

JAERI-M

6762

JFT-2 プラズマ電流定電流化装置

1976年10月

前野勝樹・松崎 誼・藤沢 登

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

JFT-2 プラズマ電流定電流化装置

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

前野勝樹・松崎 誼・藤沢 登

(1976年9月30日受理)

本報告書はJFT-2装置のプラズマ電流を定電流化するために用意した遅延回路の設計およびその遅延回路をJFT-2装置に適用した実験結果について述べたものである。通常のパルス発生用遅延回路はほぼ等しいインダクタンスをもつソレノイドコイルとほぼ等しい静電容量をもつコンデンサとの縦続接続によって形成される。本遅延回路の特長は、JFT-2装置の1次巻線を遅延回路の最終段とし、その1次巻線とそれより十分小さいインダクタンスをもつソレノイドコイル群とによって遅延回路を形成したことにあり、このことによって用意するソレノイドコイルの製作が容易となり、かつその小型化が可能となった。

ベーキングと放電洗浄とによってライナ壁を十分に洗浄した後、本遅延回路をJFT-2装置に適用した。その結果プラズマ電流は設計どおり定電流となり、その平坦部の維持時間は設計値にほぼ等しいことが明らかとなった。

A Delay Circuit for Constant Current Operation of JFT-2

Masaki MAENO, Yoshimi MATSUZAKI and Noboru FUJISAWA

Division of Thermonuclear Fusion Research, Tokai, JAERI

(Received September 30, 1976)

A delay circuit has been designed and used in tokamak JFT-2 for its constant plasma current operation. Such delay circuit usually consists of numbers of equal solenoid coils and capacitors. In the circuit developed, its last element is the primary winding of JFT-2 itself, of which the inductance is much larger than those of the preceding solenoid coils. In this way, the size of the solenoids can be small and the circuit be compact.

Experimental constant current operation was performed after baking the vacuum wall and discharge cleaning; the plasma current was then constant with an anticipated flat-top duration.

目 次

1. まえがき	1
2. 遅延回路の設計	2
2.1 JFT-2装置における1次, 2次電流特性	2
2.2 パルス発生源としての遅延回路	2
2.3 基礎方程式	2
2.4 計算結果	3
3. 実験装置および実験方法	4
4. 実験結果および検討	5
5. ま と め	6
謝 辞	6
引用文献	6

1 ま え が き

トカマク型プラズマ発生装置においてエネルギーバランス、不安定性を明らかにすることは重要な課題である。J F T - 2 装置においてそれを明らかにする上での難点は、プラズマへの入力エネルギーの評価あるいはプラズマ表面での安定係数の評価等が複雑であることである。その理由の一つはプラズマの電流波形がほぼ正弦半波のためであり、他の一つはプラズマのシェル中心からのずれが放電維持時間中ほぼ一定にならないためである。プラズマの電流波形がほぼ正弦半波となる理由はプラズマ加熱用電源が、第 1 図に示すように、コンデンサバンクの自然放電方式であるためである。一方プラズマのずれが放電中変化する理由は、プラズマの位置を制御する垂直磁場をプラズマ電流の立ち上り過程だけ制御しているからである。これらの欠点を改めるにはプラズマ電流を定電流化すればよい。そうすれば解析がしやすくかつ精度を上げた実験が可能となるはずである。

J F T - 2 装置のプラズマ電流は 100 kA 程度の大電流であるため、その定電流化制御素子として真空管、トランジスタ等の能動素子を比較的容易に用いることができない。そのためいろいろ定電流の方式を検討したが、遅延回路（以下 P.F.N. と略す）を第 1 図に示した第 2 バンクに適用することによって、電流平坦部の維持時間 τ_f が 30~80 m sec の定電流を比較的容易に実現できる見通しを設計の段階で得た。通常の P.F.N. はほぼ等しいインダクタンスをもつソレノイドコイルとほぼ等しい静電容量をもつコンデンサとの縦続接続によって形成されるが、本 P.F.N. の特長は、J. F. T. - 2 装置の 1 次巻線を P.F.N. の最終段のコイルとし、その 1 次巻線とそれより十分小さいインダクタンスをもつソレノイドコイル群とによって P.F.N. を形成したことにある。P.F.N. を用いたトカマクプラズマの定電流化は S T で簡単に報告されているだけであるので⁽¹⁾、本報告書では設計、実験等についてやや詳しく述べる。以下 2 では P.F.N. の設計、3 では装置の概要、4 では実験結果と検討等について述べる。

