

市販コイルを使った
ワイヤレス電力給電の実験キット B
マニュアル



〒350-0209
埼玉県坂戸市塚越 1220-1
TEL:049-298-4326
FAX:049-284-4364

市販コイルを使用したワイヤレス電力給電実験キット

(WPC 機器用コイル：スミダ電機製 AKN3318/CE)

1. キットの概要

WPC 機器用に開発されたコイル (スミダ電機製 AKN3318/CE) を使用し、3W 程度の電力を伝送するワイヤレス電力給電装置を試作して、ワイヤレス給電の実験を行います。

本試作器はキット化してあります。(写真 1)

- ・ 給電 (送信) 基板：1 枚 (組立調整済み)
- ・ 受電 (受信) 基板：1 枚 (組立調整済み)
- ・ 給電・受電コイル：各 1 個
- ・ 共振コンデンサー：1 個
- ・ ランプ負荷：1 個
- ・ マニュアル (本書)：1 部

となっています。

1) 注意事項

- i 本器の各実装部品は、高電圧になっているものがあり、通電中は触れないようにしてください。感電の恐れがあります。
- ii 本器の内部の電圧を測定する場合、測定器の GND を本器の GND 端子以外に接続すると内部部品を破壊する恐れがあります。指定箇所以外に測定器の GND を接続しないでください。
- iii 電源を投入する場合には、本説明書の「(6) の (ア) から (ク)」の手順に従ってください。
各素子の評価の条件は、(6) の表 6 の組み合わせで評価をお願いします。
- iv 電源を切る場合は、本説明書の「(6) の (ク)」の手順に従って OFF してください。手順に従わないで OFF すると、電解コンデンサの電荷が放電されず高電圧になっている場合には感電のおそれがあります。
- v 本器の接続、子基板の入れ替えの場合には AC 電源の出力電圧を 0V にするとともに、補助電源用の AC アダプターの電源を遮断して行ってください。感電や機器の破損のおそれがあります。
- vi 本器に使用している半導体は、静電気により破損することがありますので取扱い上の注意をお願いします。

2. コイルの概要

コイルの仕様を図 1 に示します。

コイルは、WPC 機器用に設計されたコイルで、図 1 の仕様の範囲でカスタム設計されます。

今回の実験では、 $12.1\mu\text{H}$ の AK3318 を使用します。

AK3318 は、リッツ線を使用し highQ 化されたコイルで高効率なワイヤレス給電が期待できます。詳細仕様は図 2 を参照して下さい。

3. 回路の概要

実験回路の構成を図 3 に示します。

Q3 と Q4 で構成したハーフブリッジ回路をスイッチング電源用 IC の TL494(U1)により 130KHz から 200KHz で ON,OFF させます。周波数は、給電基板内の VR1 により可変します。

Q3 と Q4 の接続点に発生する 12V の矩形波電圧を給電コイル (L1) と共振コンデンサ (C6) の直列回路に与えると給電コイルに高周波電流が流れ磁界を発生します。

高周波電圧の周波数を L1 と C6 の共振周波数以上として、Q3 と Q4 の OFF から ON の時間を少し空ける (Dead Time といいます。) とスイッチング損失を軽減できます。(ZVS 動作といっています。)

また、L1 と L2 のインピーダンスは、共振周波数で、最低となり、共振周波数から離れると高くなります。したがって、コイルに流れる電流は、共振周波数で最大となり、高くなるにしたがって、減少します。(電圧も同様に変化します。また、共振周波数付近では、インピーダンスが非常に低くなり、FET が破壊しますので最低周波数を共振周波数より、高く設定します。)

受電コイルの電圧も同様に変化するため、周波数を可変することにより、出力電圧を調整することができます。

受電コイルに発生した電圧を整流回路で直流電圧にし、出力端子より出力します。(unreg)

