

LSI 電源供給系のコモンモードノイズ制御技術

A COMMON-MODE NOISE CONTROL TECHNIQUE FOR POWER SUPPLY LINES OF LSIS

馬淵雄一¹

Yuichi Mabuchi

松嶋徹¹

Tohlu Matsushima

和田修己¹

Osami Wada

京都大学大学院工学研究科電気工学専攻¹

Department of Electrical Engineering, Kyoto University

1 まえがき

マイコンが搭載された電子機器において、自らの回路や他の電子機器との電磁的な干渉 (electromagnetic interference; EMI) を抑制することが重要な課題となっている。また、プリント回路基板 (printed circuit board; PCB) の配線を流れるコモンモード電流から、不要電磁放射量を適切に推測可能であることが報告されており [1], 電子機器における EMI 対策には、機器動作時におけるコモンモード電流の発生を抑制することが重要となる。文献 [2] において、PCB 上の回路動作による二つのコモンモード電流発生メカニズムが提案されている。これらは、回路動作時に発生する高周波電流によるもの (電流駆動型) と、電圧変動によるもの (電圧駆動型) である。我々は、前者のメカニズムで発生するコモンモード電流に対し、マイコンが実装された PCB 上の電源配線と GND 配線のインピーダンスを適切にバランスさせることで、コモンモード電流の発生量を制御できることを示した [3]。

本報告では、マイコンチップを封入するパッケージにおいて、電源配線と GND 配線のインピーダンスをバランスさせることで、コモンモード電流の発生量を制御し、最小化する技術について述べる。コモンモードノイズの測定には、ワークベンチファラデーケージ (workbench Faraday cage; WBFC) とハイブリッドバランによる評価手法を用いた [4]。パッケージレベルでのコモンモード電流制御技術により、マイコン搭載電子機器の低 EMI 化が、従来よりもより容易に実現可能になると考える。

2 コモンモードノイズ制御技術

マイコン動作時において、チップ内部の CMOS 回路のスイッチング時に、電源から GND へ貫通電流が流れる。評価に用いたマイコンでは、チップ内部のクロック状態が、'Low→High' および 'High→Low' に切替わる時に、多数の CMOS 回路において貫通電流が流れる。従って、貫通電流による高周波電流は、マイコン動作の偶数倍周波数に強いピークを持つ。この高周波電流によるコモンモード電流発生メカニズムを図 1 に示す。高周波電流の多くは、マイコン近傍に実装されたバイパスキャパシタを経由して、再びチップへと帰還する。バイパスキャパシタのインピーダンスが、チップからバイパスキャパシタまでの配線インダクタンスによるものよりも小さく、等価的に短絡とみなすことが出来る周波数帯域では、図 1(c) に示す単純なブリッジ回路として取扱うことが出来る。これより、アンテナとなりうる PCB 配線やワイアハーネスにおけるコモンモード電流を抑制するには、マイコンからバイパ

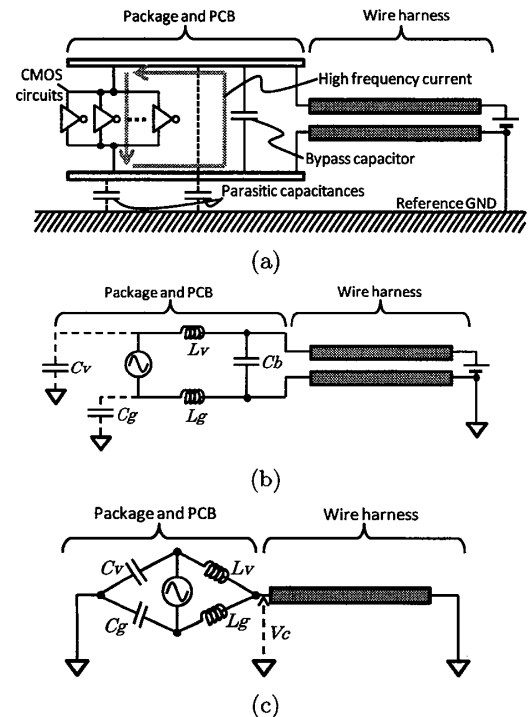


図 1 マイコン搭載電子機器のコモンモード電流発生メカニズムと制御方法

スキャパシタまでの配線インダクタンス (L_v, L_g) と、これら配線と Reference GND との間の寄生容量 (C_v, C_g) を、式 (1) を満足するように制御し、Reference GND との間のコモンモード電圧 (V_c) を最小化すればよい [3]。

$$L_v C_v = L_g C_g$$

$$\therefore \log \left(\frac{L_v}{L_g} \right) + \log \left(\frac{C_v}{C_g} \right) = 0 \quad (1)$$

そこで、電源および GND 配線のインピーダンスをバランスさせるための回路を内蔵したパッケージを開発した。このパッケージの電源系に対する等価回路を図 2 に示す。インピーダンスバランス化回路は、チップインダクタとチップキャパシタから構成される。本回路のチップインダクタの値を調整することで、電流駆動型で発生するコモンモード電流を制御する。また、チップ内部の降圧回路用のチップキャパシタと発振回路用のセラミック振動子も同時にパッケージに内蔵する。開発したパッケージを図 3 に示す。本パッケージのサイズは、従来の QFP と同等であり、PCB とはソルダボールにより接続される。

