

低出力非接触充電器の待機電力低減法

Non-Contact Battery Charger with Reduced Stand-By Power

北村 浩康* · 加田 恭平**
Hiroyasu Kitamura Kyohei Kada

低出力非接触充電器において、充電器に本体機器が搭載されていないことを専用のコイルや変調復調回路を用いることなく充電器側コイルインダクタンスの変化で検出し、充電器の高周波発振用スイッチング素子のオン時間を短くする待機電力低減法を開発した。

これにより、1 W 以下の低出力非接触充電器における待機電力を、従来の 0.95 W から 0.35 W 低減する 0.6 W を実現している。

In a low-output non-contact battery charger, a method of reducing stand-by power has been developed by detecting a change of coil inductance in the charger and reducing the on time of the switching element for high-frequency oscillation without requiring a coil or modulation/demodulation circuit for detecting the equipment to be charged.

The developed method reduces the stand-by power of a low-out non-contact charger of 1 W and below from the previous level of 0.95 W to 0.6 W by cutting 0.35 W.

1. ま え が き

非接触充電とは絶縁物を介して電力を送るシステムの中で、主なメリットとしては、①置くだけで充電できる、②接触不良による故障がない、③掃除がしやすいなどが挙げられる¹⁾。

非接触充電では金属接点がなく、ある程度の決められた位置に置くだけで機能する。とくに水周りやほこりが多い場所では、通常の接点充電よりも寿命で有利となる。また非接触充電部はフラットにできるため、汚れが簡単にふき取れて清潔に保つことができる。

非接触充電ではニッケル水素電池、リチウムイオン電池などの2次電池を充電する製品が実用化されており、当社でも約30年前から電動歯ブラシに、約15年前から電気シェーバ²⁾に採用している。

シェーバ用非接触充電システムは出力が5 W程度と大きく、充電器の上に金属が置かれると誘導加熱で温度が高くなり危険なため、本体機器を搭載していない場合は間欠発振するようになっている。その構成は非接触充電コイルの電力伝送用コイルと電力受電用コイル、およびそれぞれに別途設けた情報伝送用コイルから成る。

一方、電動歯ブラシなどの1 W以下の低出力非接触充電

システムは、充電器の上に金属が置かれてもあまり温度が上昇しないため、充電器側はつねに発振回路が動作している。

ニッケル水素電池を2本直列にしたものを充電するような入力電圧が5 Vと低い非接触充電システムにおいては、本体機器が搭載されていないときは電力伝送用コイルのインダクタンス値が小さくなり、回路構成によっては入力電力が通常充電時よりも大きくなることもある。そのため、待機電力を低減し、商用電源をDC 5 Vに変換する電源回路の定格を大きくしないように、本体機器が搭載されていないときの入力電力を低減する必要がある。また、シェーバ用充電器のように別の通信用コイルを設けるとサイズが大きくなりコストも高くなるため、簡易的な制御方法が要求される。

そこで、1 W以下の低出力システムにおいて、本体機器が搭載されている場合とされていない場合を電力伝送用コイルの電圧で判断し、本体機器が搭載されていない待機時の電力を低減する回路を開発したので以下に報告する。

2. 非接触充電システムの概要

非接触充電システムの構成を図1に示す。充電器と本体機器から成り、動作原理としてはスイッチング電源のトラ

* 電器事業本部 電器R & Dセンター Research & Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

** 電器事業本部 新規デバイス開発推進部 New Devices Business Promotion Department, Home Appliances Manufacturing Business Unit

ンスを分割したような構成で、充電器側において入力電圧 DC 5 V で発振回路を動作させて電力伝送用コイルに 200 kHz 程度の高周波電流を流す。このとき発生する磁束がハウジング等の絶縁物を介して本体機器の電力受電用コイルに鎖交する。この磁束によって電力受電用コイルに誘導される高周波電流を整流・平滑し、2次電池に電力を送って充電するというものである。2次電池にはニッケル水素電池を2本直列に接続したものをを用いている。なお、電力伝送用コイルと電力受電用コイルのギャップは6 mm である。