また、この電圧を 3 端子 RegIc (U2)により、5V に安定化させ出力します。(5V)

unreg 出力に 4.8V500mA のランプを接続し、ランプの明るさにより、出力を確認します。

受電コイルにコンデンサを直列または並列に接続し、出力コイルを共振させた場合の出力の変化も確認します。

5V 出力は、携帯電話の充電等の実験に使用します。

4. 電磁誘導方式の実験

始めに、ワイヤレス電力給電の基本方式である電磁誘導方式の実験を行います。

使用する給電コイルと受電コイルのインダクタンスは、 $12.1\mu\text{H}$ で、共振コンデンサは、 $0.1\mu\text{F}$ のため共振周波数は約 145KHz です。受電コイルを給電コイルの相互インダクタンスにより、インダクタンスが上昇し、共振周波数が下がることを想定し、共振周波数は、

130KH z から 200KH z まで可変とします。

4.1 構成部品と働き

図 4 と表 1 に、試作したワイヤレス給電装置の回路と部品表を示します。

4.1.1 給電基板

4.1.1.1 130KH z から 200KH z 信号の生成

二つの MOSFET (Q3 と Q4) で構成したハーフブリッジ回路で、給電コイルに加える高周波出力を生成します。

Q3 と Q4 を交互に駆動する信号は、494 型スイッチング電源用 IC (今回は TL494 を使用) により生成します。TL494 の発振周波数は、CT 端子に接続されるコンデンサと RT 端子に接続される抵抗により決定されます。今回は、抵抗を可変抵抗にして、発振周波数を、260KH z から 400KH z となるようにしています。

4.1.1.2 デットタイムの生成

TL494 の出力は、デューティ 50%の矩形波で、このまま Q3、Q4 を駆動すると同時に ON する期間が発生し短絡電流が流れます。このため、Q3、Q4 を駆動する信号には、両方の MOSFET を OFF 状態にさせる時間 (DeadTime) を設けます。

TL494 では、DTC 端子の電圧により、DeadTime を調整できます。(R1、R2 により調整)

4.1.1.3 MOSFET の駆動

Q3 を ON とするためにはゲートの電圧を 12V より高くする必要があります。今回はブートストラップ回路を使用します。この動作は、Q4 が ON したとき C5 に D3 を介して 12V が充電されます。この電圧により Q3 が ON し、電源電圧 12V と C5 の電圧が加算され D4 を介して C4 に 24V の電圧を充電します。この電圧により TL494 を動作させることにより Q3 の駆動電圧を確保しています。

Q1、Q2 は、Q3、Q4 の OFF 時間を短縮するために設けています。

4.1.1.4 給電コイル電圧の生成

共振コンデンサを $0.1\mu\text{F}$ として、周波数を変化させた場合の給電コイルの電圧を図 5 に、波形を図 6 に示します。(この場合の共振周波数は、約 145KH z です。給電コイルと受電コイルを近づけた場合には、コイルのインダクタンスは、変化します。)

FET からの出力電圧は、0V と 12V の矩形波信号ですが、給電コイルの電圧は、L1、C6 の共振動作により正弦波状となり、200KH z で 11.4Vrms、150KH z で 32.4Vrms となっています。この電圧に比例した電圧が受電コイルに誘導されるため周波数を変化させることにより、出力電圧を調整できます。(給電コイルの電圧を高い状態で長時間通電すると給電コイル、共振コンデンサ、FET に大きな電流がながれ発熱および破壊することがあります)

ので注意してください。)

4.1.2 受電基板

給電コイルで発生した磁束を受電コイルで受けます。

給電コイルで発生した磁束と受電コイルの受けた磁束の割合を結合係数といい、この係数が1に近いほど電力伝送の効率が向上します。

給電コイルと受電コイルのギャップが少ないほど結合係数が高くなりますので効率よく電力を伝送できます。

受電コイルで発生した電圧を整流、平滑し、5~6Vで0.5A程度の出力を得ます。

また、この電圧を3端子regにより5Vに安定化した出力も供給します。

4.1.2.1 整流回路

受電コイルに発生した電圧をD5、D6で整流しL3、L4、C7で平滑し直流に変換します。

この回路は、倍電流整流回路と呼ばれ正弦波出力のプラス部分とマイナス部分をD5、L3とD6、L4の2つの半波整流回路で整流し、それぞれの出力を加えることによって、全波整流回路の電圧は1/2で電流は2倍の出力得ることができます。また、整流時にダイオードを1つのみ通るため損失を低減できます。(ブリッジ回路では、2つのダイオードを通りません。)