2 遅延回路の設計

2.1 JFT-2装置における1次, 2次電流特性

JFT-2装置においては、鉄心が飽和しない範囲で、プラズマ電流 I_p は1次電流 I_n には比例する。第2図(a), (b)は1次巻線の巻数 w が52回における、 I_n および I_p のオシログラム写真である。第2図(a)からプラズマを含めた1次側換算のインダクタンスを求めると約21 mHとなる。第2図(c)は電流の比 I_p/I_n をその最大値で規格化した値の時間変化を示したものである。この図から明らかなように I_n を定電流化すれば、鉄心が飽和しない範囲において I_p はほぼ一定になるはずである。

2.2 パルス発生源としての遅延回路

分布定数回路を第3図に示すようにインダクタンスとコンデンサとで近似したP.F.N.とし

$$\left. \begin{aligned} C_1 = C_2 = \dots\dots\dots = C_{n-1} = C_n = C \\ L_1 = L_2 = \dots\dots\dots = L_{n-1} = L_n = L \\ R_n = \sqrt{\frac{L}{C}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

とすれば、 L_n に流れる電流 I_n は、コイルの抵抗 $R_1 \sim R_{n-1}$ が無視できれば

$$I_n = \frac{V}{2R_n} \quad (2)$$

であり、パルス巾 T は

$$T = 2n\sqrt{LC} \quad (3)$$

であることはよく知られている。ここで V はコンデンサの充電電圧であり、 n は LC 縦続接続の段数である。

このようなP.F.N.の特性を I_p の定電流化に適用可能かを考察する。すなわち第3図に示すように L_n をプラズマを含めた1次巻線のインダクタンスと考える。そして公称値 28.8 mF の第2バンクにソレノイドコイル群を挿入することによってそれをP.F.N.化して、 I_p を定電流化するものである。

2.3 基礎方程式

第3図に示す回路において始めに S を開いて C_n ($n=1, \dots, n$) を充電しておき、 $t=0$ なる時刻に S を閉じた場合の電流を考える。微分方程式は、

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{C_1} \int I_1 dt + L_1 \frac{dI_1}{dt} - \frac{1}{C_2} \int (I_2 - I_1) dt + R_1 I_1 &= 0 \\ \frac{1}{C_2} \int (I_2 - I_1) dt + L_2 \frac{dI_2}{dt} - \frac{1}{C_3} \int (I_3 - I_2) dt + R_2 I_2 &= 0 \\ \vdots \\ \frac{1}{C_{n-1}} \int (I_{n-1} - I_{n-2}) dt + L_{n-1} \frac{dI_{n-1}}{dt} - \frac{1}{C_n} \int (I_n - I_{n-1}) dt + R_{n-1} I_{n-1} &= 0 \\ \frac{1}{C_n} \int (I_n - I_{n-1}) dt + L_n \frac{dI_n}{dt} + R_n I_n &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

で

$$\left. \begin{aligned}
 I_1 &= -\frac{dq_1}{dt}, \quad I_2 - I_1 = -\frac{dq_2}{dt}, \quad I_n - I_{n-1} = -\frac{dq_n}{dt} \\
 C_1 &= C_2 = \dots = C_{n-1} = C_n = C \\
 L_1 &= L_2 = \dots = L_{n-1} = L \\
 R_1 &= R_2 = \dots = R_{n-1} = R
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

