

回転式検出器への非接触電力供給方法

—開放型回転変圧器の開発—

小田原 幸生
機械電子部

Method of Transferring Electric Power for Rotary Detector without Contact
—Development of Open Rotary Transformer—

Yukio ODAWARA
Mechanics & Electronics Division

要 旨

回転する回路へ非接触で給電する方法として、回路と共に回転する環状のコイルに対し、他のコイルを巻いた内鉄型変圧器の鉄心を鎖状に交差させ、前者のコイルを2次コイル、後者を1次コイルとし、磁気結合により給電を行う開放型回転変圧器を考案した。これは製作が容易である一方、磁気回路が開いているため磁気漏洩や効率の低下がある。この問題について実験的に評価を行い、消費電力が僅かな計測の用途では実用化が可能であることを確かめた。

1. 緒 言

回転体の各種物理量の検出では、観察者側から回転部の回路へ直接配線することができないため、従来からスリップリングや回転変圧器^{※注1}などが用いられてきた。

スリップリングは回転する電極の上をブラシで摺動させて接点の接触を保ち通電させる機構のため、摩擦抵抗の発生や摩耗の問題があり、また、電極が露出しているため保護が必要である。これに対し、回転変圧器では電磁誘導により非接触で電力を送るため、これらの問題点を解決できる。しかし、従来の回転変圧器は巻き線 (coil) を鉄心 (core) で覆う外鉄型変圧器 (shell type transformer) の構造であり、任意の大きさの鉄心を作ることは難しく、適用面で制限を受けていた。

考案した回転変圧器 (以後、開放型回転変圧器と呼ぶ) は内鉄型変圧器 (core-type transformer) の構造を持ち、

1次コイル及び鉄心を固定し、2次コイルを回転体と共に回転させる。このため、任意の大きさの鉄心を使うことができ、また、2次コイルの径を自由に換えられる。しかし、磁気回路が開いているため磁気の漏洩や効率低下の問題がある。そこで、実証モデルとしてトルク検出器への応用を取り上げ、計測への影響、効率等を実験的に調べたので、これらについて報告する。

※注1 Fig. 2 に従来の回転変圧器を示す。

2. 開放型回転変圧器の応用と試験

2. 1 開放型回転式変圧器の概略

開放型回転変圧器は、回転部の回路と共に回転する環状のコイルに対し、他のコイルを巻いた鉄心 (内鉄型) を鎖状に交差させ、前者のコイルを2次コイル、後者を1次コイルとした変圧器である。この概略図を Fig. 1 に

