

論文内容要旨（和文）

氏名 西山 延昌



論文題目 磁気ディスク装置におけるデータ伝送線路の
信号品質向上に関する研究

デジタルデータ量の急激な増加に伴い、磁気ディスク装置（HDD: Hard Disk Drive）の大容量化及び高速データ伝送化が求められている。

本論文では、磁気ディスク装置の性能の向上を目的として、データ伝送線路における記録再生信号の品質の向上に関する研究成果を報告した。特に記録再生信号に干渉する雑音の発生及び伝搬メカニズムを解明し、その低減を行うことを目的とした。第一には、磁気ディスク装置内部への外来雑音である環境電磁波の伝搬メカニズムの解明と伝搬低減方法の提案を行った。第二には、磁気ディスク装置内部で発生する共振雑音に対する発生メカニズムを解明し、発生抑制方法の提案を行った。

各章において下記の検討を行った。

第1章では、磁気ディスク装置の説明とデータ伝送における信号品質向上の背景と必要性を述べ、本論文の目的と構成の説明を行った。

第2章では、環境電磁波が磁気ディスク装置の筐体内部へ伝搬するメカニズムを明らかにし、伝搬を低減させるための施策を提案した。

- (1) 環境電磁波の筐体隙間を介した筐体内部への伝搬において、特定周波数の伝搬量が増加することを実験で示した。筐体隙間は、形状をスロットアンテナと考えることができ、その隙間の長さで定まる共振周波数を持つ。
- (2) 筐体隙間に金属製のVCMヨークが近接した状態では、共振周波数が隙間の長さで予測できる共振周波数より低周波数側へ変位することを実験で示した。低周波数側へ変位する要因は、誘導電流が筐体隙間に近接したVCMヨークに流れることにより誘導電流の往復伝搬時間が長くなるためであるということを計算と実験で明らかにした。

上記のメカニズムの理解により、誘導電流の経路を短絡し、経路長を短くする構造は、環境電磁波の特定周波数における筐体内部への伝搬量を低減させる有効な手段であることを明らかにした。

第3章では、磁気ディスク装置の筐体内部へ伝搬した環境電磁波が再生信号用の差動線路へ伝搬するメカニズムを明らかにし、伝搬を低減させるための線路構造を提案した。

- (1) 筐体内部へ伝搬した電磁波は金属製の磁気ヘッドのサスペンションに雑音を誘導し、その雑音はサスペンションからシングルエンドの線路へ重畳する。シングルエンドの線路から再生信号用の差動線路へ雑音伝搬したことを実験で明らかにした。
- (2) 雑音のシングルエンドの線路への伝搬量は、シングルエンドの線路と接地側線路で囲まれた面積に依存することを実験で示した。

上記のメカニズムの理解により、シングルエンドの線路と接地側線路で囲まれた面積を狭くした線路構造は、サスペンションに誘導された雑音のシングルエンドの線路への伝搬量を低減させるための有効な手段であることを明らかにした。

第4章では、アクチュエータを接地した経路における共振雑音の発生要因及び発生した雑音の再生信号用の差動線路への伝搬メカニズムを明らかにした。さらに、共振雑音の発生の抑制、差動線路への伝搬を低減させるための施策を提案した。

- (1) アクチュエータを接地した経路は、共振雑音の発生要因となる。これは、接地した経路をアクチュエータの機構系内部の静電容量 C とフレキシブルケーブル側の接地線路のインダクタンス L で構成する並列共振回路でモデル化することにより説明できる。
- (2) 磁気ヘッド内部のリード配線には、配線と磁気ヘッドの基材との間に寄生容量が生じる。リード配線へ重畳した雑音は、寄生容量と負荷との分圧で磁気ヘッドの電気端子から出力される。寄生容量の配線毎の違いにより配線間に差分が生じ、リード配線へ重畳した雑音から差動モードの雑音が作られる。この現象を実験で示し、雑音の再生信号用の差動線路への伝搬メカニズムであることを明らかにした。

上記のメカニズムの理解により、機構系の接地、および配線毎の寄生容量の差を無くすることが、共振雑音の発生抑制及び伝搬を低減させるための有効な手段であることを明らかにした。

第5章では、サスペンションテールでの再生信号に影響を与える 2 GHz 以上の電氣的な共振雑音の発生メカニズムを明らかにし、共振雑音の発生を抑制するための施策を提案した。