4.2 実験結果

給電基板にACアダプタまたは直流電源より、12Vを供給し、受電基板のCN3のunregとGND端子のランプ負荷を接続しランプを点灯させ、電力の伝送を確認します。

写真2は、伝送試験の状況ですが、数mm離れた場合でもLEDの点灯が確認できました。また、VR1によりランプの明るさを調整できることも確認しました。

VR1の位置により出力が明滅することがありますが、使用したアダプタが0.6A定格のため過電流保護回路が動作するために発生する現象です。給電基板を破壊から保護する手段として有効です。

5V端子とGND間に携帯電話の充電コネクタを接続し充電してみました。結果を写真3に示します。充電ランプが点灯し充電していることがわかります。

5. 受電コイルを共振化

給電コイルと受電コイルをより離して電力を伝送するために、共振回路を使用してみます。給電コイルは直列共振を使用していますので、ここでは、受電コイルを共振させます。

5.1 直列共振回路の実験

受電基板の CN2 の空端子を利用して出力と受電コイル間に $0.047\ \mu\text{F}$ のコンデンサを接続しました。写真 5 を参照ください。

実験の結果ランプの明るさからは、大きな差がありませんでした。

5.2 並列共振回路の実験

受電基板の CN2 の端子を利用して受電コイルと並列に $0.047\ \mu\text{F}$ のコンデンサを接続しました。写真 6 を参照ください。

実験の結果を写真 7 に示します。明らかに距離、明るさ共に優位性が確認できました。

6. 伝送効率の測定

受電コイルを共振させることによる優位性を数値的に確認するために伝送効率を測定してみます。

本実験では、入力電源には、デジタルメータ付の直流安定化電源、負荷には、デジタルメータ付電子負荷を使用し、メータの読みを測定値とします。

直列共振の結果を表 2、並列共振の結果を表 3 に示します。

表からわかるように、直列共振、並列共振共に電磁誘導方式に比較して、効率の向上があります。

電磁誘導方式では、給電コイルと受電コイル間が離れるにしたがって、効率が大幅に低下しますが、共振回路を付加した場合、低下度合いは大幅に改善されることがわかります。

7. 考察

電磁誘導方式においては、伝送効率は、距離に影響されます。したがって、給電コイルと受電コイルをなるべく密着させて使用します。

給電コイルと受電コイルを離したい場合には、受電コイルを共振させる必要があります。

共振させた場合、距離により、最適周波数が変化するため、周波数を距離により可変する必要があります。

特に、並列共振の場合、最適周波数が低下するため、そのままの周波数で、受電コイルを取り去ると、給電コイルに過大な電流が流れ給電基板を破損する場合がありますので注意が必要です。

ランプの点灯実験で直列共振時優位性がわからなかった理由は、出力電力の変化が少なく効率のみが向上したためとわかりました。同時に入力電力を計測していれば直列共振の優位性が理解できると思います。

