

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 検査装置向け広帯域および低雑音の増幅器・等化器に関する研究
(Study on wide-bandwidth and low-noise amplifiers / equalizers for test apparatuses)
熊本大学大学院自然科学研究科 情報電気電子工学専攻 人間環境情報講座
(主任指導 常田 明夫 准教授)

論文提出者 高橋 昌義
(by Masayoshi Takahashi)

主論文要旨

近年、電子機器は一層の高性能化が進展しており、その構成部品である増幅器や A/D 変換器などのアナログ IC または同機能を搭載するマイクロコントローラでは、微小かつ広帯域なアナログ信号への対応が強く求められている。また、半導体プロセスも研究・開発が盛んであり、さらなるトランジスタや配線幅などの微細化が進められている。アナログ IC や半導体プロセスの研究・開発には、特性評価や出荷試験を行う検査装置が必須である。

そこで本論文では、検査装置向けの広帯域および低雑音の増幅器・等化器について、特に装置内の高周波アナログ信号伝送に必須のゲイン等化器（以下イコライザと記す）と、光検出部で必要となる広帯域かつ低雑音のトランスインピーダンスアンプについて述べている。

アナログ信号伝送部は、一般的に同軸ケーブルやプリント基板内配線で構成されるが、伝送する信号が高周波になるに従い、配線の表皮効果や誘電損により信号ゲイン損失が増大して信号の帯域幅が減少する問題がある。この信号ゲイン損失を補償するため、伝送経路上にイコライザを配置し、減衰した信号の補償が行われている。ここでアナログ信号伝送では、信号帯域内で高い利得平坦性が求められ、例として利得の変動幅が $\pm 0.4\text{dB}$ 以内の高い平坦性であることが装置仕様として求められる。したがってケーブルやプリント基板の材質や配線長の違いなどによる損失特性の変化に対応するため、信号損失補償のピーク量および補償周波数範囲の高精度な調整が可能なイコライザが必須となる。

また、光学検査装置の検出用センサ部は、被検査対象からの光信号を検出して電流に変換して出力するフォトダイオードと、同電流信号を電圧に変換するトランスインピーダンスアンプで構成される。ここで検査装置では、散乱する反射光を安定して検出するために、受光面積の大きなフォトダイオードを用いる必要がある。受光面積の増加に比例してフォトダイオードに発生する寄生容量が増大すると、トランスインピーダンスアンプの信号帯域が低減し、かつ高周波でのノイズが増加する問題が生じる。この寄生容量の影響を抑制する一手法として、ブーツストラップ形トランスインピーダンスアンプなどの負性容量を用いたトランスインピーダンスアンプによる信号帯域の広帯域化は報告されているが、雑

音低減のための設計手法はまだ詳細に検討されていない。

本論文では、まず第 2 章でアナログ信号伝送の高周波信号損失補償を目的に、ローパスフィルタを用いたフィードフォワード補償形イコライザを提案し、その性能評価を行っている。提案回路は、補償対象である信号を 2 経路に分岐し、一方はそのまま信号を通過させ、もう一方はローパスフィルタで高周波信号を除去して出力し、その後段の減算回路で両信号の減算を行うことで、高周波でゲインピークを持つ回路特性を実現した。ローパスフィルタを用いた提案方式は、ハイパスフィルタを用いた従来方式と比較して、フィルタ後段の対グラウンド寄生容量によるフィルタの特性劣化を低減できるため、高周波でのゲイン補償量の設計および実現が容易であり、かつ信号の全高調波歪みも低減でき、アナログ信号伝送において有利である。本提案回路はチップ内蔵のローパスフィルタに対して外付けコンデンサを追加してゲイン補償の周波数帯域を 2.4GHz まで調整することができる。また、低周波帯域のゲインを基準としたゲイン補償量は、0dB から 2.4dB までの調整が可能である。さらに、全高調波歪みは従来回路と比較して 2GHz で 5dB の改善を達成し、これらの評価結果よりアナログ信号伝送に有用であるとの結論を得た。

第 3 章では、広帯域および低雑音化を目的に、負性容量を用いたトランスインピーダンスアンプについて述べている。本方式はコンデンサと低雑音アンプで構成される負性容量回路をフォトダイオードの寄生容量と並列に接続し、同寄生容量値を補正してトランスインピーダンスアンプの広帯域化と低雑音化を図っている。トランスインピーダンスアンプおよび負性容量回路の雑音特性を検討した上で広帯域化と低雑音化を両立する設計について述べ、さらに負性容量回路の差動信号化による低雑音化を提案し、設計とシミュレーションを行った。その結果、負性容量トランスインピーダンスアンプの -3dB カットオフ周波数は 590MHz であり、従来方式の -3dB カットオフ周波数である 320MHz と比較して約 2 倍の広帯域化が達成できた。また入力換算電流雑音は、一般的なトランスインピーダンスアンプが $51\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ であったのに比べ、提案方式は $39\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ と約 $1/\sqrt{2}$ に低雑音化でき、広帯域かつ低雑音のトランスインピーダンスアンプとして有用であるとの結論を得た。

以上、本論文では、検査装置内の高周波アナログ信号伝送に使用するイコライザおよび光検出部で使用するトランスインピーダンスアンプの広帯域・低雑音化を図った新しい回路を提案し、それらの性能を評価した結果、提案回路が従来手法と比較して有用であることを明らかにした。