

電気インピーダンス法を用いた平歯車嚙合部の潤滑状態評価

Lubrication condition evaluation of spur gear meshing by electrical impedance method

横国大(学)※渡邊 明日香, (正)大久保 光, (正)中野 健

Asuka Watanabe¹, Hikaru Okubo¹, Ken Nakano¹

¹Yokohama National University

1. 緒言

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、環境負荷の小さい電動車の普及が強く求められており、そのための研究開発が進められている。電動車の普及に際しては、その航続距離の延長が必須であり、さらなる電費の向上に向けた駆動モータの小型・軽量化・高出力化が求められている。このような背景から、動力伝達要素である歯車の高速回転化が進行しており、高速摺動時における歯車嚙合部の潤滑状態の把握が喫緊の課題となっている。しかし、高速状態の摩擦場では、「潤滑油の供給量増加による薄膜化」と「潤滑油の飛散(供給不足)による薄膜化」、「潤滑油の発熱(低粘度化)による薄膜化」という相反する現象の競争が想定され、その状態を予測する事は困難である。そこで、本研究では、軸受の潤滑状態モニタリングに応用された電気インピーダンス法[1,2]を用いて、ギヤ嚙合部の潤滑状態モニタリング技術の開発を試みた。本報では、種々の運転条件で計測した電気インピーダンス波形の時系列データに基づき、歯車の潤滑状態を推定した結果について報告する。

2. 方法

本研究で開発した歯車試験機概念図を図 1 (a)に示す。本歯車試験機は、サーボモータにより歯車が駆動し、従動側の歯車が接続されたモータで回生制御することで、ギヤ嚙合部に負荷を発生する。シャフトに働くトルクと回転数をトルクメータとロータリーエンコーダでそれぞれ計測した。また、ロータリーコネクタを通して各歯車シャフトに図 1 (b)の等価回路を構成するための電極を取り付けた。歯車は平歯車(材質:S45C、歯幅:20 mm、モジュール:2.0 mm、歯数:34 & 46、基準円直径:68 mm & 92 mm、減速比:34/46)を使用し、歯車の嚙合部を介して電流が流れる構成とした。嚙合部に生じる負荷トルクを 0.5 Nm の一定条件に制御し、歯車回転数を 100 rpm から 1000 rpm まで増加させた。なお、各回転数に制御した後、潤滑油(KF96-100CS-1、信越化学工業、粘度:100 cSt @25℃)を歯車嚙合い部に 1.0 ml 滴下し、その 10 秒後に電気インピーダンス計測を行った。本試験機の等価回路は図 1 (b)に示すように構成され、印加電圧 V_0 (周波数:10 kHz、振幅:0.5 V)と回路内に挿入した固定抵抗 R_1 の両端の応答電圧 V_1 をそれぞれ 1.0 MHz のサンプリング周波数で計測した。

3. 結果および考察

図 2 に各回転速度における電圧応答 V_0 および V_1 を示す。なお、本時系列データは、応答電圧 V_1 が印加電圧 V_0 近傍の振幅値を示す場合、歯車嚙合部の油膜の破断を示唆し、応答電圧 V_1 が 0 近傍の振幅値を示す場合、歯車嚙合部における油膜形成を示唆する。また、図 2 に示すデータ区間は、各運転速度の嚙合い周期に基づき歯車 3 歯分が通過する時間に対応する(図内黒線にて 1 歯通過分の時間間隔を表示)。図 2 より、一定の振幅で推移する印加電圧 V_0 に対して、応答電圧 V_1 の振幅値は運転速度に依らず時々刻々と変化した。各速度条件を比較すると、回転速度の上昇に伴って、応答電圧 V_1 の振幅値が全体的に減少した。すなわち、高速化に伴って、歯車嚙合部における油膜形成が促されたものと推察される。歯車の潤滑状態を反映する応答電圧 V_1 と嚙合い周期の関係を調べるために、応答電圧 V_1 について高速フーリエ変換(FFT)による周波数解析を行った。図 3 に各回転速度での FFT 解析結果と各嚙合周期を示す。図 3 より、各速度の嚙合周期と応答電圧 V_1 の周波数ピークの一致が確認された。すなわち、応答電圧 V_1 の時間発展挙動は、歯車の嚙合い状態の時系列変化に対応しており、歯車の潤滑状態モニタリングに対する電気インピーダンス法の有効性が示された。