給電コイルの電圧が高いとき（共振電流の多いとき）共振コンデンサと給電コイルが発熱しま

す。特に共振コンデンサは、発熱により特性が変化するためか、出力電圧が時間によって変動します。高周波損失の少ないコンデンサを選定する必要があります。

今回の実験では、伝送効率は 55%程度でしたが、共振コンデンサの改善と容量の最適化、整流を同期整流化、周波数の最適化等を行うことにより効率の向上は期待できます。

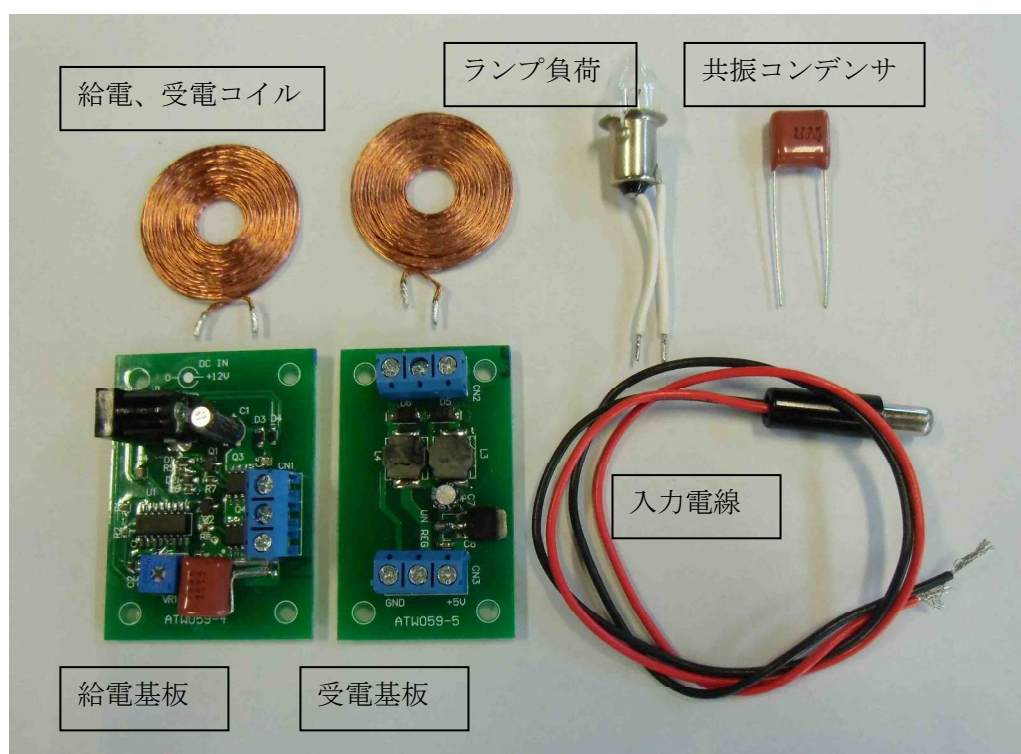


写真1 キットの内容

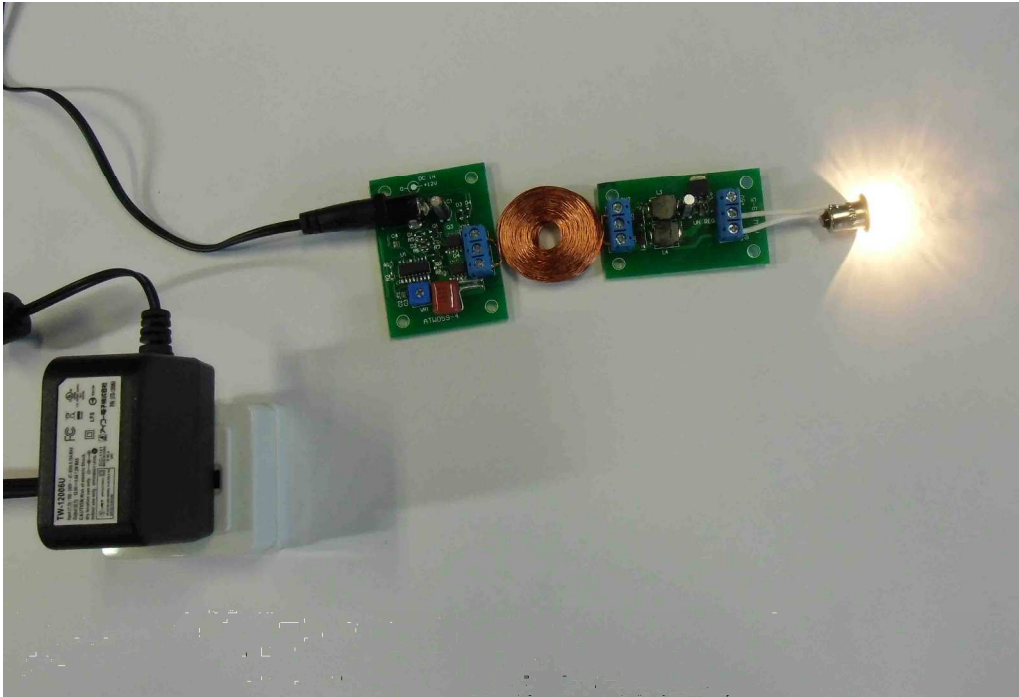