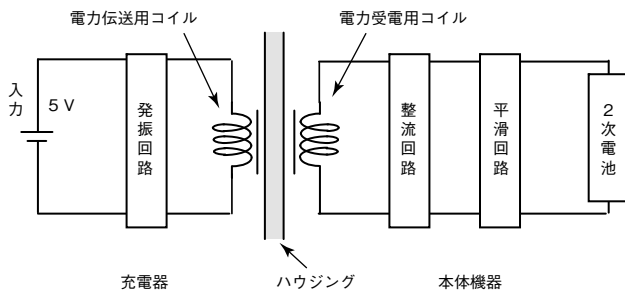
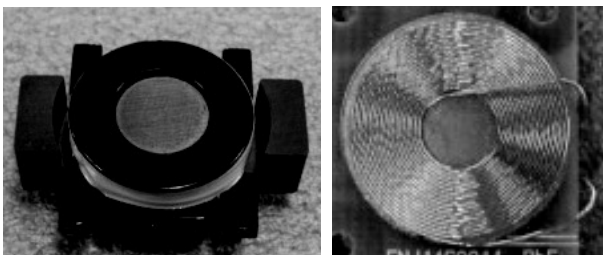


図1 非接触電力伝送の概要

3. 非接触充電コイル

非接触充電コイルを図2に示す。充電器側の電力伝送用コイルは汎用 EER35 コアに銅線を巻いた構造となっている。コアサイズは長さ 35 mm である。本体機器側の電力受電用コイルは銅線を1層のみ巻いた外径 20 mm 程度の薄型コイルに同サイズの磁性体を貼り合わせた形状になっており、コイルと磁性体を合わせた厚みは約 1 mm である。電動歯ブラシなどの 1 W 以下の非接触充電システムでは、ギャップが 3 ~ 4 mm 程度で磁性体なしで出力を得ていた。しかし開発したシステムでは、電力伝送用コイルと電力受電用コイルの距離を 6 mm と長くする必要があることから、電力伝送用コイルから出る磁束が電力受電用コイルに鎖交しやすくするために磁性体を入れている。また、磁性体を入れることで電力伝送コイルに流す電流を低減でき、待機時においてもこれに流す電流を低減できる。



(a) 電力伝送用コイル (b) 電力受電用コイル

図2 非接触充電コイル

4. 非接触充電回路

非接触充電用の充電器側基本回路は、シェーバ用の非接触充電回路にも用いられている1石電圧共振型^{3), 4)}を採用している(図3)。この方式はスイッチング素子が1個であることから回路構成が簡単でソフトスイッチングするため FET 損失が少なく、また電圧が正弦波に近いのでノイズが小さい。一方、回路の発振周波数を高く設定するほうが小型化できるが、その反面、非接触充電用コイル自体の高周波損失や FET のスイッチング損失が増大して効率が低下する。そこで周波数は、実験から求められたもっとも効率の良い 200 kHz 程度にしている。

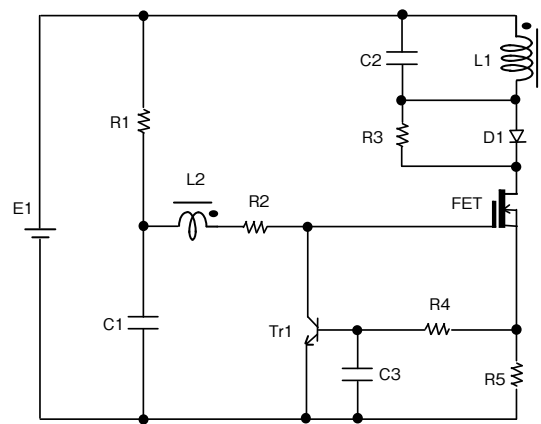


図3 非接触電力伝送用基本回路

電力伝送側回路の動作を以下に示す。

- (1) 電力伝送用回路がオンになると、抵抗 R1 とコンデンサ C1 に電流が流れて C1 の電圧が高くなることから、帰還巻線 L2, 抵抗 R2 を介して FET のゲート電圧も高くなり、FET がオンする。
- (2) コンデンサ C2 と電力伝送用コイル L1 を通してダイオード D1, FET, 抵抗 R5 の経路に電流が流れる。
- (3) FET に流れる電流は次第に大きくなり、R5 の電圧も高くなる。R5 の電圧が上昇するとコンデンサ C3 の電圧も上昇し、0.6 V 程度になるとトランジスタ Tr1 がオンして FET のゲート電圧が低下すると FET がオフとなる。これにより、L2 の誘起電圧方向性が反転して FET はオフを維持する。
- (4) FET がオフすると、L1 に流れている電流が C2 に転流して L1 と C2 の共振動作に入る。共振してしばらくすると L2 の電圧が上昇し始め、FET が再度オンする。