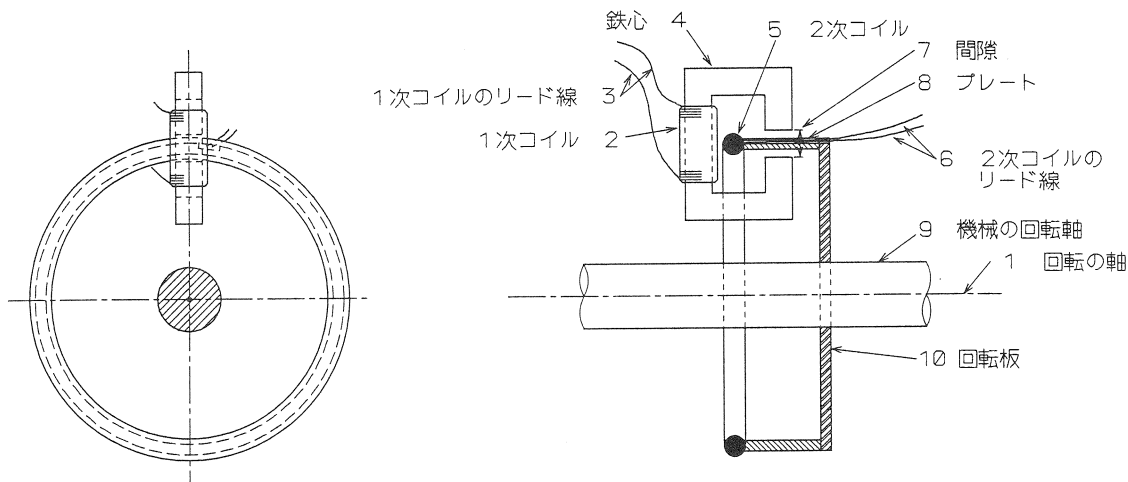
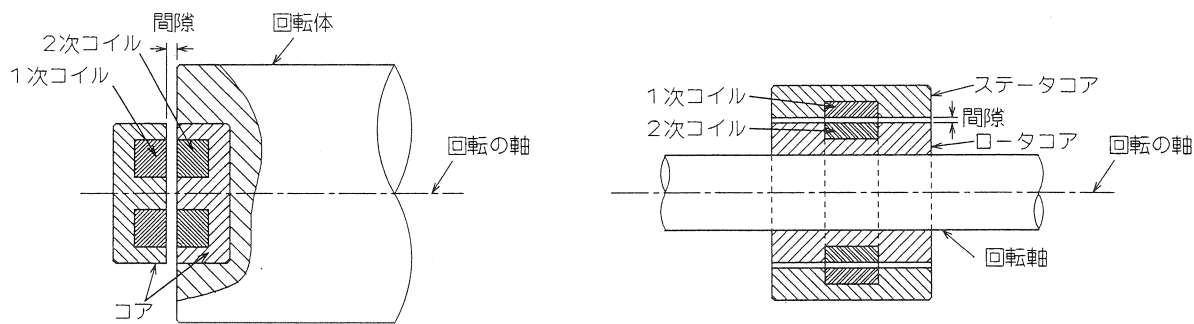