写真 2 電磁誘導方式の実験



写真 3 携帯電話に充電

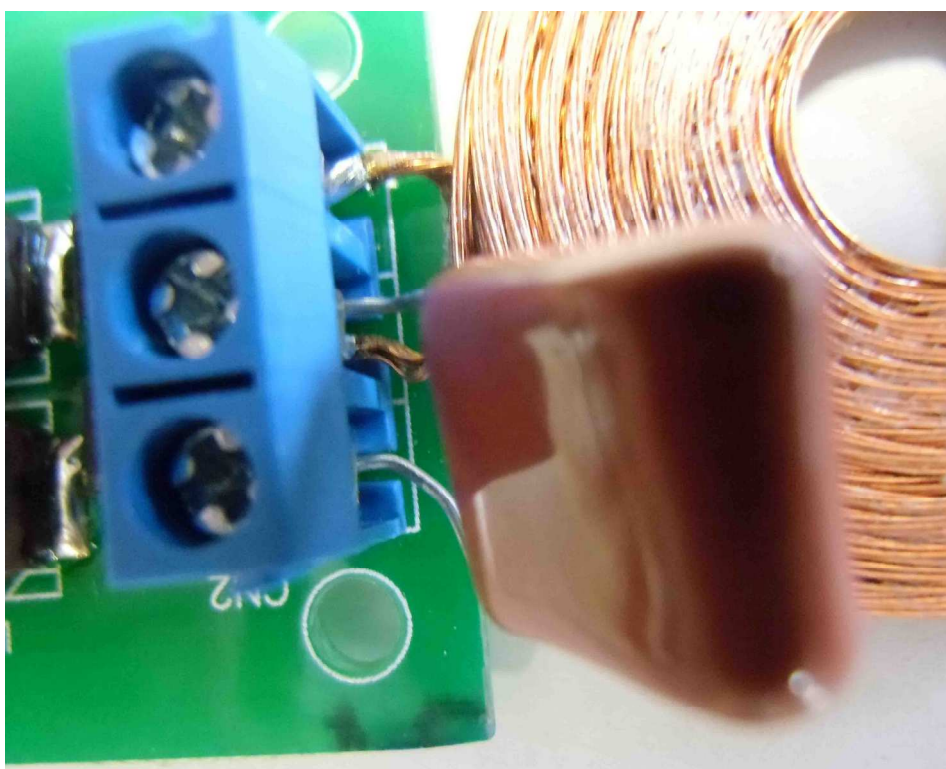


写真 5 受電コイルの直列共振接続

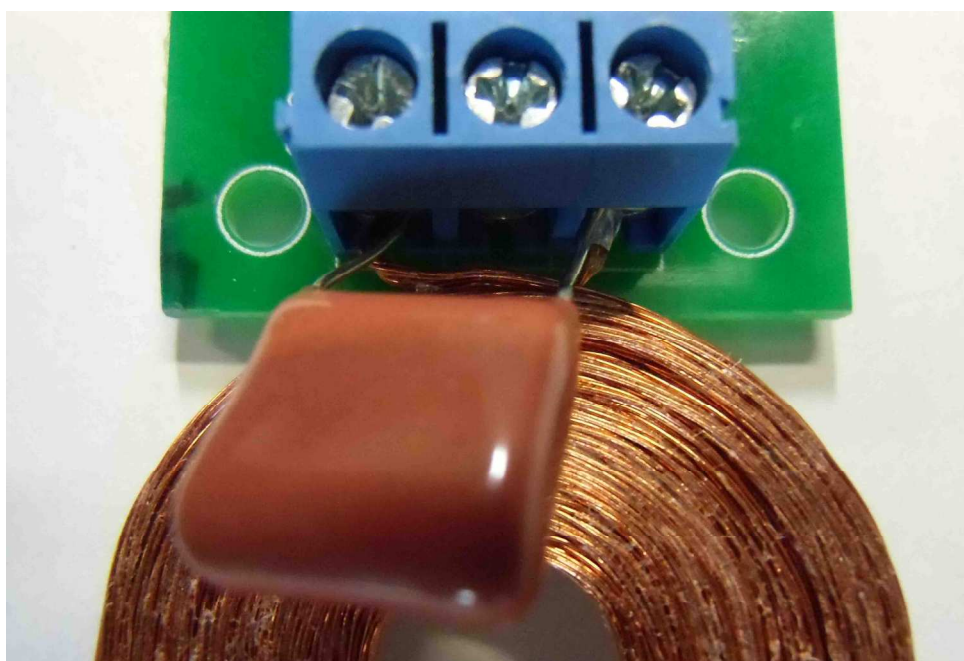


写真 6 受電コイルの並列共振接続

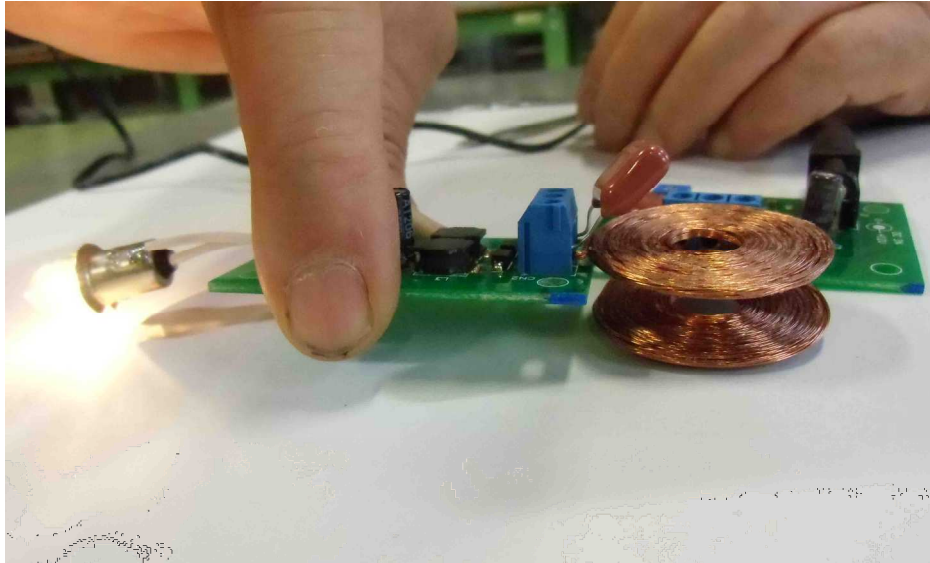


写真7 並列共振の実験

<ワイヤレス給電コイル> *WPC規格製品に適用

◆ 概要

- ・携帯機器用ワイヤレス給電コイル

◆ 特徴

- ・特殊α巻きにより薄型対応可。
- ・リッツ線使用により high Q 化。
- ・磁性シートによるシールド構造対応可。

◆ 用途

- ・WPC 機器用充電器。
- ・デジカメ、ゲーム機等のワイヤレス充電器。

◆ 外形寸法図 (mm)

◆ 仕様

Type Name 型名	od / 外径 (mm)	Id / 内径 (mm)	t / 厚さ (mm)	Inductance (μ H)	Unloaded Q	Power / 電力 (w)
AKNxxxx	ϕ 10~100	ϕ 5~50	0.4~5	5~500	50~150	~10

