

## 経皮エネルギー伝送における周波数多重化による放射磁界強度低減

### Reduction of Emission Magnetic Field Strength from Transcutaneous Energy Transmission System by Multiplex Frequency Transmission

○ 橋本一生 (東京理科大学大学院) 柴建次 (東京理科大学)

Issei HASHIMOTO, Graduate school of Tokyo university of science

Kenji SHIBA, Tokyo university of science

**Abstract:** Transcutaneous Energy Transmission System (TETS) is one way of providing the energy through the skin for artificial hearts and assist devices without cable. The principle of TETS is electromagnetic induction between a couple of two coils. We used air-core type transformer. It has lower infection risk than wired energy transmission system, because it has no skin penetration part. However, magnetic field strength which is emitted from TETS is exceeded the International Committee for Radio Interference (CISPR) Pub. 11 regulation level. Conventional TETS uses a single frequency for energy transmission. In this paper, we propose a novel transmission method at multiplex frequencies containing 100, 300, 500, 700, and 900 kHz sine waves to reduce the magnetic field strength. The resulting magnetic field strength when multiplex frequencies were used for energy transmission was lower than when a single frequency was used.

**Key Words:** Wireless energy transmission, EMC, Artificial heart, Assist device, TET

#### 1. 緒言

移植を必要とする重度の心不全患者に対しその機能を補助する補助人工心臓の研究が進められ、臨床での応用にも至っている。しかし、現在用いられている補助人工心臓は有線で電力供給を行っており、このドライブラインの皮膚貫通部が感染症を引き起こす原因として問題となっている。これを解決するために非接触で電力を供給する、経皮エネルギー伝送システム (Transcutaneous Energy Transmission System: TETS) が研究されている。これは、体内と体外に置いた一対のコイル (経皮トランス) を用いて電磁誘導現象を利用することで非侵襲で電力を供給するシステムである。従来研究より、空心型のものにおいては電力伝送効率は 95%程度と高効率なものができ、生体への電磁影響が考慮された設計がなされている。しかし、EMC 的な観点から見ると放射磁界強度が規制値 (CISPR 11) を超えており、製品化に際し大きな足枷となっている。<sup>1,2)</sup> 現在までに磁気シールドなどが研究されたが、解決には至っていない。そこで、本研究では従来単一周波数で駆動していた TETS を異なる周波数を持つ正弦波を複数重ね合わせることで放射磁界強度の低減をはかることを提案する。これは、従来方式では特定の周波数に対し大きな放射磁界強度のピークが出てしまい規制値を上回っていたが、本方式では各周波数に電力を分散することでそれぞれの周波数における放射磁界強度を低減することが出来ると考えた。本論文では提案方式が実際に放射磁界強度を低減することを確認するために 1 W の電力を伝送したときの放射磁界強度測定を行った。

#### 2. 実験方法

本実験で用いた TETS は経皮トランス、整流平滑回路からなる。経皮トランスは空心偏平型を用いた (Fig. 1)。一次コイルが 35 回巻き、外径 90 mm、内径 20 mm、2 次コイルが 20 回巻き、外径 60 mm、内径 20 mm である。コイルを構成する導線は素線径 0.03mm、1008 本束の Litz 線 (2UEW 線) を用いた。両コイル共に厚さ 1 mm の布を張った後にラミネート加工を行い防水対策をした。Fig. 2 に実験を行った回路構成を示す。任意波形発生器 (Agilent, 33522A) を用い高速絶縁アンプ (NF ELECTRONIC

INSTRUMENTS, 4025) で増幅し、TET の駆動を行った。2 次側にはフルブリッジ整流平滑回路 (ダイオード: 東芝, 10DL2C. コンデンサ: ニチコン UJ 470 $\mu$ F, 50V. チョークコイル; SL Series SL1720, 330 $\mu$ H) を接続し、その出力端に負荷として 19.2  $\Omega$  の金属皮膜抵抗を用いた。2 次側電圧はマルチテスター (エー・アンド・デイ, AD-5823) で測定を行った。

一次側コイルの入力電圧波形生成には Agilent 社製のソフトウェア、BenchLink Waveform Builder Pro 33503A を用いた。まず、単一周波数で電力伝送実験を行った。100 kHz から 900 kHz の正弦波での実験を 100 kHz 毎に行った。伝送条件は整流平滑後の二次側電圧が 4.4 V となるように 1 次側電圧を調整した。これは負荷抵抗 19.2  $\Omega$  において 1 W の消費電力となる。