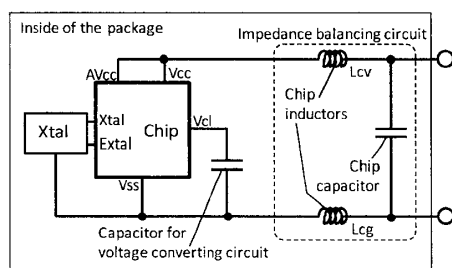


図2 開発パッケージの等価回路(電源系のみ)

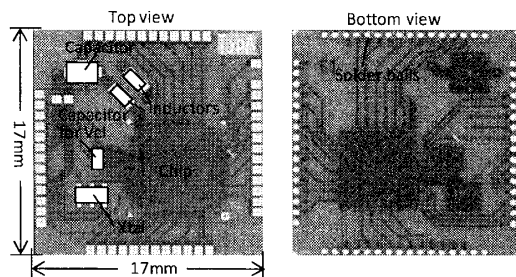


図3 開発したパッケージ

3 コモンモード電圧測定

3.1 WBFCを用いた測定手法

図4に, WBFCとハイブリッドバランを組合せた, コモンモード電圧測定セットアップを示す. 本手法では, 2本のプローブにより, PCBの電源コネクタ位置における電源とGND端子の電圧変動を, それぞれ測定する. これらプローブにより測定された電圧は, ハイブリッドバランに入力され, ここでベクトル和に換算することで, デファレンシャルモード電圧をキャンセルする. この出力をスペクトラムアナライザにて測定し, PCBのコネクタ位置におけるコモンモード電圧(図1(c)の V_c に対応)のみを評価する. ハーネスでの高周波電流の不要な反射や共振を避けるため, マイコンを駆動するための電力は, プローブから直接供給される.

3.2 インピーダンスバランスによるコモンモード電圧最小化

パッケージ内部のインピーダンスバランス化回路におけるチップインダクタ値をパラメータに, PCB電源コネクタにおけるコモンモード電圧を図4の構成で測定した結果(スペクトラムアナライザの入力レベル)を図5に示す. この結果より, マイコン動作周波数(16MHz)の偶数倍周波数の多くは, 実装するチップインダクタ値(L_{cv} , L_{cg})

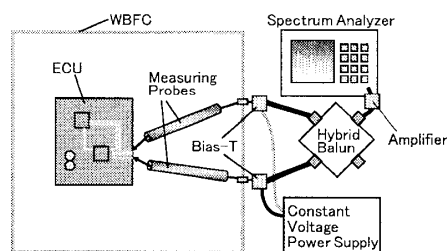


図4 WBFCを用いたコモンモード電圧測定セットアップ

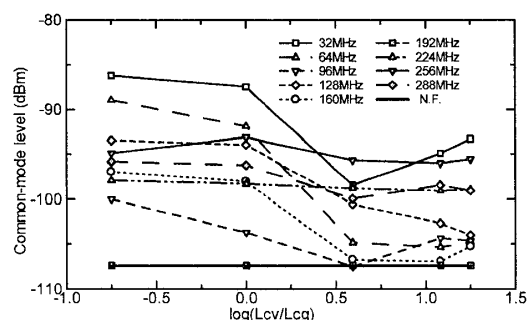


図5 チップインダクタ値を変化させたときのコモンモード電圧変化の測定結果

によってコモンモード電圧が変化している. 特に, 32MHzおよび64MHz, 96MHzでは, $\log(L_{cv}/L_{cg}) \approx 0.6$ でコモンモード電圧が最小値となっている.

4 むすび

電子機器の低EMI化を目的に, 内部にインピーダンスバランス化回路を有するパッケージを開発した. WBFCを用いたコモンモード電圧測定により, パッケージ内部のインピーダンスバランス化回路におけるチップインダクタ値により, マイコン動作時の電流駆動型で発生するコモンモード電圧を制御可能であることが分かった. 特に, 測定した一部の周波数では, コモンモード電圧を最小化できることが分かった.

5 謝辞

本研究を進めるにあたり, 評価用のマイコンチップをご提供いただいた, (株) ルネサステクノロジの中村篤氏に深く感謝致します.

参考文献

- [1] C.R.Paul, "A comparison of the contributions of common-mode and differential-mode currents in radiated emissions", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol.31-2, pp.189-193, May 1989.
- [2] D.M.Hockanson, J.L.Drewiak, T.H.Hubing, T.P. Van Doren, F.Sha, M.J.Wilhelm, "Investigation of fundamental EMI source mechanisms driving common-mode radiation from printed circuit boards with attached cables", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol.38-4, pp.557-566, Nov. 1996.
- [3] 馬淵雄一, 中村篤, 林亨, 市川浩司, 鶴生高德, 水野広, "ワイアハーネスが接続された電子機器の電源系コモンモード電流発生メカニズムおよび低減手法の検討", 信学論(C) Vol.J89-C, No.11, pp.854-865, Nov. 2006.
- [4] Y.Mabuchi, A.Nakamura, T.Uno, T.Matsushima, O.Wada, "A new approach for measurement of common-mode voltage fluctuation with WBFC", *2009 Int. Symp. on Electromagn. Compat.*, pp.425-428, Kyoto, Japan, Jul. 2009.