

スマートフォンを選択的に起動させる外付けウェイクアップ回路

池内 尚史[†] 高木 雅[†] 角谷 和宣[†] 邱 浩[‡] 高宮 真[‡] 川原 圭博[†]

[†] 東京大学大学院情報理工学系研究科 [‡] 東京大学生産技術研究所

1 はじめに

本稿では、選択的にスマートフォンを起動させる回路の実装について報告する。提案する回路はこれまで我々が提案してきた、スマートフォンの充電端子に取り付けるウェイクアップ回路を元にしている。従来の回路では送電源の周囲に配置した複数の端末が全て起動してしまうという課題が残されていた。本稿で提案するシステムでは、オンオフ変調（OOK）により埋め込まれたIDを受信側で復調することで、指定したデバイスの選択的起動を実現する。

2 スマートフォン遠隔ウェイクアップ回路

スマートフォンを遠隔起動するための回路に求められる機能は、(1) マイクロ波を整流・昇圧してウェイクアップに必要な数十 mJ のエネルギーを取り出す機能、(2) マイクロ波に埋め込まれたID情報を可能な限り忠実に出力する機能の2点である。とりわけマイクロ波給電によって得られる電力は高々0.05 mW程度に過ぎず、条件(1)を満たすことはチャレンジングであったが、電圧監視モジュールを活用して放電制御を行い、蓄電回路に十分電荷を蓄えてから放電させることで、これを実現した。[1, 2]。しかし、条件(2)は実現しないままであった。

3 選択的なウェイクアップ

無線信号を用いて複数あるデバイスを選択的に起動させる技術としては、省電力化のために受信回路の一部のみを動作させ、逐次必要な機能を起動させていく多段ウェイクアップ手法が提案されている[3]。この手法では、マイクロ波給電を検知したウェイクアップ回路がID検知回路を起動させ、その後に来るID情報でマッチングを行った後に端末本体を起動させる。この手法では、ID検知を行うロジック回路に対して給電

を行う必要がある。しかし、電源オフ状態のスマートフォンは周辺機器に対する電源供給を行えない。そこで我々は、スマートフォン内部でID検知を行う手法を提案してきた[2]。この手法ではウェイクアップ回路にID検知用の回路を必要とせず、無駄な電力消費を抑えられる。[2]は、ウェイクアップ指令を受信したスマートフォンはAndroid OSのベース部分であるLinuxカーネルのみを起動し、IDマッチングを行い、受信したID情報と自身が保有するIDが一致した場合にのみAndroid OSを起動させるものである。Linuxカーネル上では、スマートフォンの充電端子への電圧印加を検知できるため、電圧印加の有無によるオンオフ変調でID情報を伝える。

さらに我々は、整流昇圧回路の出力抑制ピンを活用し、入力電波が存在している間はウェイクアップ回路内に蓄電して待機し、入力電波がなくなった際に放電を行えるようにした。すなわち、入力電波が存在している間はスマートフォンに対して電圧印加を行わず、存在してない間は電圧印加を行う受信回路を設計・試作した。

4 選択的ウェイクアップ回路が満たすべき要件

我々の提案する回路が満たすべき要件は以下の3点である。

1. スマートフォンが認識可能な電圧印加時間を維持すること
2. ウェイクアップ指令とデバイスIDの伝達を、単一周波数帯のマイクロ波電力伝送で行うこと
3. 整流昇圧モジュールの再利用によりコストを削減すること

要件1は、これまでスマートフォンがLinuxカーネル上で電圧印加の有無を認識するために必要な電圧印加時間、印加停止時間のそれぞれについて測定した際の結果を反映したものである[2]。ここで、電圧印加がなされると、スマートフォンは1を認識し、それ以外は0を認識する。要件2は、ウェイクアップする際も、ID情報を伝達する際もスマートフォンの充電端子に電圧

External Wake-up Circuit for Triggering Smartphones' Boot

Takashi IKEUCHI[†], Masaru TAKAGI[†], Kazunobu SUMIYA[†], Qiu HAO[‡], Makoto TAKAMIYA[‡] and Yoshihiro KAWAHARA[†]

[†]Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo[‡]Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

[†]{ikeuchi, takagi, sumiya, kawahara}@akg.t.u-tokyo.ac.jp

[‡]{hqi, mtaka}@iis.u-tokyo.ac.jp

を印加する必要があり、それぞれに異なる通信方式を利用することによる回路の冗長性を防ぐためである。

4.1 提案する回路構成と動作概要

出力抑制機能を付加した際の動作は、出力抑制端子に電圧が印加される場合、蓄電回路の放電開始電圧が越えていても放電を抑制し(イネーブル状態)、電圧が印加されていないときはこれまでと同じ動作をする。このとき、イネーブル状態の際は出力抑制端子に所定の電圧印加が必要となる。このため、イネーブル状態の維持のために必要なコンデンサを用意し、入力電波が有る際は出力抑制端子に電圧印加をし、ない場合は電圧印加を行わない用にした、しかし、スマートフォンへの放電用の蓄電回路と出力抑制機能用の蓄電回路の2つ、それぞれ C_{main} と C_{detect} 用意したため、これら2つを入力電波がある際に給電する必要がある。そこで、時分割で給電することを検討し、スイッチング機能を追加した。スイッチング機能にはタイマ回路とMOSFETのスイッチング回路からなる。タイマ回路はスマートフォンへ放電を行う際に必要なコンデンサを電源とするため、この受信回路は待機電力が0の状態でもマイクロ波給電により動作する回路となる。

