体内埋め込み用新形式薄形変圧器の特性

Characteristics of a New Implantable Transformer with Planar Shape

松木英敏・撫原浩嗣*・山本孝幸*・宮澤秀樹・山口正洋**・村上孝一

東北大学工学部電気工学科, 仙台市青葉区荒巻字青葉 (〒980)

*ユニテカ中央研究所, 宇治市宇治小桜 23 (〒611)

**東北大学電気通信研究所, 仙台市青葉区片平 2-1-1 (〒980)

H. Matsuki, K. Nadehara*, T. Yamamoto*, H. Miyazawa, M. Yamaguchi** and K. Murakami

Dept. of Electrical Engng., Tohoku Univ., Aramaki, Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai 980

*Res. & Develop. Center UNITIKA Ltd., 23, Ujikoza-kura, Uji 611

**Res. Institute of Electrical Communication, Tohoku Univ., 1-1 Katahira 2-chome, Aoba-ku, Sendai 980

This paper describes output characteristics of a new transformer for an implantable artificial heart. The implantable transformer consists of Co-based amorphous magnetic fiber and conductive fibers. Features include (i) a thin, planar shape and (ii) high flexibility. The trial transformer made can supply electric power of 10 W. Magnetic field distribution around the transformer was measured, and leakage magnetic flux behind it could be reduced. A transformer with spiral woven structure was also discussed.

1. はじめに

近年, 人工臓器に関する研究が盛んに行われるようになり, その中でも人工心臓に関する研究が注目されている¹⁻³⁾. これは, 特に心臓移植の場合に臓器提供, 脳死判定などの問題が存在するため, それに代わる埋め込み形の補助人工心臓または完全人工心臓の開発が強く望まれているからである. 現在の人工心臓は, 空気圧などを用い駆動装置を体外に設置する形式であり, 埋め込み式には適さない. そのため小型の電磁駆動形が注目され開発が進められているが, 実用化するためには駆動エネルギーの供給方法を確立する必要がある. そのため, 駆動用電源として電磁的結合を利用し, 体外より非接触で電気エネルギーを供給する方法が考えられている^{4,5)}.

現在開発されている種々の人工心臓を駆動するためには 20[W] 程度の電力を必要とし, 従来形の変圧器では, 薄形に構成することが困難であった. 筆者らは先に, 零磁歪アモルファス磁性線と銅線とを平織り状に組み合わせた新形式薄形変圧器を提案し, その寸法を適当な値に選定すれば, 厚さ数ミリの変圧器で数ワット程度の電力伝送が可能であることなどを明らかにしてきた^{5,6)}.

そこで, 体内埋め込み用薄形変圧器の特性改善を図るため, 変圧器周囲の磁束分布並びに変圧器の構造について

さらに検討を加えたところ出力 30[W] 程度の変圧器を実現できる見通しが得られた. 本論文は, これら検討結果について報告するものである.

2. 薄形変圧器の特性

2.1 薄形変圧器の構造

Fig. 1(a) は, 体内に埋め込まれる薄形変圧器の概略図を示す. 同図に示される如く, 薄形変圧器は, 零磁歪アモルファス磁性線と非磁性絶縁線 (ナイロン, テフロンなど) とを交互に配置したものを経糸とし, 銅線を緯糸として用い, これらを組み合わせて平織構造に構成されている. 織り込まれる銅線は 2 次側巻線に相当するので, 体内に埋め込まれる部分を以下 2 次側と称することにする. 1 次側もこれと同様の構造にすれば薄形の変圧器が構成される. また, この薄形変圧器 2 次側は, Fig.

Fig. 1 (a) Schematic diagram of secondary part of implantable transformer. (b) Equivalent circuit. (c) Distribution of magnetic flux.

Fig. 2 Arrangement of implantable transformer.