FIG. 1 開放型回転変圧器の外略図



(1) 回転体の端面に取り付けるタイプ

(2) 回転軸の外周に取り付けるタイプ

FIG. 2 従来の回転変圧器

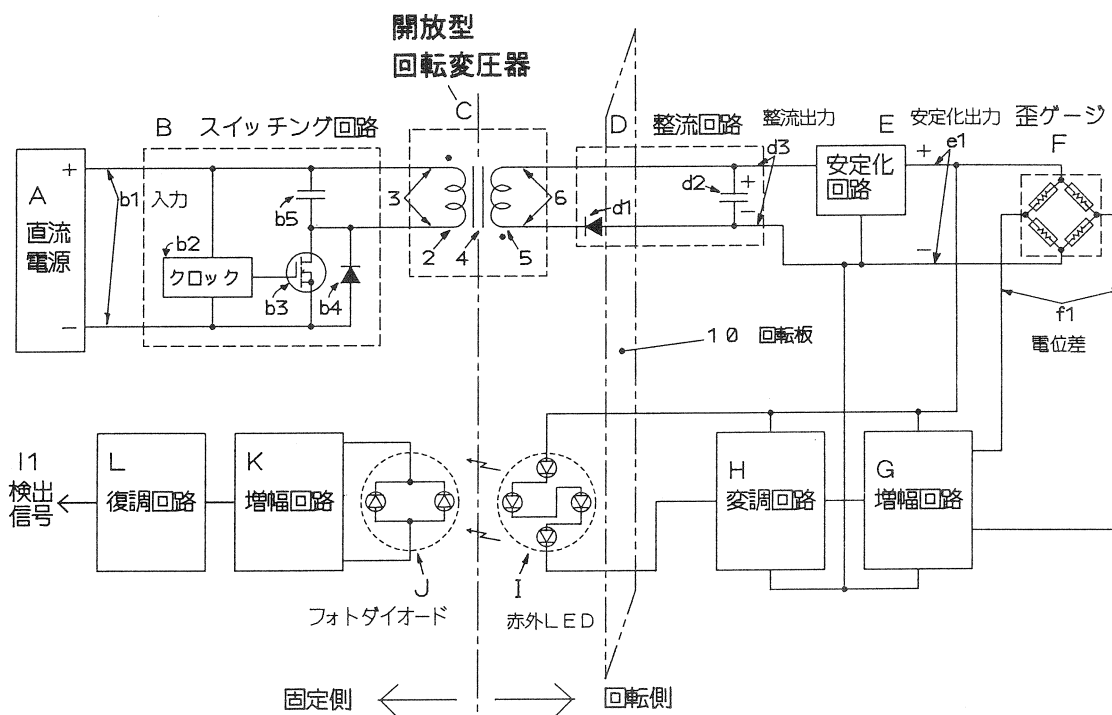


FIG. 3 開放型回転変圧器の駆動回路とトルク検出器

示す。(比較のため、従来の回転変圧器を Fig. 2 に示す.)

2. 2 回転式トルク検出器の概要

製作した回転式トルク検出器の回路ブロック図を Fig. 3 に、写真を Fig. 4 に示す。その他の詳細は文献¹⁾に記述した。

2. 3 駆動回路 (スイッチング回路)

駆動回路の動作を回路ブロック図 (Fig. 3) に従って説明する。回路の動作波計を Fig. 5 に示す。

(I) スwitching回路のトランジスタ (b3)^{※注2} をオンすると直流電源から1次コイル (2) に流れ込む電流が徐々に増加する。この時、鉄心 (4) により2次コイル (5) と鎖交する磁束が生じ、2次コイルに起電力が発生するが、整流回路のダイオード (d1) に対して逆方向である

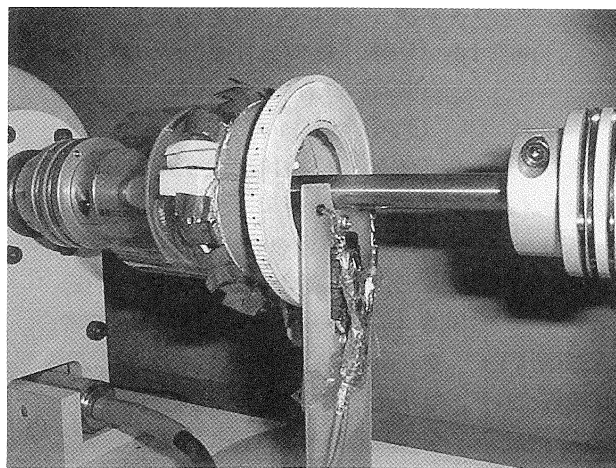


Fig. 4 回転式トルク検出器

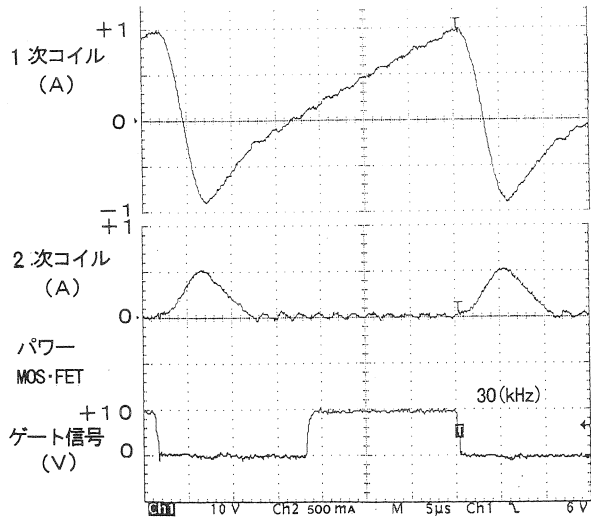
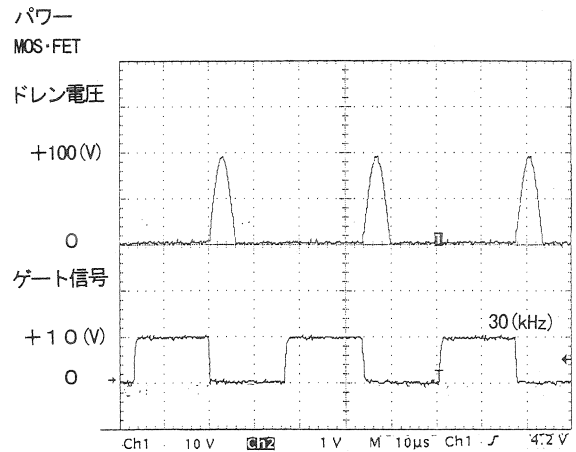