次に、複数の周波数を含ませた場合の電力伝送実験を行った。合成された電圧  $V$  は(1)式のように表せる。 $V_n$  は電圧振幅比、 $f_n$  は周波数、 $\varphi_n$  は初期位相、 $t$  は時間である。100, 300, 500, 700, 900 kHz の正弦波を重ね合わせたものを入力波形とした。このとき各々の初期位相  $\varphi_n$  は  $0^\circ$  とした。また振幅比  $V_n$  は全ての周波数で等しくした ( $V_n=1$ )。電力の伝送条件は単一周波数のときと同様で、整流平滑後の二次側電圧が 4.4 V (負荷抵抗 19.2  $\Omega$  において 1 W の消費電力) となるようにした。

$$V = \sum_n V_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n) \quad (1)$$

放射磁界の測定は近磁界プローブ (Agilent, 11941A) とスペクトラムアナライザ (Advantest, R3132) を用いて行った。近磁界プローブは Fig. 3 に示すようにコイル中心から 30 cm の距離で、アンテナ方向がコイルの中心を向くようにした。通常、放射磁界強度の評価は測定対象物から 3 m の位置で行うので、微小ループアンテナの放射磁界  $H_r$  の関係である(2)式に従うとして測定値を 3 m での値に換算した。ただし、各パラメータは以下の通りである。 $I$ : 微小ループに流れる電流、 $\Delta S$ : 微小ループの開口面積、 $\beta$ : 位相係数、 $r$ : 微小ループ中心からの距離、 $\theta$ : 天頂角、 $j$ : 虚数単位。

$$H_r = \frac{I\Delta Se^{-j\beta r}}{2\pi} \left( \frac{1}{r^3} + j\frac{\beta}{r^2} \right) \cos\theta \quad (2)$$

上式より 3 m での換算を考えるには 30 cm での測定値を  $10^{-3}$  倍すればよい. これは常用対数をとった場合に測定値から 3 dB $\mu$ A/m 減じることと同値である. 以上の手順で放射磁界強度の測定を行った.

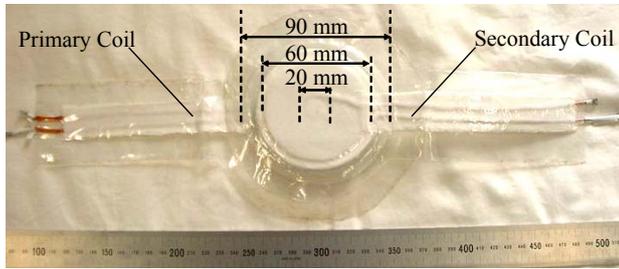


Fig. 1 Coreless Transcutaneous Transformer

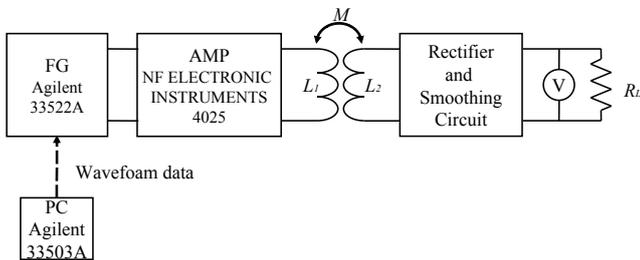


Fig. 2 Experimental circuit

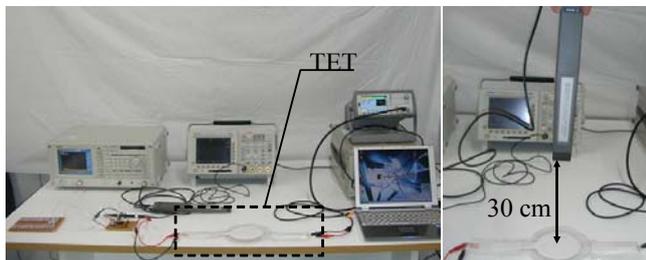


Fig. 3 Measurement Magnetic flux

3. 実験結果

一次コイルの入力電圧をFig. 4に示す. 横軸が時間, 縦軸が電圧振幅である. 電力伝送したときの放射磁界強度をFig. 5に示す. (a)が単一周波数, (b)が合成波である. 単一周波数の場合, 各測定で最大と成る周波数(伝送周波数)のみを取り出し, 全ての結果をひとつのグラフに示した.