1(b)に示すような等価回路で表すことができると考えられる。Fig. 1(c)に薄形変圧器の磁束の経路の概略を示す。薄形変圧器の配置例をFig. 2に示す。同図に示されるごとく、皮膚などを介して薄形変圧器の1次側と2次側が平行に配置される。

2.2 薄形変圧器の基礎特性

ソレノイド形状のコイルを用いた等価的な構造の薄形変圧器を用いて1次と2次側の経糸長の寸法比(以下、寸法比と称す。)について検討を行った結果、その比は、1:2が望ましいとの結果が得られている⁵⁾。そこで、同様の寸法比を有し、2次側を平織り構造とした変圧器を試作し、その特性について検討を行った。1次側には、直径が120[μm]の零磁歪アモルファス磁性線を420本束ねて等価直径を約2.5[mm]とした磁心に直径500[μm]の銅線を120回巻いたものを4本平行配置したものを用いた。各銅線は、直列接続した。2次側は、直径120[μm]の非磁性絶縁線を10本束ねて等価直径を約1.2[mm]とした磁心を経糸とし、直径100[μm]の銅線6本を平行に130回巻線として織り込んで平織り構造としたものを用いた。Fig. 3に試作した薄形変圧器の2次側を示す。寸法は、30×90×1[mm]である。Fig. 4に試作した薄形変圧器の出力特性を示す。測定は、1次側に周波数50[kHz]、100[V]の正弦波電圧を印加し、1次と2次側との距離 d を5[mm]として行った。図示の

Fig. 3 Secondary part of implantable transformer.

Fig. 4 Load characteristics of the transformer.

ごとく、2次側電力が最大時で約0.6[W]、100[mA]の出力が得られた。この結果より、この形状の薄形変圧器における磁心の厚さを4[mm]程度に増加させれば10[W]を超える電力を伝送できる変圧器が実現可能であると考えられる。

2.3 薄形変圧器の磁束分布

薄形変圧器の最適形状化を図るためには、変圧器周囲の磁束分布について検討する必要がある。磁束分布の測定は、1次側に周波数50[kHz]、100[V]の正弦波電圧を印加し、空心のピックアップコイルを用いて測定した。Fig. 5(a)に、同図(b)に示すごとく1次と2次側間の中間付近で変圧器に平行な面上で測定した磁束分布を示す。同図より、磁束は主に2次側上に分布し、特に1次側と対向する箇所に集中していることが了解される。Fig. 6(a)は、同図(b)に示すごとく1次側と2次側双方の中心付近を横切る面上の磁束分布について測定した結果を示す。同図より、1次側と2次側の中心付近に磁束が集中しているが、2次側の裏側(体内周囲)には強い磁束の分布が存在していないことが伺われる。これらの結果より、平織り構造を有する薄形変圧器の1次と2次

Fig. 5 Leakage magnetic field distribution on the plane parallel to the transformer.

Fig. 6 Leakage magnetic field distribution on the plane perpendicular to the transformer.

側の寸法比を 1 : 2 に設定することは、変圧器周囲の漏れ磁束の低減に有効的な手段であると考えられる。

2.4 薄形変圧器の高出力化

薄形変圧器の高出力化を図るため、1 次、2 次側の磁心に用いる零磁歪アモルファス磁性線の本数を増やし、寸法比を 1 : 2 に保った変圧器を試作した。試作した変圧器を Fig. 7 に示す。1 次側には、直径 120 [μm] の零磁歪アモルファス磁性線を 1000 本束ね等価直径を約 4 [mm] とした磁心に直径 500 [μm] の銅線を 150 回巻いたものを 4 本平行配置したものを用いた。各銅線は、直列に接続している。2 次側には、直径 120 [μm] の零磁歪アモルファス磁性線を 100 本束ね等価直径を約 1.2 [mm] とした磁心に直径 500 [μm] の銅線を 300 回巻いて並列接続し、平行配置したものを用いた。また、試作した変圧器の 1 次、2 次側共に試験的にエポキシ系の樹脂でモールドした。樹脂でモールドされた 1 次側の外形は、35×50×10 [mm] であり、2 次側は、50×100×5 [mm] で、このうち樹脂の厚さは、2 [mm] 程度である。Fig. 8 に出力特性を示す。測定は、1 次と 2 次側との距離 d を 5 [mm] に設定し、1 次側に周波数 50 [kHz]、320 [V] の正弦波電圧を印加して行った。同図より、2 次側

Fig. 7 A high power implantable transformer made as a trial.

Fig. 8 Load characteristics of the transformer for large output.

