

PCBsim™ (HSPICE™互換) によるワイヤレス給電の最新規格「Qi」のコイルシミュレーション
シグナル工房

www.signalkhobho.com

野田 敦人

PCBsim™は Legend 社の MSIM-PCB™ のメインのシミュレーションエンジンとするシグナルインテグリティ解析ツールです。伝送線路解析機能を強化した MSIM-PCB™と複数のソフトウェアを統合したパッケージとした形で提供されます。用途、価格によってフリーの回路図エディターとの組み合わせや、標準波形ビューワーである SignalMeth との組み合わせのパッケージなどがあります。本紙では、Wireless Power Consortium のワイヤレス給電の最新規格である Qi <http://www.wirelesspowerconsortium.com/> で1次側コイルの設計例として掲載されているコイルを1次側と2次側で使った磁気共鳴式の回路のシミュレーションを行います。解析には PCBsim と MIT で開発されたフリーの3Dインピーダンス解析ソフト FastHenry を使用します。<http://www.fastfieldsolvers.com/>



図1、TI社から発売された Qi 認証の開発キット

<http://newscenter.ti.com/jp/Blogs/newsroom/archive/2011/01/06/ti-qi.aspx>

1. 最新ワイヤレス給電の規格「Qi」 (チーと呼ぶようです)

ワイヤレス給電に関する EEtimes の記事の紹介

“Qi 規格は、近接電磁誘導を使ったワイヤレス給電技術に関する業界団体「Wireless Power Consortium (WPC)」によって、2010年7月に策定されたばかり。送電電力が5W以下の機器を対象にしており、ワイヤレス給電技術について規定した業界初の標準規格である*2)。これまで、ワイヤレス給電システムはいくつも実用化されていたが、各社独自の方式を採用していたため、なかなか製品化の動きが広がっていなかった。現在のところ、ワイヤレス給電技術を規定しているのは、Qi 規格だけという状況だ”

<http://eetimes.jp/content/4582>

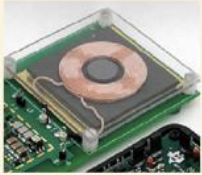


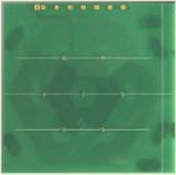
種類	固定位置型		自由位置型	
名称	マグネット吸引型	可動コイル型	コイルアレイ型 (リッツコイル方式)	コイルアレイ型 (基板実装方式)
外観				
提案企業	Fulton Innovation テキサス・インスツルメンツ	三洋電機	Convenient Power*2)	
構造	<ul style="list-style-type: none"> 送電側と受電側に磁石を設置 吸引力を使ってコイル間の位置を合わせる 	<ul style="list-style-type: none"> 受電側コイルの位置をコイルアレイで検出 送電側コイルをモーターで動かして、受電側コイルと位置を合わせる 	<ul style="list-style-type: none"> ハニカム構造の送電側コイルアレイを形成 受電側コイル付近の送電コイルのみ励起する 	
特徴など	<ul style="list-style-type: none"> 構成がシンプルでコストを抑えられる 	<ul style="list-style-type: none"> 送電側と受電側のコイルの位置がきっちり合うため、効率が高い 	<ul style="list-style-type: none"> 送電パッドの面積を広げやすい 	

図2 「Qi」規格で商品化されているコイル

本紙では、コンソーシアムに登録するとダウンロードできる

System Description Wireless Power Transfer Volume I: Low Power Part 1:

Interface Definition Version 1.0.1 October 2010の25ページに示されている1次側

(Primary) のデザインA1のスパイラルコイルを1次側と2次側の両方で使い、軸ズレ d_x や空間距離に d_z があつた場合の結合係数 K を算出してPCBsimでトランスの共振回路として解析します。

2. FastHenryによる自己インダクタンスと相互インダクタンスの解析

まず2つのコイルの自己インダクタンスと相互インダクタンスを解析しなければなりません。スパイラルコイルの自己インダクタンスは比較的簡単な計算式があるのですが、相互インダクタンス解析には3次元のフィールドソルバーが必要です。今回はMITのエンジニアがフリーで配布しているFastHenryを使いました。