(1) ~ (4) を繰り返し、安定した状態で発振が維持される。なお、R4 と C3 は Tr1 が一定期間オンを維持させる働きをする。

本体機器側の回路を図4に示す。負荷整合用コンデンサ C4 を入れることによって電力受電用コイルと C4 で共振さ

せ、出力を取り出しやすくして変換効率を上げている。また、ダイオード D2 とコンデンサ C5 で整流・平滑している。

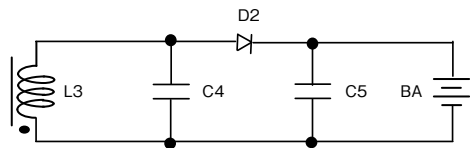


図4 非接触電力受電用基本回路

5. 待機電力の低減

非接触充電での待機電力を低減する場合、本体機器から情報を伝送すると簡単にできるが、その信号も非接触で伝送する必要がある。しかし、情報伝送用コイルや変調復調回路を追加すると、装置のサイズが大きくなり、コストも高くなってしまう。

そこで、サイズ、コストを増やさずに待機電力を低減するため、電力伝送用コイルの電圧に着目する。図5に示すように充電中は電力伝送用コイルと電力受電用コイルが結合しており、電力伝送用コイルのインダクタンスは本体機器の磁性体の影響を受けるため、本体機器がない場合よりも大きくなる。

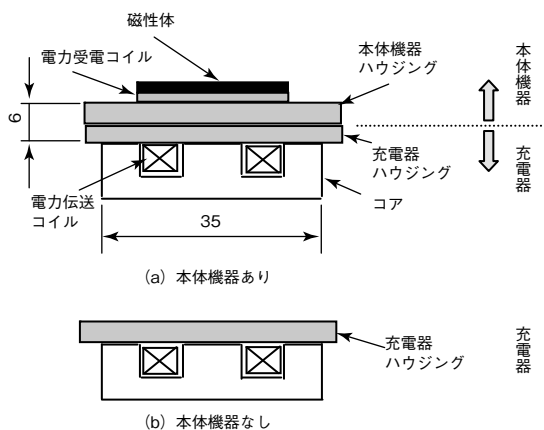


図5 コイルインダクタンス差異

電力伝送用コイルのインダクタンス L1 の変化を検出するため、図3の回路にダイオード D3、抵抗 R6、R7、コンデンサ C6、トランジスタ Tr2 で構成する電圧検出回路を追加する(図6)。

この回路がない場合、R4 と C3 があるため、R5 に掛かる電圧が既定電圧になってもすぐに Tr1 はオンしない。したがって、L1 が小さくなるとそこに流れるピーク電流 I_p が大きくなる。

L1 の最大印加電圧は、オン時にコンデンサ C2 に蓄えられたエネルギー ($C2 \times V^2/2$) と L1 のリーケージインダクタンス成分 L_e に蓄えられたエネルギー ($L_e \times I_p^2/2$) が共振時に C2 のエネルギーのすべてが L1 に移行したときであるが、FET オン時に C2 に蓄えられるエネルギーは

本体機器のありなしで変わらないため、 L_e に蓄えられるエネルギーの大きさで決定される。

L_e は、本体機器があるときは L1 と L3 が磁気結合しているために $14.7 \mu\text{H}$ であり、本体機器がないときは L1 すべてがリーケージインダクタンスとなって $16.0 \mu\text{H}$ であることから、本体機器がない場合のほうが大きくなる。

以上から、L1 に蓄えられるエネルギーは、本体機器がないときのほうがあるときよりも L_e および L1 に流れる電流ともに大きくなるため、共振電圧も高くなる。

この電圧を図6の R6、R7 で分圧し、Tr2 を駆動することで電圧検出回路を構成する。本体機器がなく共振電圧が高い場合は分圧も高くなり、Tr2 にベース電流が流れてターンオフを早くし、オン時間を短くするように制御する。また、通常時はこの回路が動作しないように定数設定する。