図1に提案する受信回路を示す。この選択起動回路は電波の入力がある時はスマートフォンへの出力を行わず、電波入力がない場合はスマートフォンへの出力を行う。電波入力が行われている際は、初期状態と定常状態の2つの状態が存在する。

初期状態は、 C_{main} を電源として動作するタイマ回路が動作していない状態である。この際、スイッチは C_{main} 側をオンにし、整流された電流が C_{main} に流れるようにしている。定常状態はタイマ回路が動作している状態である。この際、整流された電流は C_{main} と C_{detect} を交互に充電する。

4.2 パラメータ設計

受信機を設計する上で必要なパラメータはタイマ回路の周波数と出力抑制端子に接続されている C_{detect} の容量である。前者は出力時間に関係し、シュミットトリガインバータに接続されているコンデンサの容量と抵抗値で決まる。これは、スイッチが C_{main} 側に接続されている間でないとスマートフォンへの放電が行われないからである。後者は信号入力がある際、出力の抑止を保証するのに必要である。

本稿ではタイマ回路にシュミットトリガインバータとコンデンサと抵抗を組み合わせた発振回路であり、基本的には C と R の時定数により決定できるが、シュミットトリガインバータの場合はしきい値が複数あるため、解析的に解くのは難しい。そのため、 C と R の組み合わせを手探りで決めた。結果は表1に示した。

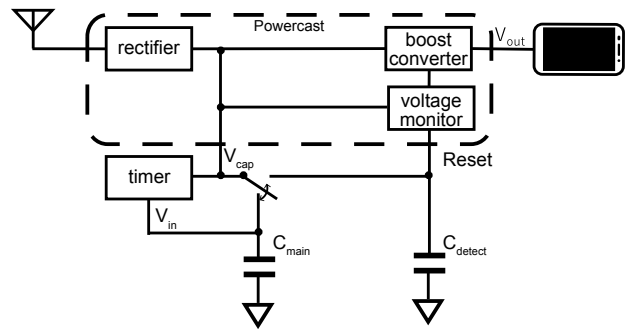


図1: 提案するスマートフォン選択起動受信回路の概要図

表1: タイマ回路のパラメータ

機種	コンデンサ容量 (μF)	抵抗 ($\text{M}\Omega$)	給電オンの認識時間 (ms)
Nexus 5	0.1	5.14	330 [2]
Nexus 6	0.1	5.65	350 [2]
Nexus 5X	0.33	5.66	1150 [2]
Nexus 6P	0.33	4.40	900 [2]

出力抑制端子には $10\text{ k}\Omega$ のプルダウン抵抗があり、イネーブル状態を満たすには出力抑制端子に 0.5 V 以上の電圧を印加する必要がある。そのため、 C_{detect} の容量は、スイッチが C_{detect} 側になっている間に充電を行い、 C_{main} のスイッチがオンになっている際に C_{detect} から電荷が漏れ出しても出力抑制端子に 0.5 V 以上の電圧が印加されてことを保証する必要がある。表1から給電オン時間が最も長い Nexus 5X を考えると、タイマ回路の周波数は 0.87 Hz であり、この時間を保証するために必要なコンデンサ容量は $100\text{ }\mu\text{F}$ 以上となる。

5 まとめ

本稿では電源オフ状態のスマートフォンをマイクロ波電力伝送を応用して選択的にスマートフォンを行うための受信機を提案し、実装に必要なパラメータの検討を行った。今後は実際にスマートフォン実機を用いた実証実験を行う必要がある。

謝辞

本研究は JST ERATO 川原万有情報網プロジェクト (JPMJER1501) の一環として実施された。

参考文献

- [1] Bi, S., Ho, C. K. and Zhang, R.: Wireless powered communication: opportunities and challenges, IEEE Communications Magazine, Vol. 53, No. 4, pp. 117–125 (2015).
- [2] 高木 雅, 池内尚史, 川原圭博, 浅見 徹: B-18-1 Android 端末による間欠センシングのためのマイクロ波給電を用いた選択的遠隔起動トリガ, 電子情報通信学会総合大会 講演論文集 (2017).
- [3] Takiguchi, T., Saruwatari, S., Morito, T., Ishida, S., Minami, M. and Morikawa, H.: A Novel Wireless Wake-Up Mechanism for Energy-Efficient Ubiquitous Networks, 2009 IEEE International Conference on Communications Workshops, pp. 1–5(2009).