とおくと、(4)式は次の様に変形される。

$$\left. \begin{aligned}
 L \frac{d^2 q_1}{dt^2} + \frac{1}{C} (q_1 - q_2) + R \frac{dq_1}{dt} &= 0 \\
 L \frac{d^2}{dt^2} (q_1 + q_2) + \frac{1}{C} (q_2 - q_3) + R \frac{d}{dt} (q_1 - q_2) &= 0 \\
 \vdots & \\
 L_{n-1} \frac{d^2}{dt^2} (q_1 + q_2 + \dots + q_{n-1}) + \frac{1}{C} (q_{n-1} - q_n) + R_n \frac{d}{dt} (q_1 + q_2 + \dots + q_{n-1}) &= 0 \\
 L_n \frac{d^2}{dt^2} (q_1 + q_2 + \dots + q_n) + \frac{1}{C} q_n + R_n \frac{d}{dt} (q_1 + q_2 + \dots + q_n) &= 0
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Sを閉にしたとき第1バンクによる初期電流 I_{n0} が L_n に流れているから、初期値は $t=0$ で

$$\left. \begin{aligned}
 q_1(0) &= q_2(0) = \dots = q_{n-1}(0) = q_n(0) = CV \\
 \frac{dq_1(0)}{dt} &= \frac{dq_2(0)}{dt} = \dots = \frac{dq_{n-1}(0)}{dt} = 0 \\
 \frac{dq_n(0)}{dt} &= I_{n0}
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

となる。

以上のことから I_n は、(6)式の微分方程式を(7)式の初期条件で解き

$$I_n = \sum -\frac{dq_n}{dt} \quad (8)$$

を求めることに帰着される。

(6)式を Laplace 変換して I_n を求めることは困難であるため、以下の議論は数値計算に基づくものである。なお $V=1$ として規格化し、P.F.N.の全静電容量 $nC=28\text{mF}$ とした。

2.4 計算結果

P.F.N.の段数 n を多くするにしたがって、 I_n は矩形波に近づくはずである。例えば第4図(a)(b)(c)は(5)式において $L_n=L$, $I_{n0}=0$ とおき、 $n=5, 10$ および 20 に対するそれぞれの I_n の時間変化を示したものである。ここで L は(3)式において $T=50\text{m sec}$ となる値を用いた。この図から n を多くするにしたがい、 I_n は矩形波に近づくことが明らかである。

実際の P.F.N.の製作においては、 L は小さくなるにしたがいかつ R は大きくなるにしたがい製作が容易になる。そのため L が L_n に比べて小さい P.F.N.において、 L と R をパラメータに

した I_n の時間変化を調べる。前述のように $w=52$ 回の場合、 $L_n \approx 21$ mH であるので、(6)式の L_n は 21 mH とおく。第 5 図の (a), (b), (c), (d) は、 $n=10$ とし、 R をパラメータにして、 L をそれぞれ 1 mH, 2 mH, 4 mH および 6 mH としたときの I_n の時間変化を示したものである。ここで (6) 式の R_n は図示したとおりであり、(7) 式の I_{n0} は零とおいた。この図から明らかなように R が大きくなるにしたがい、 I_n は t と共に小さくなる傾向がある。このことから製作するコイルの抵抗 R はおのおの図示した最小値より小さいことが望ましい。なお、 $R_n=0$ の場合の I_n は、 R_n を整合させた場合の約 2 倍である。

第 6 図は I_{n0} を任意に選んで L をパラメータにした I_n の時間変化を示したものである。同図 (a) は R_n を整合させた場合の、(b) は $R_n=0$ とおいた場合の I_n である。 $R_n=0$ の場合の I_n は、 R_n を整合させた場合の I_n のほぼ 2 倍となる。この図からも明らかなように L を大きくするにしたがって、電流の平坦部は長くなる。

以上のことから第 1 図に示した第 2 バンクに L_n より十分小さなインダクタンスのソレノイドコイルを挿入してそれを P.F.N. 化すれば、プラズマ電流は定電流となることが明らかとなった。なお、 L_n が L より十分大きい P.F.N. においても I_n が定電流となる理由は、最終段のインピーダンスの不整合がインダクタンスの平方根によるためであろうと考えられる。