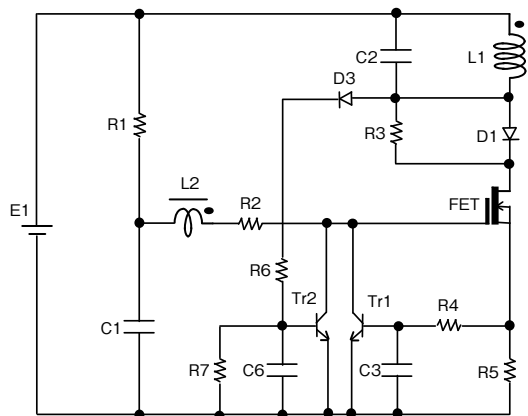


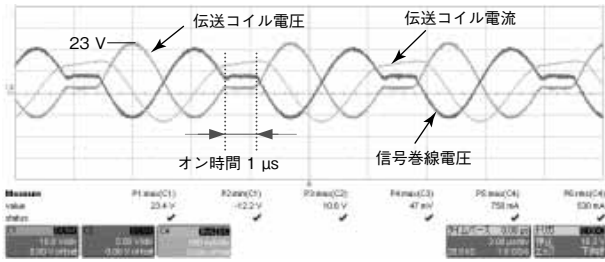
図6 待機電力低減基本回路

回路波形を図7に示す。この波形から、通常充電中の本体機器ありの場合は FET のオン時間が $1 \mu\text{s}$ でコイルピーク電圧は 23 V になっているのに対し、本体機器なしの場合は FET のオン時間が $0.3 \mu\text{s}$ と短くなり、電圧検出回路が動作していることがわかる。また FET のオン時間は短くなっているが、コイルピーク電圧は通常時のピーク電圧よりも高い 29 V となっており、つねに電圧検出回路が動作して待機電力を低減する状態で発振を続けることが可能となる。

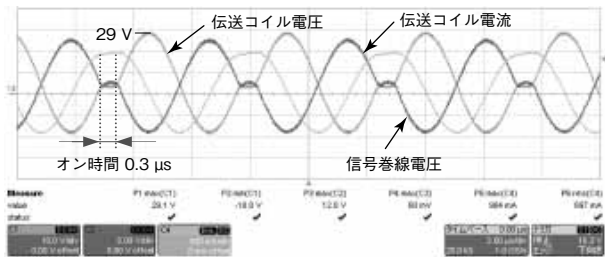
このように、本体機器がないときには FET のオン時間を短くして、入力電流や C2、L1 に流れる無効電流を少なくすることで待機電力を低減することができる。

また待機電力は、電圧検出回路がないときは 0.95 W 、あるときは 0.60 W となり、この回路を入れることにより 0.35 W 低減されている。

では、機器が置かれているかどうか分からないために充電器は絶えず動作していたが、開発した低出力非接触充電器はシンプルな回路構成で待機電力の低減が可能である。



(a) 本体機器あり



(b) 本体機器なし

図7 回路波形

6. あとがき

低出力非接触充電器において、充電器に本体機器が搭載されていないことを専用のコイルや変調復調回路を用いることなく充電器側コイルインダクタンスの変化で検出し、充電器の高周波発振用スイッチング素子のオン時間を短くする待機電力低減法を開発した。

これにより、1 W 以下の低出力非接触充電器における待機電力を、従来の 0.95 W から 0.35 W 低減する 0.6 W を実現した。

従来の電動歯ブラシなどで用いられている非接触充電器

*参考文献

- 1) 安倍 秀明, 北村 浩康: 家電機器における非接触給電技術, 電子情報通信学会電子通信エネルギー技術研究専門委員会非接触エネルギー給電システム技術研究会, p. 19-31 (2008)
- 2) 田村 秀樹, 山下 幹弘, 安倍 秀明, 秋定 昭輔, 北村 浩康: シェーバ用非接触充電技術の開発, 松下電工技報, No. 62, p. 29-34 (1998)
- 3) 北村 浩康, 岩尾 誠一, 山下 幹弘, 安倍 秀明, 亀岡 浩幸, 中山 敏: 誘導加熱によるシェーバ刃先の短時間乾燥, 松下電工技報, Vol. 56, No. 1, p. 78-82 (2008)
- 4) 北村 浩康, 岩尾 誠一, 山下 幹弘, 安倍 秀明, 亀岡 浩幸, 中山 敏: アダプタ出力を用いた高効率誘導加熱回路, 電気学会全国大会, Vol. 4, p. 41 (2007)

◆執筆者紹介



北村 浩康
電器 R & D センター



加田 恭平
新規デバイス開発推進部