- (1) 差動線路の信号がサスペンションテールに雑音を誘導することによって、片側開放状態のサスペンションテールは、4分の1波長の電氣的な定在波共振を持つ。
- (2) サスペンションテールの電氣的な定在波共振は、LC 並列回路の共振として電気回路モデルで説明できる。電気回路モデルの L と C は、電磁界解析による電界と磁界の分布で表される。

上記のメカニズムの理解により、片側開放の状態を無くするための開放端における接地が、サスペンションテールの電氣的な定在波共振の発生を抑制させるための有効な手段であることを明らかにした。

第6章では、本論文のまとめと工学的意義を述べた。工学的意義は、以下の点があげられる。

- (1) 磁気ディスク装置の信号品質に影響する雑音の伝搬メカニズムおよび発生メカニズムを明らかにした。
- (2) 雑音の伝搬メカニズムおよび発生メカニズムを理解したことにより、雑音の伝搬低減や発生抑制の施策を提案した。これらの設計指針の適用により、磁気ディスク装置の開発に貢献できた。

論文內容要旨 (英文)

氏名 西山 延昌



論文題目 Signal Quality Improvement of Data Transmission System in Magnetic Hard Disk Drives

The industry's digital transformation continues to drive the data storage demand for hard-disk drives. This data storage demand requires large data capacity HDDs with high data-rate transfer.

This paper provides analysis and design techniques to maintain signal quality of the user's data to support HDD's high data-rate transfer requirements. Signal quality is maintained by limiting the amount of interference signals that can impact the signal-to-noise ratio (SNR). The study focuses on the mechanism of extrinsic interference signal resonances and propagation which can degrade the user's data SNR. First, this paper studies the interference signal propagation mechanism of these electromagnetic (EM) waves outside the Disk Enclosure (DE) of the HDD and provides a structural mitigation technique that can reduce interference signal's amplitude that can couple inside the DE. Second, this paper provides the mechanisms of electrical resonances inside the DE, and another structural mitigation technique that can reduce the electrical resonances. The following 6 chapters support these two parts.

Chapter 1 provides the mechanical structure and electrical architecture of HDD and the locations where interference signals can contaminate the user's data signal. This chapter also provides the necessity and purpose of the study.

Chapter 2 analyzes the mechanism of EM wave propagating outside and into the DE and provides proposals to reduce the interference signal's propagation. Shorting the path of the induced current is an effective way to reduce the propagation of the EM wave into the DE at the specific frequency.

- (1) The DE's top cover, mounted to its base, creates an open gap that is effectively a slot antenna, which has a resonance frequency related the slot's dimensions.
- (2) A DE's gap resonance frequency can be lowered by adjusting the gap's dimensions or by influencing the surrounding structures, such as the VCM.

Chapter 3 covers the interference signals mechanism of EM wave propagation inside the DE and onto the data differential signal's paths and provides layout techniques of single-ended traces to reduce the interference signal on differential transmission line structures. It can reduce the noise propagation to make the region surrounded by the single-ended line and its ground return path smaller.

- (1) Interference EM waves can be coupled into the DE, which can propagate the interference signal onto the suspension. Improperly designed suspensions allow interference signals on the read differential path.

- (2) The amount of interference coupling of a single-ended line depends on the area of the region surrounded by it and its ground return path.

Chapter 4 describes the electrical resonance on the actuator's electrical path that propagates onto the differential lines inside the DE. An interconnect layout proposal provides a means to suppress the electrical resonance. A shorting type connection in the actuator can suppress the electrical resonance. Also, balancing the parasitic capacitance reduces the common-to-differential mode signal transfer, which can help reduce common-mode signal interference into differential interference.

- (1) The system's ground path has an electrical resonance because of the return path's capacitance (C) and the inductance (L) in the flex cable that has a mounted Preamp on the actuator.
- (2) The suspension's lead wires connect to the read/write transducers' slider. The read transducer's slider has parasitic capacitance to the slider's substrate. The transfer of the common-mode interference to differential interference depends on the balance of the parasitic capacitance on each lead of the differential path.

Chapter 5 reviews the mechanism of the suspension's electrical resonance ≥ 2 GHz that can pick-up signals through the suspension tail that is attached to the flex inside the DE. The grounding at the open ground end, of the suspension to the flex, suppresses the electrical resonance and pick-up on the sensitive read-path conductors that are supported by the suspension.

- (1) The suspension tail, with an open ground end, makes the suspension effectively an antenna. The electrical standing wave of one-quarter wavelength is the resonance pick-up of the suspension tail. Additional ground return paths can also influence the resonance frequency.
- (2) The suspension can be modeled as a parallel-resonant circuit of the L and C, which can explain the electrical standing wave on the suspension tail. The L and C express the magnetic field and the electric field respectively, which are calculated by the electromagnetic field analysis.