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



図3 FastHenry のダウンロードできる Web

この FastHenry はフリーでありながら軽快で良いのですが、マニュアルが簡素なのと独特なモデル記述スクリプトファイルの作成になれるまでに時間がかかります。そこで今回「Qi」のデザイン A1 用のモデルを軸ズレと空間距離を変えて作成できるツールを作成しました。

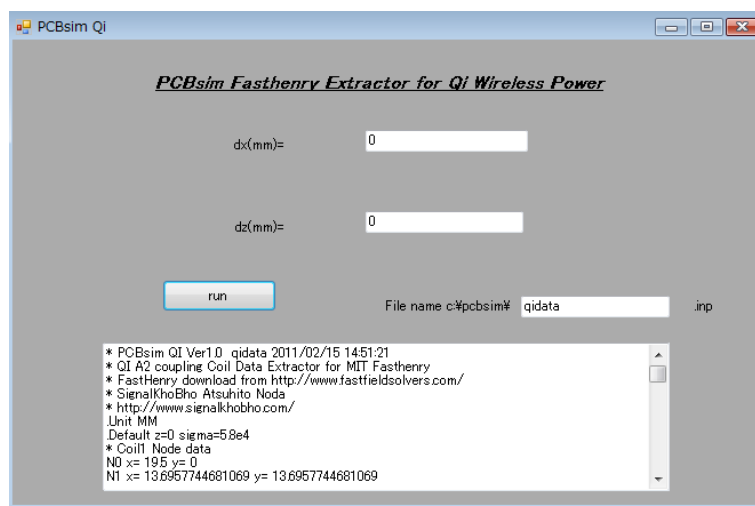


図4 FastHenry モデルデータ作成ツール (PCBSimQi)

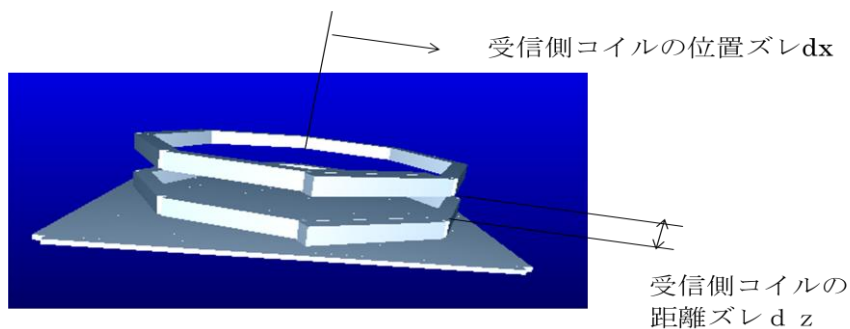


図5 軸ずれ d_x と空間距離 d_z

下図 6 が完成してモデルで、下図 7 が軸ずれ d_x が 10mm のモデルです。

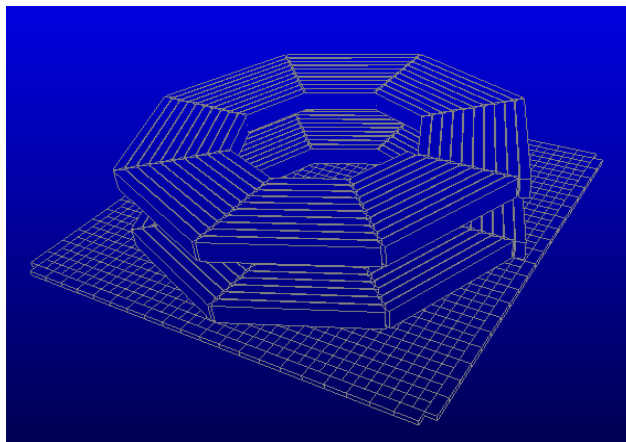


図 6 モデル完成図 (見やすさのため Top のシールドはなくしています)

