

学 位 論 文 の 要 旨

スイッチング電源回路におけるループゲイン測定法の研究

氏 名 築地 伸和 印

本論文は、スイッチング電源回路におけるループゲインの測定法に関する研究成果について記述したものである。近年、DC-DC コンバータは集積回路として部品メーカーによって供給されており、これらは様々な電子機器の中で多く使用されている。DC-DC コンバータは負帰還技術を利用したスイッチング電源回路の一つであり、位相補償の設計が必要である。位相補償が適切に設計されていない場合、出力は不安定になり発振状態となる。したがって、位相補償設計には最終製品における様々な定数のばらつきを考える必要がある。さらには、試作品や最終製品にてループゲインを測定し、電源回路の安定性を評価することが大変重要である。電源回路の安定性指標としては位相余裕がよく知られており、これは電源回路のループゲインを測定することで評価することができる。ループゲインの測定法としては、電圧注入法が一般によく使用されている。この方法は、帰還回路の一部に AC 電圧源を挿入し、挿入点前後の振幅と位相を測定することにより、簡単にループゲインを得ることができる。しかし、電圧注入法には次の2つの問題点がある。

- 1) AC 電圧源を帰還回路内に挿入するために回路を切断する必要がある。
- 2) AC 電圧源の挿入点に対する入出力インピーダンスの制約条件がある。

例えば、製品の試作段階における評価で電圧注入法を使用する場合、1)は問題にならない。しかし、最終製品の出荷前テストのような場合、帰還回路を切断することができないため1)は問題となる。このような場合に対応するためには、帰還回路を切断せずにループゲインの測定が可能な方法が必要である。また、電圧注入法で2)の制約条件を満たす場合にのみ、ループゲインの測定値はループゲインの真値と等しくなる。したがって、2)の制約条件を満たさない場合、電圧注入法によるループゲインの測定値には誤差が生じてしまう。より高精度かつ広範囲に適応可能なループゲイン測定法としては、原理的に2)のような制約条件がないことが望ましい。

本論文では、電圧注入法における上記2つの問題点を改善する方法として、出力インピーダンスを用いたループゲイン測定法を提案した。提案方法では、測定対象の開ループ条件および閉ループ条件における2つの出力インピーダンスを測定し、両者の結果を用いてループゲインを算出する。出力インピーダンスは、測定対象の出力端子に AC 電流を注入し、注入電流と出力電圧の変化を測定することで得られる。これらの測定はすべて出力側から行うため、提案方法では帰還回路を切断することなくループゲインを測定することが可能である。また、提案方法は原理的に信号源の挿入点に対する入出力インピーダンスの制約条件が発生しない。すなわち、提案方法では電圧注入法における1)および2)の問題は生

しない。本研究では、出力インピーダンスを用いたループゲイン測定法の原理導出、シミュレーション検証および電源 IC を用いた実機検証を行い、提案方法と電圧注入法によるループゲインの測定結果が安定性評価に十分な精度で一致することを確認した。

本論文の構成は以下のとおりである。第 1 章では、序論として研究背景を述べたのち、従来のループゲイン測定法を紹介し、その問題点について記述した。第 2 章では、DC-DC コンバータのループゲイン導出方法および導出過程を記述し、DC-DC コンバータにおけるループゲインの特徴を分析した。第 3 章では、出力インピーダンスを用いたループゲイン測定法の原理を導出し、シミュレーション検証、電源 IC を用いた実機検証について記述した。第 4 章では、本論文の総括を記述した。

学 位 論 文 の 要 旨

A Study on Loop Gain Measurement Method in Switched Mode Power Supply

氏 名 築地 伸和 印

This paper describes research on the loop gain measurement method using output impedance in the switched mode power supply. In recent years, dc-dc converters are supplied by component manufacturers as integrated circuits, which are often used as power supply circuits in various electronic devices. The dc-dc converter is one of the power supply circuits that use negative feedback and so require appropriate phase compensation design. If it is not well designed, the output becomes unstable. Therefore, it is necessary to consider the variation of various parameters in the final product. Furthermore, it is also very important to evaluate the stability of the power supply circuit by measuring the loop gain in prototype and final product. Phase margin is well known stability indices of the power supply circuit, and these can be evaluated by measuring its loop gain. In general, the loop gain is often measured by the voltage injection method, which determines the loop gain by measuring the amplitude and phase differences between the AC voltage source injected into the feedback loop. However, the voltage injection method has the following two problems.

- (1) It is necessary to inject an ac voltage source into the feedback loop with breaking the feedback loop at the signal injection point.
- (2) It is necessary to satisfy the requirements of the impedance at the signal injection point.

For example, when using a voltage injection method in the evaluation of the prototype stage, (1) is not a problem in this case. However, if the test at the final product, it is very difficult to break the feedback loop. In such a case, (1) is a problem. In order to enable measurements in such a case, it is necessary to measure a loop gain without breaking the feedback loop. The voltage injection method only when satisfying the condition of (2), the measured value of the loop gain is equal to the true value of the loop gain. Therefore, if the condition is not satisfied in (2), an error occurs in the measurement value of the loop gain by the voltage injection method. For a more accurate and widely adaptable loop gain measurements, it is desirable that no conditions such as (2) in principle.

In this paper, we propose a method to derive the loop gain from the open-loop and closed-loop output impedances in the switched mode power supply. In order to measure the output impedance, a current injection to the output terminal is required. However, there is no need to inject a voltage source to break the negative feedback loop as the voltage injection method. Also, the measurement accuracy of the proposed method does not depend on the input and output impedances at the signal injection point. Our simulation results showed that the loop gain obtained from the proposed method exactly matches with the one from the conventional method. Furthermore, we showed the experimental results of applying the proposed method to a dc-dc buck converter. They show that adequate evaluation of the phase margin is possible with the proposed method.

The organization of the paper is as follows: Chapter I presents research background for introduction. Problems of the conventional loop gain measurements are also described. Chapter II presents a method of deriving loop gain of the DC-DC converter to analyze the characteristics of its loop gain. Chapter III presents our proposed method, and discuss the simulation and measurement results. Chapter IV summarizes the contents of this paper.