Chapter 6 provides a summary of the thesis. There are two significances of engineering as follows.

- (1) The review of interference signal sources and propagation paths that can impact the user's data signal's SNR and error-rate in an HDD.
- (2) The design guidelines to mitigate interference signals from impacting SNR, with a description of the interference signal's path and mechanism of coupling on the user's data signal. These studies contribute to the advancement of the HDD signal integrity by applying these design guidelines.

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

平成31年 2月12日

理工学研究科長 殿

論文博士論文審査委員会

主査 稲葉 信幸 印
 副査 佐藤 学 印
 副査 田中 陽一郎 印
 副査 横山 道央 印
 副査 印

学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

| | | | |
|--|----------------------------------|---------|-----------------------------|
| 論文申請者 | 氏名 西山 延昌 | | |
| 論文題目 | 磁気ディスク装置におけるデータ伝送線路の信号品質向上に関する研究 | | |
| 学位論文審査結果 | 合格 | 論文審査年月日 | 平成31年 1月23日～ 平成31年 2月 6日 |
| 論文公聴会 | 平成31年 2月 6日 | 場 所 | 工学部 7号館7-302室 |
| 学力確認結果 | 合格 | 学力確認年月日 | 平成31年 2月 6日 |
| 学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度) | | | |
| <p>磁気ディスク装置 (HDD:ハードディスクドライブ) は、大容量・高速伝送・不揮発性・低ビット単価の特徴を持ち、データストレージの中核に位置づけられている。近年の情報化社会の進展による情報量の飛躍的な増大に伴い、これを記録しておく HDD に対してはより高信頼性で高記録密度の磁気ディスク装置の研究開発が求められている。</p> <p>本論文では、高記録密度磁気ディスク装置のデータ伝送線路に対する環境電磁波、内部共振起因の雑音干渉について、実験から発生メカニズムを明らかにし、モデル化、定式化することにより、設計パラメータに定量的に反映させることで、高信頼性磁気ディスク装置の設計指針を提供し製品化に貢献するとともに、工業的な課題を解決している。</p> <p>第1章では、磁気ディスク装置の説明と本研究の背景を述べ、本論文の目的と構成について説明を行っている。</p> <p>第2章では、新たに開発した評価法 (Slot Injection Test) を用いて環境電磁波の装置筐体内部への伝搬について実験を行い、筐体本体と蓋の隙間の形状に依存して特定周波数の電磁波が内部に侵入することを見いだした。この伝搬メカニズムをモデル化、定式化し、電磁波の筐体内部への侵入を低減させる設計指針を提案している。</p> <p>第3章では、筐体内部へ侵入した電磁波が再生信号用差動線路へ伝搬し信号品質を劣化させる現象について、電磁波が電磁誘導により差動線路と併設した磁気ヘッド制御用シングルエンド線路に伝搬し、これを介して雑音が入力線路に侵入することを見いだした。このメカニズムをもとに、シングルエンド線路を介して誘導される雑音を低減する線路構造を提案している。</p> <p>第4章では、筐体内部で発生する共振雑音の差動線路への伝搬について、差動線路の配線形状に着目して実験を行い、差動線路の配線形状の非対称性により生じるインピーダンスの差により雑音が発生することを見いだした。この知見をもとに改良した配線形状で雑音が低減することを示し、共振雑音を低減するための設計指針を得ている。</p> <p>第5章では、磁気ヘッド機構部の構造に起因した共振雑音のメカニズムを実験的に明らかにし、モデル化し解決するための設計指針を提示している。</p> <p>本研究の成果は、筆頭論文5報 (内英文論文3報) で公表されており、学術的、工業的な意義も十分であると判断される。本論文は研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要無く、印刷公表も問題無いと判断する。</p> <p>以上を総合的に判断し、本論文に関する研究と成果は博士(工学)学位論文の水準を満たしており、合格と判定した。</p> | | | |
| 学力確認の結果の要旨 | | | |
| <p>学力確認は、質疑応答と口頭試問を通じて、博士論文に関連する内容および当該専攻分野の内容について実施した。その結果、博士として必要とされる専門知識、学力は十分であると認められた。</p> <p>外国語科目 (英語) について、英語による筆頭論文3報、米国登録特許10件以上などから、英語力は十分に備えていると判断した。審査委員による審議の結果、合格と判定した。</p> | | | |