4. 結言

本研究では電気インピーダンス法による平歯車嚙合部の潤滑状態の評価を可能とする試験機を開発を行い、開発した装置を用いて得られた電気応答から潤滑状態を推定した。その結果、電気インピーダンス法は、歯車の回転速度および嚙合周期に伴う潤滑状態の変化を捉えており、歯車の潤滑状態モニタリングに有効な手法であることが示された。

謝辞

本研究は 2023 年度の自動車用動力伝達技術研究組合 (TRAMI) の委託研究により実施した。

文献

- [1] T. Maruyama, K. Nakano, In Situ Quantification of Oil Film Formation and Breakdown in EHD Contacts, *Tribol. Trans.*, **61**, 6, 1057-1066 (2018).
- [2] T. Maruyama et al., Lubrication Condition Monitoring in EHD line contacts of Thrust Needle Roller Bearing by Electrical Impedance Method, *Lubricants*, **11**, 5, 223-238 (2023).

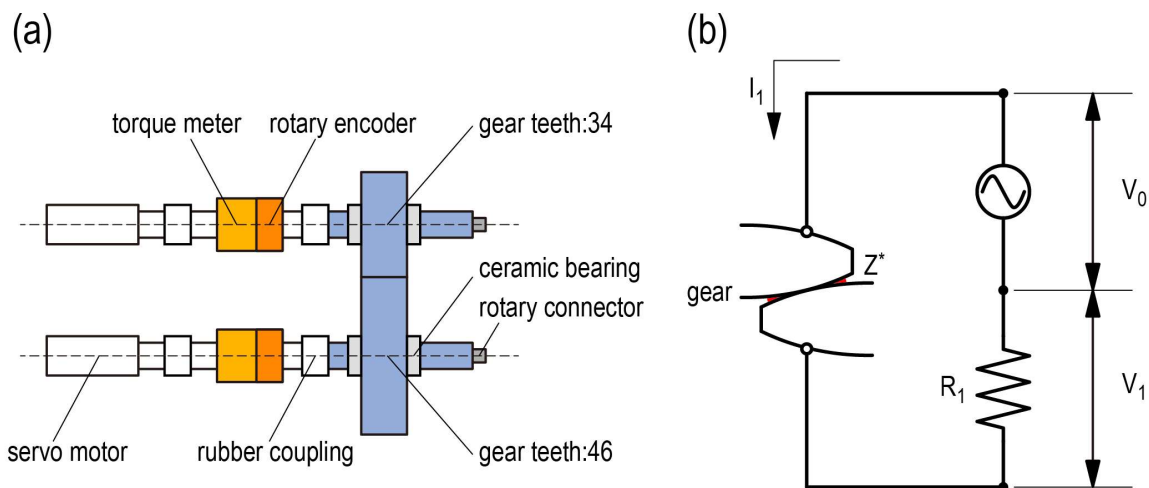


図 1 開発した歯車試験機: (a) 概念図, (b) 等価回路

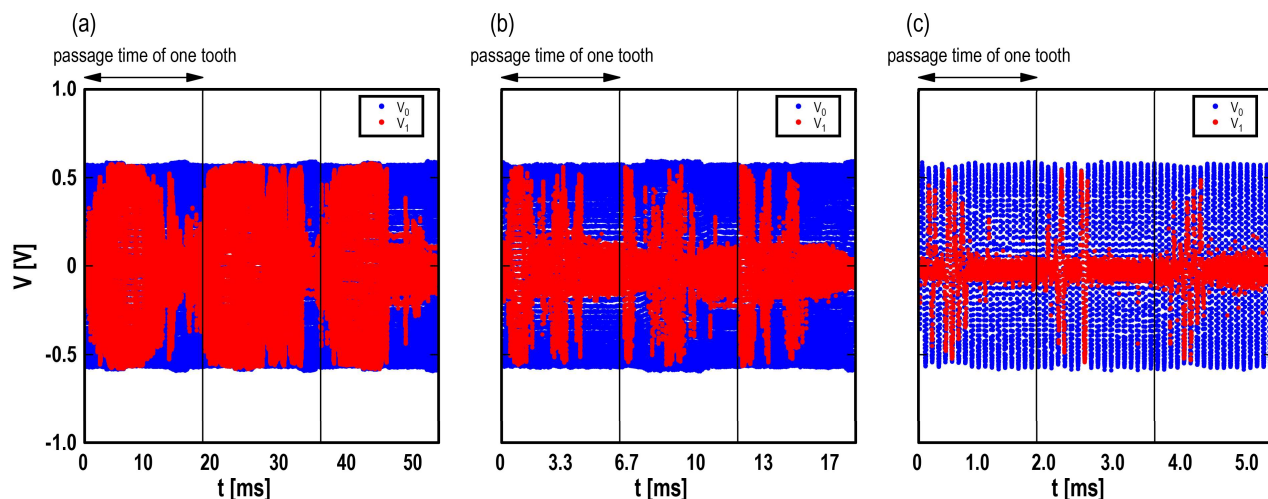


図 2 3 歯通過時間の電圧応答 (青: V_0 , 赤: V_1): (a) 100 rpm, (b) 300 rpm, (c) 1000 rpm。

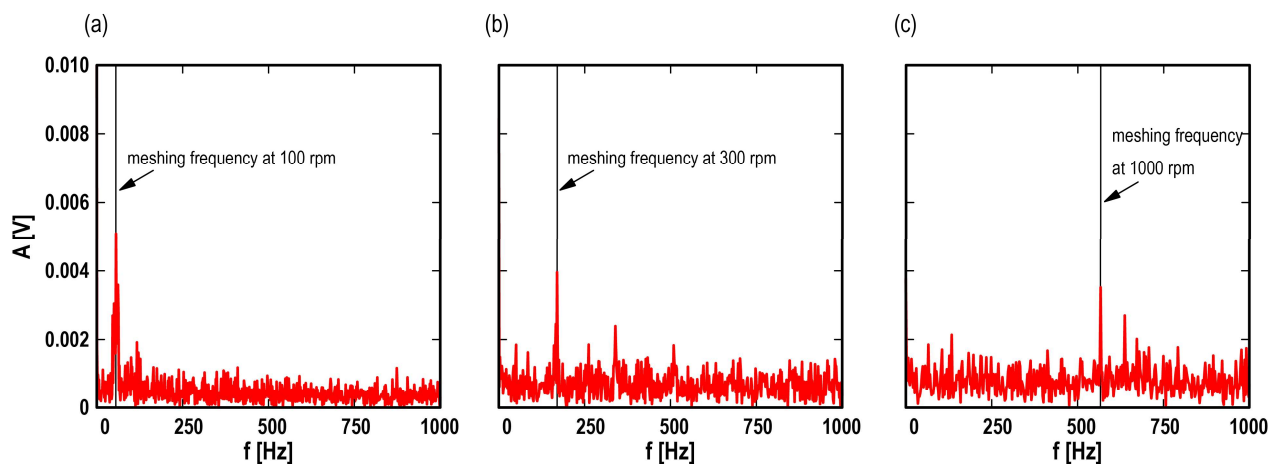


図 3 電圧応答 V_1 の周波数分析結果: (a) 100 rpm, (b) 300 rpm, (c) 1000 rpm。