3 実験装置および実験方法

実際に製作した P.F.N. の段数は 10 段である。本 P.F.N. の最終段は 1 次巻線であるため、ソレノイドコイルは 9 個用意した。1 個あたりのインダクタンスの実測値 L (平均値) はそれぞれ 0.917 mH, 2.28 mH および 3.91 mH である。公称 28.8 mF の第 2 コンデンサバンクは 10 分割した。その 1 分割あたりの静電容量の実測値 C (平均値) は 298 mF である。第 1 表はそれらの回路定数をまとめたものである。 L のバラツキは 2.2% 以内である。第 1, 2 段の静電容量を他の段のそれより大きくした理由は、そうした方が I_n 波形は矩形波により近づくことが予備実験から明らかになったからである。第 3 ~ 10 段までの静電容量のバラツキは 4% 以内である。

JFT-2 装置の 1 次巻線の巻数 w は、第 1 図に示したように、52 回、116 回 および 180 回である。それらの巻数における 1 次側換算のインダクタンス L_n (プラズマを含む) は、コンデンサバンクの自然放電の周期より求めると、それぞれ約 21 mH, 100 mH および 250 mH である。

JFT-2 装置のライナを 200°C で約 1 週間ベーキングした後、放電洗浄を行なった。放電洗浄を 3,000 回行なった結果プラズマは十分誘導的となったので、この時点で本 P.F.N. を JFT-2 装置に適用した。

初期の目的が達せられたかどうかを調べるため、1 次巻線に印加される電圧 V_1 、1 次巻線の電流 I_n 、シェル内側に巻いた 1 ターンループの電圧 V_L 、プラズマ電流 I_p 、プラズマのずれ d_h 等を測定した。

した I_n の時間変化を調べる。前述のように $w=52$ 回の場合、 $L_n \approx 21$ mH であるので、(6)式の L_n は 21 mH とおく。第 5 図の (a), (b), (c), (d) は、 $n=10$ とし、 R をパラメータにして、 L をそれぞれ 1 mH, 2 mH, 4 mH および 6 mH としたときの I_n の時間変化を示したものである。ここで (6) 式の R_n は図示したとおりであり、(7) 式の I_{n0} は零とおいた。この図から明らかのように R が大きくなるにしたがい、 I_n は t と共に小さくなる傾向がある。このことから製作するコイルの抵抗 R はおのおの図示した最小値より小さいことが望ましい。なお、 $R_n=0$ の場合の I_n は、 R_n を整合させた場合の約 2 倍である。

第 6 図は I_{n0} を任意に選んで L をパラメータにした I_n の時間変化を示したものである。同図 (a) は R_n を整合させた場合の、(b) は $R_n=0$ とおいた場合の I_n である。 $R_n=0$ の場合の I_n は、 R_n を整合させた場合の I_n のほぼ 2 倍となる。この図からも明らかのように L を大きくするにしたがって、電流の平坦部は長くなる。

以上のことから第 1 図に示した第 2 バンクに L_n より十分小さなインダクタンスのソレノイドコイルを挿入してそれを P.F.N. 化すれば、プラズマ電流は定電流となることが明らかとなった。なお、 L_n が L より十分大きい P.F.N. においても I_n が定電流となる理由は、最終段のインピーダンスの不整合がインダクタンスの平方根によるためであろうと考えられる。

3 実験装置および実験方法

実際に製作した P.F.N. の段数は 10 段である。本 P.F.N. の最終段は 1 次巻線であるため、ソレノイドコイルは 9 個用意した。1 個あたりのインダクタンスの実測値 L (平均値) はそれぞれ 0.917 mH, 2.28 mH および 3.91 mH である。公称 28.8 mF の第 2 コンデンサバンクは 10 分割した。その 1 分割あたりの静電容量の実測値 C (平均値) は 298 mF である。第 1 表はそれらの回路定数をまとめたものである。 L のバラツキは 2.2% 以内である。第 1, 2 段の静電容量を他の段のそれより大きくした理由は、そうした方が I_n 波形は矩形波により近づくことが予備実験から明らかになったからである。第 3 ~ 10 段までの静電容量のバラツキは 4% 以内である。

