

逆バイアステータピンチ装置の回路定数の決定 Analysis of Circuit Parameters for Field-reversed Theta Pinch Device

黒柳貴子¹, 高橋努²Takako Kuroyanagi¹, *Tutomu Takahashi²

Abstract: A circuit parameters for a field-reversed theta pinch device are analyzed. The three individual circuits (bias field circuit, theta pre-ionized circuit and main compression field circuit) are connected in parallel to the theta pinch coil on NUCTE device. Well-calibrated Rogowski coils are installed in the circuits and each current is monitored. The circuits are considered as simple RLC circuit and the typical waveform of the current is as a damping sinusoidal oscillation. The circuit parameters (inductance and resistance) are determined from the damping constant and the angular frequency. Performances of each circuit and the detailed current profiles on the collector plate and theta pinch coil will be clarified.

1. はじめに

磁場反転配位 (Field-Reversed Configuration : FRC) は, 閉じた磁力線とその外側に開いた磁力線を持つ, ポロイダル磁場のみでプラズマを閉じ込める扁平なトーラス状プラズマである. ポロイダル磁場は, トロイダル電流と呼ばれるプラズマの自己電流と θ ピンチコイルの作る磁場により生じている. このように FRC プラズマは, 比較的弱い閉じ込め磁場によりプラズマを閉じ込めることができるので, ベータ値は非常に大きい閉じ込め法である. 本研究室では, FRC プラズマを逆バイアステータピンチ法 (FRTP(Field Reversed Theta-Pinch)) で生成している. 現在, 超音速移送衝突合体の実験を行うための新装置を建設中で放電回路の定数 (回路のインダクタンス, 抵抗値) の最適化を行う必要がある. そのため現有装置 NUCTE(Nihon University Compact Torus Experiment)の放電回路の回路特性を詳細に調べた.

2. 放電回路の等価回路と回路定数の決定法

実験装置NUCTE(Nihon University Compact Torus Experiment)の放電回路の等価回路の概略をFigure 1. に示す. テータピンチコイルは, 内径17cm-幅5cmの一巻コイル18個とその両側に内径15cm-幅5cmの一巻コイル5個がコレクタープレートに並列に繋がれている. コレクタープレートは, 289cm×61.5cmの長方形の平行平板型で, 3つの放電回路 (バイアス回路, テータ予備電離回路, 主圧縮磁場回路) がそれぞれ並列接続されている. バイアス回路は放電スイッチと5台の低速放電コンデンサー, 保護インダクタンス, 伝送用の同軸ケーブル (長さ12m, 12本を並列接続) から構成されている. テータ予備電離放電回路は, 同軸ケーブルの抵抗と3台の高速放電コンデンサー, 低インダクタンス放電スイッチ, 伝送用の同軸ケーブル (コンデンサー1台当たり長さ8m, 8本を並列接続) から構成されている. 主圧縮磁場回路は18台の高速放電用コンデンサー, 放電開始スイッチとクローバースイッチが組み込まれている高速放

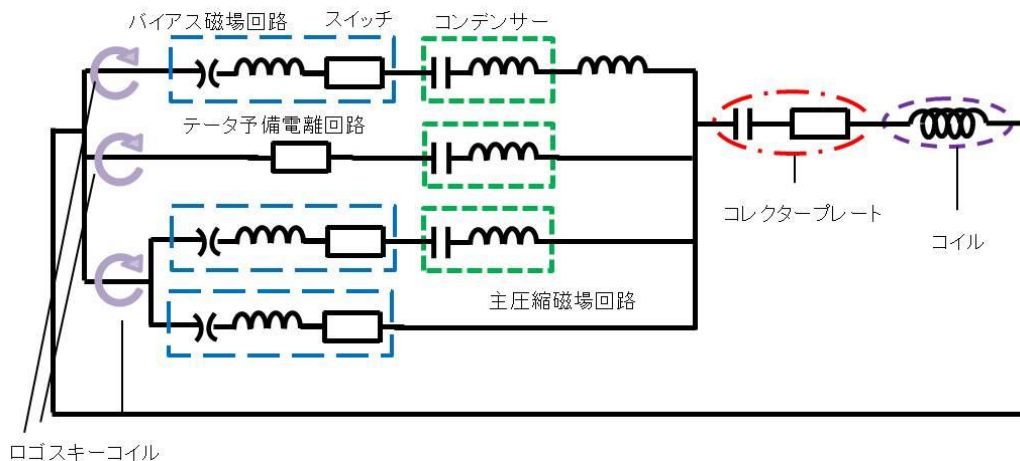


Figure 1. FRC 放電回路の概略図

電用低インダクタンススイッチ，伝送用の同軸ケーブル（コンデンサー1 台当たり 8m，12 本を並列接続）から構成されている．各回路を LCR 回路と考え，回路定数を決定する．LCR 回路として考えると，回路を流れる放電電流値 $I(t)$ は，以下の式で表せる． α, ω は，減衰率，振動数で， L, C, R は，等価回路のインダクタンス，静電容量，抵抗を示す．

$$I(t) = (V_0/\omega L) \exp(-\alpha t) \sin \omega t, \alpha = R/L, \omega^2 = 1/CL - 4(R/L)^2 \quad (1)$$