図1 コイルの仕様

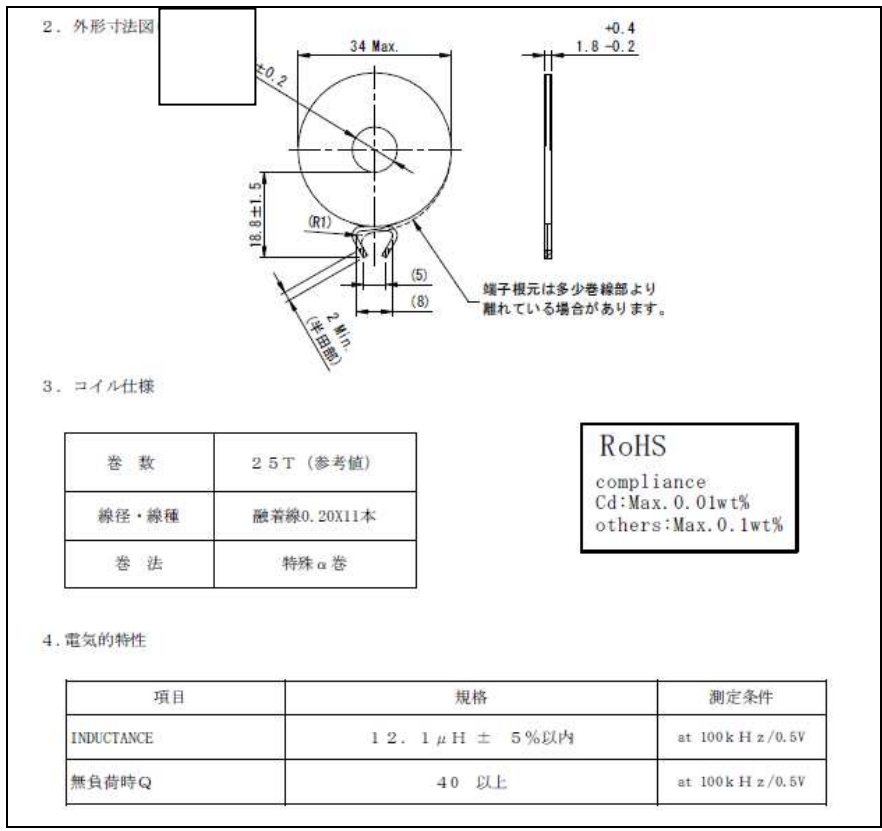
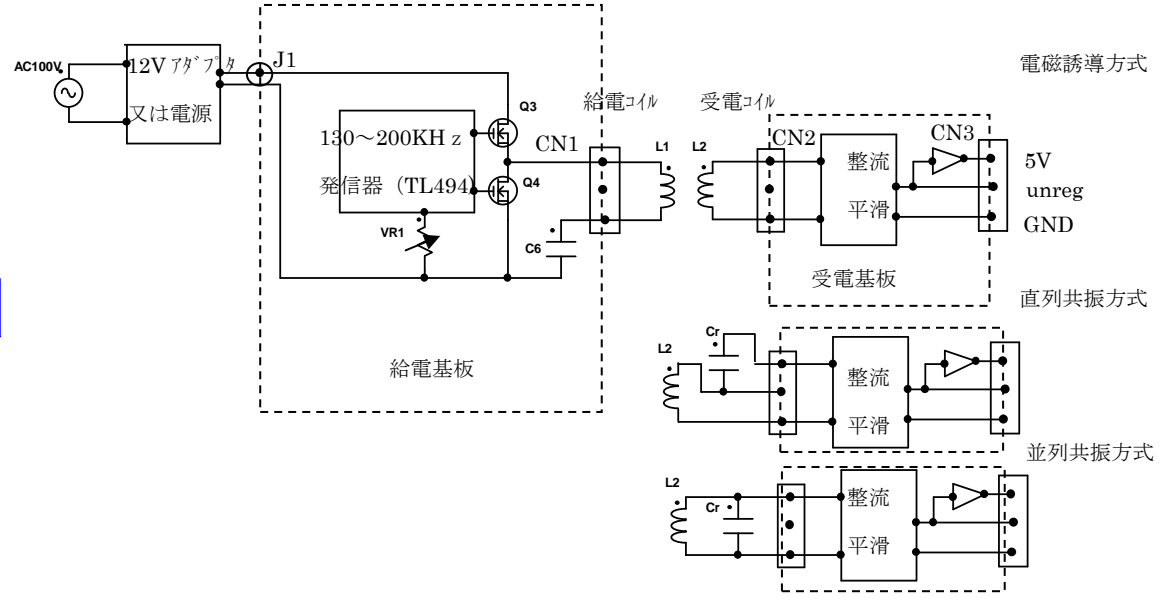