FIG. 5 開放型回転変圧器駆動回路の動作波形

ため、2次コイルから電力は出力されない。
 (Ⅱ) トランジスタ (b3) をオフすると、共振作用により1次コイル (2) を流れていた電流はコンデンサ (b5) に充電され、電流及び鉄心の磁束は減少する。これによる電磁誘導で、2次コイル (5) から整流回路のダイオード (d1) を順方向に流れる電流が発生し、コンデンサ (d2) を充電する。一方、変圧器の磁気結合が弱いため、(Ⅰ)の行程で1次コイルに蓄積されたエネルギーの大部分はコンデンサ (b5) に充電される。
 (Ⅲ) スwitching回路のコンデンサ (b5) の充電が最大に達すると、行程(Ⅱ)で1次コイル (2) を流れていた電流が逆流を始め、また、鉄心の磁束も逆方向に増加を始める。これによる電磁誘導により2次コイル(5)から整流回路のダイオード (d1) を順方向に流れる電流が発生し、コンデンサ (d2) を充電する。この時、コンデン



サ (b5) に充電されていた一部の電力は直流電源に戻る。
 以上、(Ⅰ)～(Ⅲ)のサイクルを繰り返し、直流電源から回転部にある2次コイル側の整流回路出力 (d3) に電力の供給が行われる。

※注2 トランジスタはパワーMOS・FET (2SK412) を使用した。

2. 4 試験結果

開放型回転変圧器及び駆動回路のデータを Table. 1 に示す。

(送電効率) トルク検出回路で消費する電力は、整流回路の出力から0.9Wで、直流電源から送った電力との比から伝送効率は約60%となった。

(磁気漏洩の影響) トルク検出回路の電源や検出信号をオシロスコープで観察すると、送電された電力を整流する際に発生するサージ・ノイズが重なっていることが見られたが、漏洩磁束は磁気遮蔽を兼ねる回転板 (10)

Table. 1 開放型回転変圧器、駆動回路のデータ

(開放型回転変圧器)	
鉄心	フェライト製 (TDK PC40EI35-Z を改造)
枠の寸法 (外側)	縦 35mm×横 25mm×厚 10mm
(断面)	5mm×10mm
(間隙) (Fig. 1 の 7)	幅 8mm
1次コイル	45回巻き (実測容量 220 μH, 0.5 Ω)
2次コイル	偏平渦巻コイル
	38回巻き, 直径 60mm, 断面直径 5mm
	(実測容量 140 μH, 2 Ω)
	間隙 (7) からできるだけ離して設置
回転軸 (1)	Φ12mm 材質: 軟鋼
回転板 (10)	厚 1mm アルミニウム板
	磁気遮蔽のため表面に銅箔を使用.
	2次コイルとの距離 20mm
プレート (8)	塩ビ製

(駆動回路)	
スイッチング回路 (B)	クロック周波数 36kHz
	ON/OFF デューティ比 50%
コンデンサ (b5)	容量 0.02 μF
直流電源 (A)	電圧 12V ± 0.2V
整流回路 (D)	電圧 12.2 ~ 12.6V
安定化回路 (E)	電圧 12.042 ± 0.001V
トルク検出回路消費電流	(合計) 74mA
赤外LED, 変調回路 (H)	30mA (一定に制御)
ひずみゲージ	34mA, その他 10mA

により効果的に遮蔽され、影響は小さかった。

3 応用のための予備試験とその結果

トルク検出器に応用するため予備試験を行い、開放型回転変圧器の特性を把握した。試験条件を Table. 2 に、試験結果を Table. 3 に示す。

(スイッチング周波数)