JFT-2 装置の 1 次巻線の巻数 w は、第 1 図に示したように、52 回、116 回および 180 回である。それらの巻数における 1 次側換算のインダクタンス L_n (プラズマを含む) は、コンデンサバンクの自然放電の周期より求めると、それぞれ約 21 mH, 100 mH および 250 mH である。

JFT-2 装置のライナを 200°C で約 1 週間ベーキングした後、放電洗浄を行なった。放電洗浄を 3,000 回行なった結果プラズマは十分誘導的となったので、この時点で本 P.F.N. を JFT-2 装置に適用した。

初期の目的が達せられたかどうかを調べるため、1 次巻線に印加される電圧 V_1 、1 次巻線の電流 I_n 、シェル内側に巻いた 1 ターンループの電圧 V_L 、プラズマ電流 I_p 、プラズマのずれ d_h 等を測定した。

4 実験結果および検討

本 P.F.N.の特長は前述のように $L_n > L$ である。そのため I_p 波形に対する L_n の依存性を調べた。第7図(a), (b), (c)は $w=52, 116, 180$ 回における1次電圧 V_1 , 1次電流 I_n , 1ターンループ電圧 V_L およびプラズマ電流 I_p のオシログラム写真を示したものである。ここで用いたソレノイドのインダクタンス L は $L=3.91$ mH である。この図から I_p 平坦部の維持時間の実験値 τ_{fe} は L_n に依存せず, L_n が大きくなるにしたがって立ち下りが緩慢となるだけであることが明らかである。なお, プラズマのずれ Δ_h は I_p 平坦部の維持時間中ほぼ一定であることは別に確かめてある。

次に I_p 波形に対する L の依存性を調べた。第8図(a), (b), (c)は用いたソレノイドコイルのインダクタンス L が 0.917 mH, 2.28 mH および 3.91 mH における V_1 , I_n , V_L および I_p のオシログラム写真である。ここで $w=52$ 回である。この図から L が大きくなるにしたがって, τ_{fe} は大きくなることが明らかである。そして τ_{fe} は第7図に示した計算によって求めた平坦部の維持時間にほぼ等しいことも明らかである。

以上の実験結果をまとめると第2表のようになる。この表における T は, $L_n = L$ とおいて C と L との実測値を(3)式に代入して求めたパルス巾である。この表から $\tau_{fe} = T$ であることが明らかである。以上のことから本遅延回路のような変形した遅延回路においても定電流が得られること, そしてその平坦部の維持時間が通常の遅延回路のそれとほぼ等しいこと等が明らかとなった。

なお, 本遅延回路を用いた I_p の定電流化の限界は鉄心の飽和にあることは別に確かめた。それではその飽和が何によるのかを明らかにするため, 鉄心に巻いた何本かの1ターンループの積分出力を調べた。その結果プラズマに有効な磁束は1次巻線付近の鉄心の磁束の約 $1/2$ であること, したがって鉄心は1次巻線の付近で飽和すること, そしてその飽和までの鉄心の磁束はプラズマ電流の立ち上り過程でほとんど消費されること等が明らかとなった。1次巻線および予備電離の改良は今後の検討事項である。

5 ま と め

JFT-2 プラズマの電流を定電流化するために、変形した遅延回路の設計および実験を行った。最初に変形した遅延回路に対する連立微分方程式を数値計算で解くことによって、プラズマの電流は定電流となることを示した。次にその計算結果に基づき変形した遅延回路を製作し、それをJFT-2装置に適用した結果、プラズマ電流は設計どおり定電流となること、その平坦部の維持時間は設計値とほぼ等しいこと、プラズマのずれは時間的にほぼ一定であること等が確かめられたことを示した。

なお、本遅延回路による定電流化の限界は、鉄心の飽和にあることを確かめた。鉄心に何本かの1ターンループを巻いて調べた結果、その飽和は漏洩磁束が多いこと、飽和までの鉄心の磁束の大部分がプラズマ電流の立ち上り過程で消費されること等に依るものであることが明らかとなった。1次巻線、予備電離等の改良は今後の検討事項である。