図2 今回使用したコイルの仕様



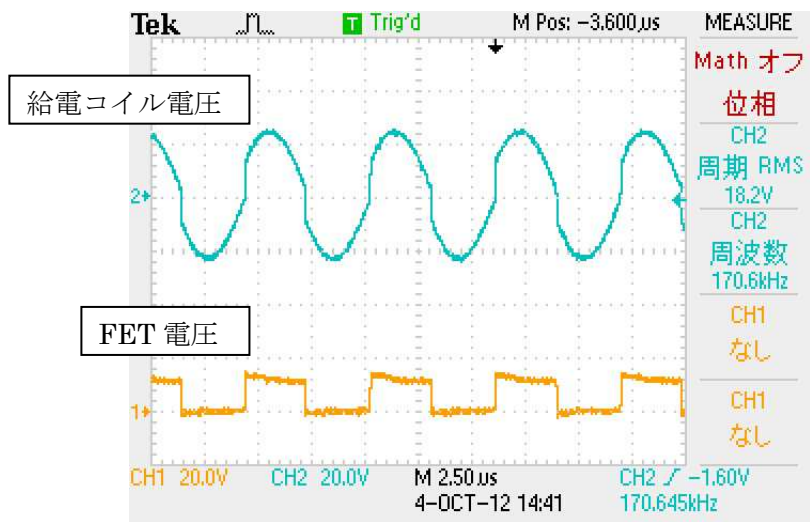


図 6 FET の出力電圧と給電コイルの電圧波形

周波数 (KHz)	直列共振 (0.047 μ F)			電磁誘導方式			備 考
	出力電圧 (V)	入力電流 (A)	効 率 (%)	出力電圧 (V)	入力電流 (A)	効 率 (%)	
200	3.38	0.26	54				入力電圧：12V 出力電流：0.5A 給電コイル、受電コ イル間距離：0mm
190	3.81	0.29	55	4.26	0.33	54	
180	4.78	0.35	57	5.15	0.39	54	
170	6.00	0.44	57	6.51	0.50	54	
200	3.26	0.27	50	2.67	0.25	45	入力電圧：12V 出力電流：0.5A 給電コイル、受電コ イル間距離：1mm
190	3.62	0.29	52	3.05	0.29	44	
180	4.3	0.34	53	3.78	0.35	45	
170	5.57	0.44	53	5.00	0.46	45	
200	2.78	0.24	48	2.28	0.23	41	入力電圧：12V 出力電流：0.5A 給電コイル、受電コ イル間距離：2mm
190	3.11	0.27	48	2.66	0.26	43	
180	3.80	0.33	48	3.31	0.33	42	
170	4.94	0.41	50	4.42	0.43	43	

表 2 直列共振の測定結果

周波数 (KHz)	並列共振 (0.047 μ F)			電磁誘導方式			備 考
	出力電圧 (V)	入力電流 (A)	効 率 (%)	出力電圧 (V)	入力電流 (A)	効 率 (%)	
170	2.24	0.17	55	4.11	0.34	50	入力電圧：12V 出力電流：0.5A 給電コイル、受電コ イル間距離：0mm
160	2.63	0.20	55	5.63	0.46	51	
150	3.06	0.23	55				
140	4.69	0.35	56				
135	6.73	0.51	55				
180	2.35	0.18	54	4.13	0.36	48	入力電圧：12V 出力電流：0.5A 給電コイル、受電コ イル間距離：1mm
170	2.42	0.19	53	5.11	0.44	48	
160	2.68	0.21	53				
150	3.15	0.24	53				
140	4.30	0.34	53				
135	5.97	0.46	54				
170	2.49	0.20	52	4.13	0.40	43	入力電圧：12V 出力電流：0.5A 給電コイル、受電コ イル間距離：2mm
160	2.84	0.22	52	6.27	0.62	42	
150	3.53	0.28	54				
140	4.96	0.40	53				
135	6.01	0.50	52				
180	2.13	0.18	49	1.96	0.25	33	入力電圧：12V 出力電流：0.5A 給電コイル、受電コ イル間距離：4mm
170	2.36	0.20	49	2.79	0.36	32	
160	2.91	0.25	49	4.22	0.54	33	
150	3.92	0.33	49	6.94	0.79	37	
145	5.31	0.43	51				

表 3 並列共振の測定結果