スイッチング周波数が高くなるにつれ送電できる電力は小さくなった。

20kHz の場合はオフ時間が長い為、条件により1サイクルに共振のピークが2回現われることがあり、これが損失となり、電力や効率の測定結果をばらつかせているように思われる。

(鋼製回転軸)

2次コイルの中心にあるΦ36mmの鋼製回転軸では、スイッチング周波数が高くなるほど効率の低下が大きくなった。トルク検出器で用いたΦ12mmの軟鋼製回転軸の場合、影響は殆ど見られなかった(データ省略)

(鉄心の間隙の間隔)

効率は間隙の間隔が小さい方が有利であるが、間隔8mmの場合は間隔4mmに対して最大8ポイントの効率低下に留まった。

(鉄心の間隙の位置)

送電効率は Table. 4 の図より (a) < (b) < (c) の傾向が見られた。

(送電電力の調整)

一般に、送電電力はスイッチング・サイクル毎に開放型回転変圧器の1次コイルに流す電流を増やすことにより増大できる。また、スイッチング回路のコンデンサ (Fig. 3 b5) の容量を小さくし、電流の変化を早くすることによっても送電電力は増大できる。一方、スイッチングのオフ時間は共振条件に依るため、ON/OFF デューティ比の調整により適切な長さにする必要がある。

試作したトルク検出器では、送電電力の調整はオシロスコープで波形を観察しながらスイッチング周波数やスイッチング回路のコンデンサ容量を変えて行った。このコンデンサやトランジスタ (Fig. 3 b3) は耐圧の高い品種が必要で、このため送電電力が制限される。

送電電力や共振条件の計算法は未だ確立していないので、来年度の課題として取り組みたい。

3 まとめ

- 1) 開放型回転変圧器をトルク検出器への送電に用い、検出回路に必要な0.9Wの電力を60%の効率で伝送することができた。
- 2) 開放型回転変圧器から漏洩する磁気が計測に与える影響は磁気シールドを用いて軽減できる。

Table. 2 予備試験の試験条件

1) 直流電源電圧	15V
2) スwitching周波数	20, 30, 40kHz (ON/OFF デューティ比 50%)
	共振コンデンサ (Fig. 3 の b5) の容量 0.01 μF
3) 整流回路の出力用負荷	17Ωの抵抗
4) 鉄心の間隙	4mm, 8mm
5) 2次コイル中心に置く回転軸	無し, Φ12mm 軟鋼, Φ36mm 軟鋼
6) 2次コイル巻数	22回, 抵抗0.5Ω
その他の条件は Table. 1 (トルク検出器) とほぼ同じ	

Table. 3 スwitching周波数による送電電力, 効率

(1) 回転軸なし. (整流回路出力)

間隙	20kHz	30kHz	40kHz
4mm	54% (2.10W)	69% (1.76W)	73% (1.10W)
8mm	56% (2.37W)	61% (1.59W)	67% (1.00W)

(2) Φ36mm 軟鋼製回転軸

4mm	51% (1.76W)	55% (1.91W)	47% (1.26W)
8mm	48% (1.94W)	57% (1.55W)	43% (1.10W)

Table. 4 鉄心の間隙の位置に対する送電効率

間隙位置	効率 (整流回路出力)	
	間隙の間隔 4mm	8mm
(a)	62% (1.21W)	60% (0.90W)
(b)	69% (1.55W)	61% (1.37W)
(c)	69% (2.29W)	67% (2.22W)

※直流電源 (A) 15V, スwitching周波数 38kHz

4 おわりに

開放型回転変圧器の回転式トルク検出器への応用試作と試験により、計測における電力供給での有効性が確認できた。しかし、出力を増加させたい場合や寸法を大きくしたい場合などの設計法の確立、理論的裏付けができていないので、来年度の課題として取り組みたい。

参考文献

- 1) 平成10年度研究報告 「回転式トルク検出器の開発」 (本誌 P.68~71)