。多くの場合、 $8\Omega$ あるいは $4\Omega$ の抵抗で代用しますが、スピーカのインピーダンスには周波数特性があり、周波数によらずほぼ一定の値を持つ抵抗とは異なります。そこで、パワー・アンプの負荷にスピーカを表す周波数特性モデルを採用すると、周波数特性の再現性が向上します。

## ● ホントに聴ける！シミュレーション波形を音声ファイルに出力

LTspiceの.WAVEコマンドを使うと、シミュレーションで出力された波形を音声ファイル(.wav)に出力し、音声再生ソフトウェアなどで実際に音として聴くことができます。

音源の回路を作成し、スピーカのモデルを通したうえで、出力波形を音声ファイルに変換し、実際に耳で聴いてみましょう。

## 22-1—スピーカの SPICE モデル

### ● スピーカの動作

スピーカとは、電気信号を物理的な振動に変化させ、音声を出力する装置です。スピーカの構造を図22-1に示します。

オーディオ・アンプからの電流がスピーカのボイス・コイルに流れると、ボイス・コイルが振動し、その振動がコーンに伝わります。その振動が空気を振動させ、電気信号が音に変換されます。

見本

ISBN978-4-7898-3639-5

C3055 ¥3200E

CQ出版社

定価：本体3,200円（税別）



定番回路シミュレータ

# LTspice

## 部品モデル作成術

コンデンサ/トランジスタ/トランス/モータ/真空管…どんな部品もOK!

このPDFは、CQ出版社発売の  
「定番回路シミュレータLTspice 部品モデル作成術」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/36/36391.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/order.htm>