電力最大時で 10 [W]、1 [A] の出力が得られた。また、単位体積当たりの出力電力では約 0.8 [W/cm³] となり、2 次側にポットコアなどを用いた形式のもの⁴⁾と同程度の出力が得られている。しかも本変圧器は、織物構造となっているため極めて薄形に構成することが可能である。

2.5 薄形変圧器の形状に関する検討

薄形変圧器は、体内埋め込み用であり実際に用いた場合、1 次側と 2 次側の相対的位置が多少ずれることが考えられる。しかしながら、これまでに検討してきた薄形変圧器は、磁心を互いに平行配置しているために形状が長方形となり、1 次側磁心を、その面内で回転させると 2 次側の出力が減少することが考えられる。そこで、磁心を放射状に配置し、2 次側の形状が中盤状となる円形薄形変圧器を考案した。1 次側としては、直径 200 [μm] の銅線を環状に 100 回巻いて構成した環状コイルを用いた。円形薄形変圧器の概略図を Fig. 9 に示す。図示のごとく、2 次側は、零磁歪アモルファス磁性線と非磁性絶縁線とを交互に放射状に配置し、銅線を円周方向に織り物構造となるように織り込んである。Fig. 10 に、試作した円形薄形変圧器の 2 次側を示す。2 次側磁心には、直径 120 [μm] の零磁歪アモルファス磁性線を 100 本束

Fig. 9 Schematic diagram of a disk implantable transformer.

Fig. 10. A disk implantable transformer made as a trial.

Fig. 11 Load characteristics of the transformer in disk shape.

ねて等価直径が約 1.2 [mm] としたものを、非磁性絶縁線としては、直径 2 [mm] のテフロンチューブを用いた。これらを放射状に配置し、巻線として直径 200 [μ m] の銅線を円周方向に織物構造になるように織り込んである。Fig. 11 に、円形薄形変圧器の出力特性を示す。測定は、1 次側に周波数 10 [kHz]、200 [V] の正弦波電圧を印加して、1 次側と 2 次側の距離 d を 5 [mm] に設定して行った。図示のごとく、2 次側が最大で 33 [W]、410 [mA] の出力が得られた。この時の 1 次側電力は、365 [W] である。また、単位体積当たりの出力電力は、0.8 [W/cm³] となり、2 次側磁心を平行配置した形状の

ものと同程度の出力が得られている。しかも 1 次、2 次側共に円形であるために相対的な位置のずれ、特に回転方向のずれによる出力変動も緩和されることが示唆される。

3. ま と め

本論文では、零磁歪アモルファス磁性線と銅線とを組み合わせた平織構造を有する薄形変圧器を考案し、その基礎的特性について検討を行った。その結果、体内周開への漏れ磁束が低減でき厚さ 4 [mm] 程度で 10 [W] の出力が得られ、単位体積当たりの出力では、0.8 [W/cm³] となる変圧器を構成することができた。また、形状について検討を行った結果、薄形変圧器を円盤状の円形に構成しても 2 次側の単位体積当たりの出力が磁心を平行配置した形状のものと同程度の出力が得られることなどを明らかにした。薄形変圧器の磁心部に用いる零磁歪アモルファス磁性線を細線化することにより、温度上昇や可とう性および小型化などの点において有用であるとの見通しを得ている。これらの点については、現在検討中である。

文 献

- 1) L. Robert, *et al.*: *Artificial Organs*, **9**, No. 4 (1985).
- 2) 山田, 楡井, 太田, 川勝, 中島, 山本, 荻田, 丸山: 日本応用磁気学会誌, **12**, 427 (1988).
- 3) 岡本, 平野, 三田村, 三上: 電子通信学会技術報告, MBE 86-22 (1986. 7).
- 4) 平野, 三田村, 岡本, 三上: 電子通信学会技術報告, MBE 86-24 (1986. 7).
- 5) 松本, 宮澤, 山口, 村上, 撫原, 山本: 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-88-90 (1988).
- 6) H. Matsuki, M. Yamaguchi, T. Watanabe, K. Murakami, K. Nadehara and T. Yamamoto: *J. Appl. Phys.*, **64**, 5690 (1988).

1988 年 11 月 21 日受理, 1989 年 2 月 10 日採録