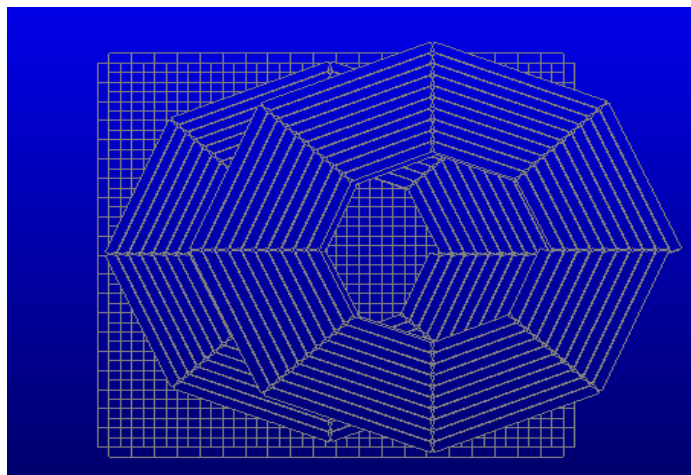


図 7 軸ズレ d_x が 10mm のモデル

今回のシミュレーションはターゲット周波数を 140KHz にしたので、解析結果は以下のようになりました。

Computed matrices (R+jL)

Row 0: n0 to n80

Row 1: n100 to n180

Freq = 140000

Rs1(1次側抵抗) L1 (自己インダクタンス) M12 (相互インダクタンス)

Row 0: 0.105866+3.98499e-007j 0.0118659+2.46577e-008j

Row 1: 0.0118644+2.46682e-008j 0.105868+3.98492e-007j

Rs2(2次側抵抗) L2 (自己インダクタンス)

1次側と2次側は同じモデルとしたので、数値の違いは解析誤差と思われます。
FastHenryの解析結果は、レジスタンスとインダクタンスの両方に表皮効果が考慮された結果となっているので、140kHzの解析結果の自己インダクタンスは簡易計算の値と異なることに注意願います。

Flat Spiral Coil:

Units: Inches Millimeters

Inner Diameter(D₁): 19 mm

Number of turns(N): 10

Wire Diameter (W): 1 mm

Turn spacing(S): 0.1 mm

*Move (TAB) to next field to update result

Outer Diameter (D₀)*: 41 mm

Length of wire: 0.942 metre

Inductance(L)*: 3.675 uH

Diagram labels: D₀, D₁, W, S

$$L = \frac{N^2 \times A^2}{30A - 11D_1}$$

$$\left(A = \frac{D_1 + N(W + S)}{2} \right)$$

図8 Webで利用できるスパイラルコイル自己インダクタンス計算
http://deepfriedneon.com/tesla_f_calcspiral.html

次に解析された自己インダクタンスと相互インダクタンスから結合係数Kを計算します。

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 * L_2}} = 0.062 \quad \text{式1)}$$

これを下記のようにSPICEのネットリストの中でトランス回路として表現します

```
* Transformer
L1X1 tx1in 0 3.98499e-007
K1X1 L2X1 L1X1 0.062
L2X1 tx2in 3.98499e-007
```