各回路およびコレクタープレートに流れる電流は，ログスキーコイルを用いて計測する．環状体に巻線を密着して巻いたコイルで，この円環内を通る全電流 (I) による磁束変化を電圧 (V) で検出する．ログスキーコイルの出力電圧は， $V = (m_0 NS/l) dI/dt$ で与

えられ， μ_0, N, S, l は，それぞれ真空透磁率，巻数，コイル断面積，コイル長を示す[1]．自作したログスキーコイルは，電流値を校正した後，コレクタープレート，バイアス回路，シータ予備電離回路に設置される．本実験ではまず，バイアス磁場・ θ 予備電離回路をそれぞれ単独で放電させ，それぞれの回路定数を決定する．次に，バイアス磁場と θ 予備電離回路を同時に放電した場合の回路定数を決定，最後にバイアス磁場・ θ 予備電離・主圧縮磁場回路をすべて放電した場合，全体の回路定数を決定する．これらの放電から求まる， L, R を基に，既知の回路定数（コンデンサーの静電容量，同軸ケーブルの静電容量，インダクタンスなど）を取り除き回路定数を求める．Table 1.には，既知の回路定数（各コンデンサーの容量，残留インダクタンス，各スイッチのインダクタンス）をまとめてある．

3. 実験結果とまとめ

Figure 2 にバイアス磁場(a)， θ 予備電離回路(b)をそれぞれ単独で放電させたときの放電波形を示す．コレクタープレートにケーブルボックスが3つあり，それぞれにログスキーコイルを作製し，A, B, C とした．ログスキーコイル B を通るバイアス磁場回路からの同軸ケーブルはログスキーコイル A, C の2倍の本数， θ 予備電離回路の同軸ケーブルはそれぞれ同じ本数が入っている．バイアス回路には最大 60kA， θ 予備電離回路には 135kA の電流がそれぞれ流れている．

また，各回路を LCR 回路とみなして (1) 式を用いて求めた， α, ω ，および回路定数との関係から求めた L, R を Table 2.にまと

める．これらの値から θ ピンチコイルのインダクタンスおよびバイアスの保護インダクタンスの値はそれぞれ 0.07 μ H, 0.6 μ H と見積もられる．これらの値は，一様電流モデルから求めた，シータピンチコイル，保護インダクタンス，コレクタープレートなどのインダクタンスの値とよく一致していることがわかる．

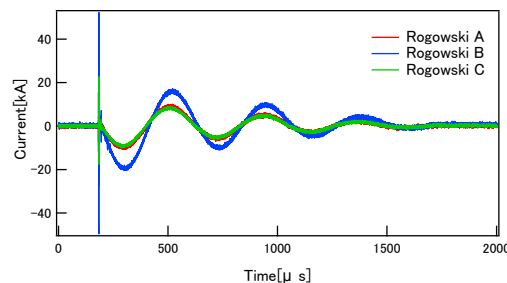
4. 参考文献

[1] 川崎昌二：「ログスキーコイルによる交流大電流計測」

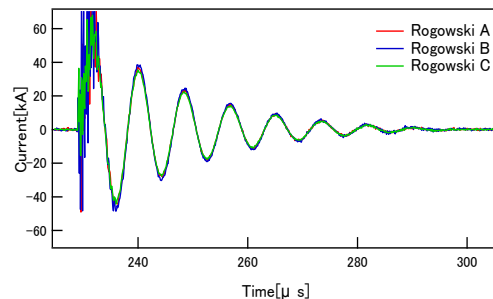
<https://www.riam.kyushu-u.ac.jp/gikan/report/01/rogowsky.pdf>

Table 1 Known Circuit Parameters

	C [μ F]	L [μ H]
Bias Circuit	2000	—
θ Circuit	11.25	11.2
Main Circuit	67.5	1.9
Start Switch	—	1.1
Crowber Switch	—	1.4
Coaxial Cable	0.05	5.9



(a)



(b)

Figure2. Waveform of discharge current measured by Rogowski coil (a) Bias circuit, (b) θ - circuit

Table 2 Parameters of Equivalent Circuit

	α	ω [Hz]	L [H]	R[m Ω]
Bias Circuit	1.4×10^4	1.4×10^4	2.4×10^{-6}	8
θ Circuit	5.7×10^4	7.8×10^5	0.14×10^{-6}	33.6