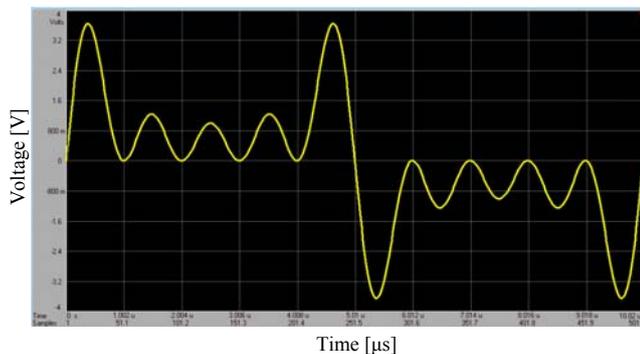
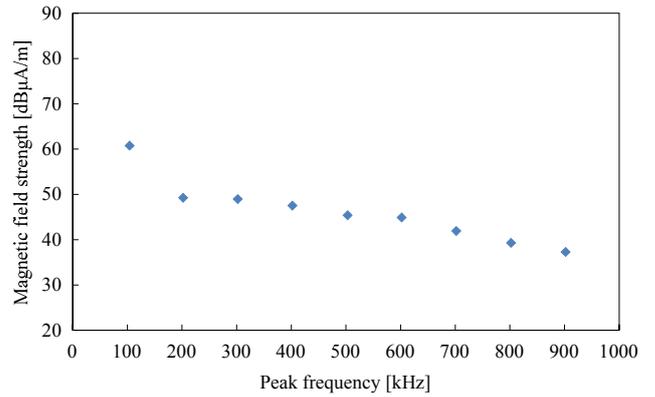
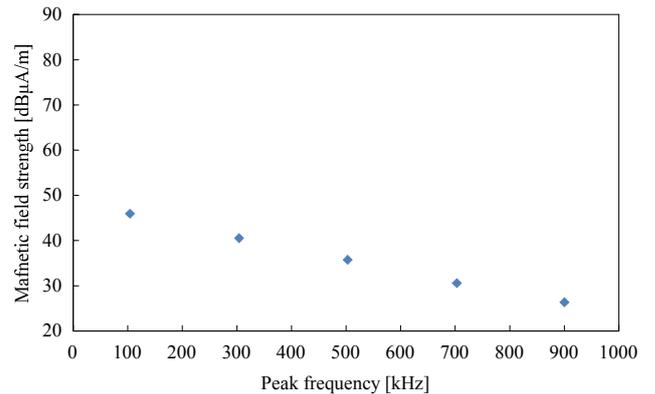


Fig. 4 Transmitting Wave Form



(a)



(b)

Fig. 5 Spectrum of Emission Magnetic Field Strength

(a) Single frequency (b) Synthetic

4. まとめと考察

Fig. 5 (a)より電力伝送が単一の周波数のみで行われると, 使用した周波数において磁界強度のピークが現れている. このことは, 既知の現象であるが, これによって放射磁界強度の規制を超えてしまう. Fig. 5 (b)のように伝送周波数を広帯域化した場合, 空間に蓄積されるエネルギーは各周波数に分散されるため, 周波数毎に見たときにそれぞれのピークが低くなると考えられる. 今回, 複数の周波数の正弦波を重ねることで実際に放射磁界強度のピークを低減することができた. しかし, 1 Wでの伝送であり, 実際には 15 W以上の伝送が求められるので今後研究を進めていく. また, 現在主流な方式である共振回路を用いた方式が適用出来ないため, 高い力率が得られないことが考えられる. この点にも留意しEMCを満たした上で, ある程度の効率を確保した実使用に耐えるTETSの研究を行っていく.

参考文献

- (1) 柴建次, 越地耕二, 完全埋込型人工心臓用経日皮エネルギー伝送システムのEMC, 電気学会論文誌C, 第123巻第7号, pp. 1219-1227, 2003年7月.
- (2) 田口峻平, 吉田勇平, 柴建次, その他, 人工心臓用経日皮エネルギー伝送システム□経皮トランスとVADを組み合わせた放射磁界評価□, 第24回電磁力関係のダイナミクスシンポジウム論文集, pp. 125-130, 2012.