次に、自己インダクタンスの結果からLC共振させるためのキャパシタンスの値を計算します。

$$Cp1 = \frac{1}{4 * \pi^2 * f_0^2 * L1} = 3243nH \quad \text{式2)}$$

下図9は一番単純なLC共振回路の例です。

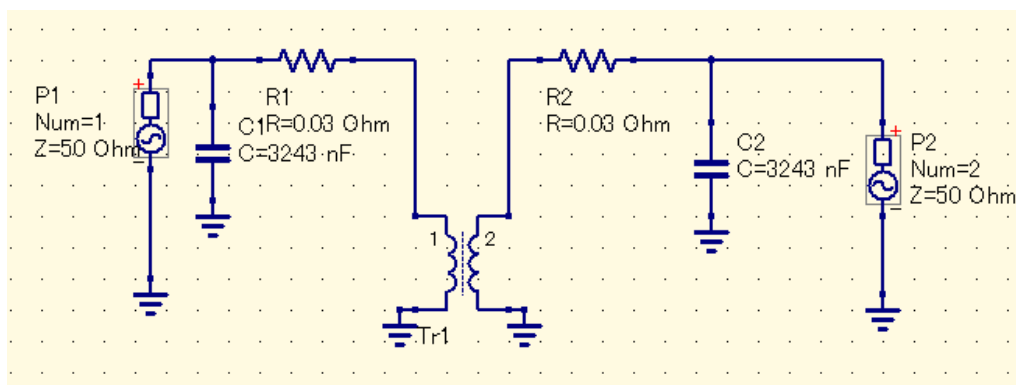
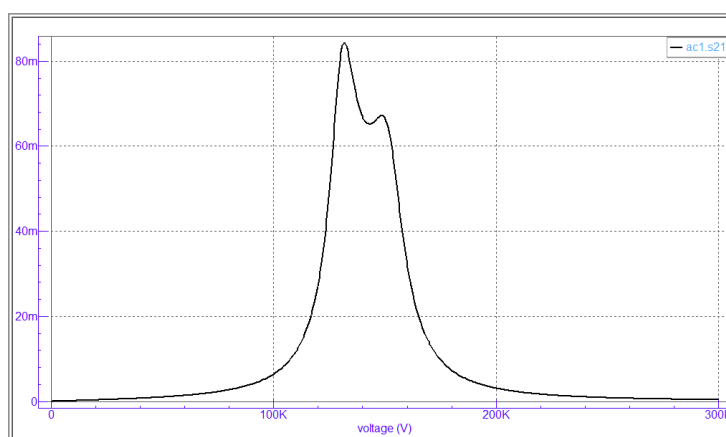


図9 LC共振回路例

この回路をPCBsim™ (MSIM-PCB) で解析して通過 (カップリング) 特性 S12 を書かせたの



が図10です。

図10 カップリング特性 S12

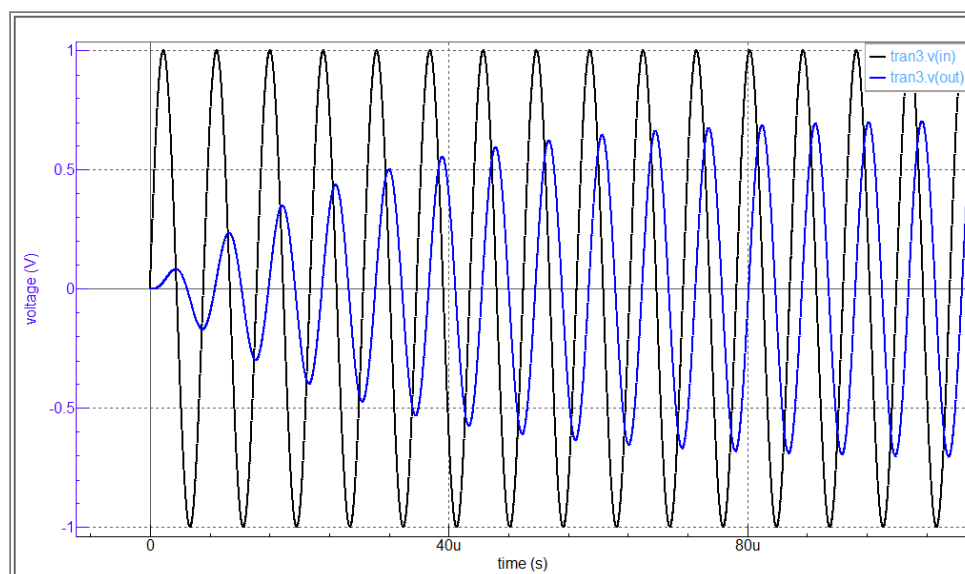


図11 140kHz 伝送特性

解析ツールのダウンロード」

シグナル工房の Web (www.signalkhobho.com) で登録していただくところの FastHenry 解析のための「Qi」用の共振コイルのモデル作成ツール PCBsimQi と PCBsim 解析ネットリストをダウンロードできます。尚このツールを実行するためには、.NET Framework 4 がインストールされている必要があります。

注：シグナル工房ではフリーのツールの FastHenry のサポートはいたしません。また本解析はあくまでもネットリストのサンプルとして参考にしていただくもので、解析結果の精度についてはシグナル工房では責任を負いかねます。