謝 辞

本遅延回路は日本コンデンサ工業KKによって製作されたものである。関係各位に深く感謝します。

設計および実験において有益な議論をしていただいたプラズマ実験研究室の方々に深く感謝します。嶋田道也氏、特別研究生の山本巧氏には実験の手助けをいただきましたことを感謝します。

特に本遅延回路を含めたJFT-2装置の運転は、豊島昇氏、国枝俊介氏を始めとする装置技術管理室の方々によってなされたものである。ここに深く感謝いたします。

終始御助言、御指導下さいました田中正俊室長に厚く御礼申し上げます。

終始御指導、御鞭撻下さいました森 茂部長に厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- (1) N.M. Turitzin and H.M. Chandler, Jr, MATT-837 (1971)

5 ま と め

JFT-2 プラズマの電流を定電流化するために、変形した遅延回路の設計および実験を行った。最初に変形した遅延回路に対する連立微分方程式を数値計算で解くことによって、プラズマの電流は定電流となることを示した。次にその計算結果に基づき変形した遅延回路を製作し、それをJFT-2装置に適用した結果、プラズマ電流は設計どおり定電流となること、その平坦部の維持時間は設計値とほぼ等しいこと、プラズマのずれは時間的にほぼ一定であること等が確かめられたことを示した。

なお、本遅延回路による定電流化の限界は、鉄心の飽和にあることを確かめた。鉄心に何本かの1ターンループを巻いて調べた結果、その飽和は漏洩磁束が多いこと、飽和までの鉄心の磁束の大部分がプラズマ電流の立ち上り過程で消費されること等に依るものであることが明らかとなった。1次巻線、予備電離等の改良は今後の検討事項である。

謝 辞

本遅延回路は日本コンデンサ工業KKによって製作されたものである。関係各位に深く感謝します。

設計および実験において有益な議論をしていただいたプラズマ実験研究室の方々に深く感謝します。嶋田道也氏、特別研究生の山本巧氏には実験の手助けをいただきましたことを感謝します。

特に本遅延回路を含めたJFT-2装置の運転は、豊島昇氏、国枝俊介氏を始めとする装置技術管理室の方々によってなされたものである。ここに深く感謝いたします。

終始御助言、御指導下さいました田中正俊室長に厚く御礼申し上げます。

終始御指導、御鞭撻下さいました森 茂部長に厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- (1) N.M. Turitzin and H.M. Chandler, Jr, MATT-837 (1971)

5 ま と め

J F T-2 プラズマの電流を定電流化するために、変形した遅延回路の設計および実験を行った。最初に変形した遅延回路に対する連立微分方程式を数値計算で解くことによって、プラズマの電流は定電流となることを示した。次にその計算結果に基づき変形した遅延回路を製作し、それを J F T-2 装置に適用した結果、プラズマ電流は設計どおり定電流となること、その平坦部の維持時間は設計値とほぼ等しいこと、プラズマのずれは時間的にほぼ一定であること等が確かめられたことを示した。

なお、本遅延回路による定電流化の限界は、鉄心の飽和にあることを確かめた。鉄心に何本かの 1 ターンループを巻いて調べた結果、その飽和は漏洩磁束が多いこと、飽和までの鉄心の磁束の大部分がプラズマ電流の立ち上り過程で消費されること等に依るものであることが明らかとなった。1 次巻線、予備電離等の改良は今後の検討事項である。

謝 辞

本遅延回路は日本コンデンサ工業 K K によって製作されたものである。関係各位に深く感謝します。

設計および実験において有益な議論をしていただいたプラズマ実験研究室の方々に深く感謝します。嶋田道也氏、特別研究生の山本巧氏には実験の手助けをいただきましたことを感謝します。

特に本遅延回路を含めた J F T-2 装置の運転は、豊島昇氏、国枝俊介氏を始めとする装置技術管理室の方々によってなされたものである。ここに深く感謝いたします。

終始御助言、御指導下さいました田中正俊室長に厚く御礼申し上げます。

終始御指導、御鞭撻下さいました森 茂部長に厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- (1) N.M. Turitzin and H.M. Chandler, Jr, MATT-837 (1971)

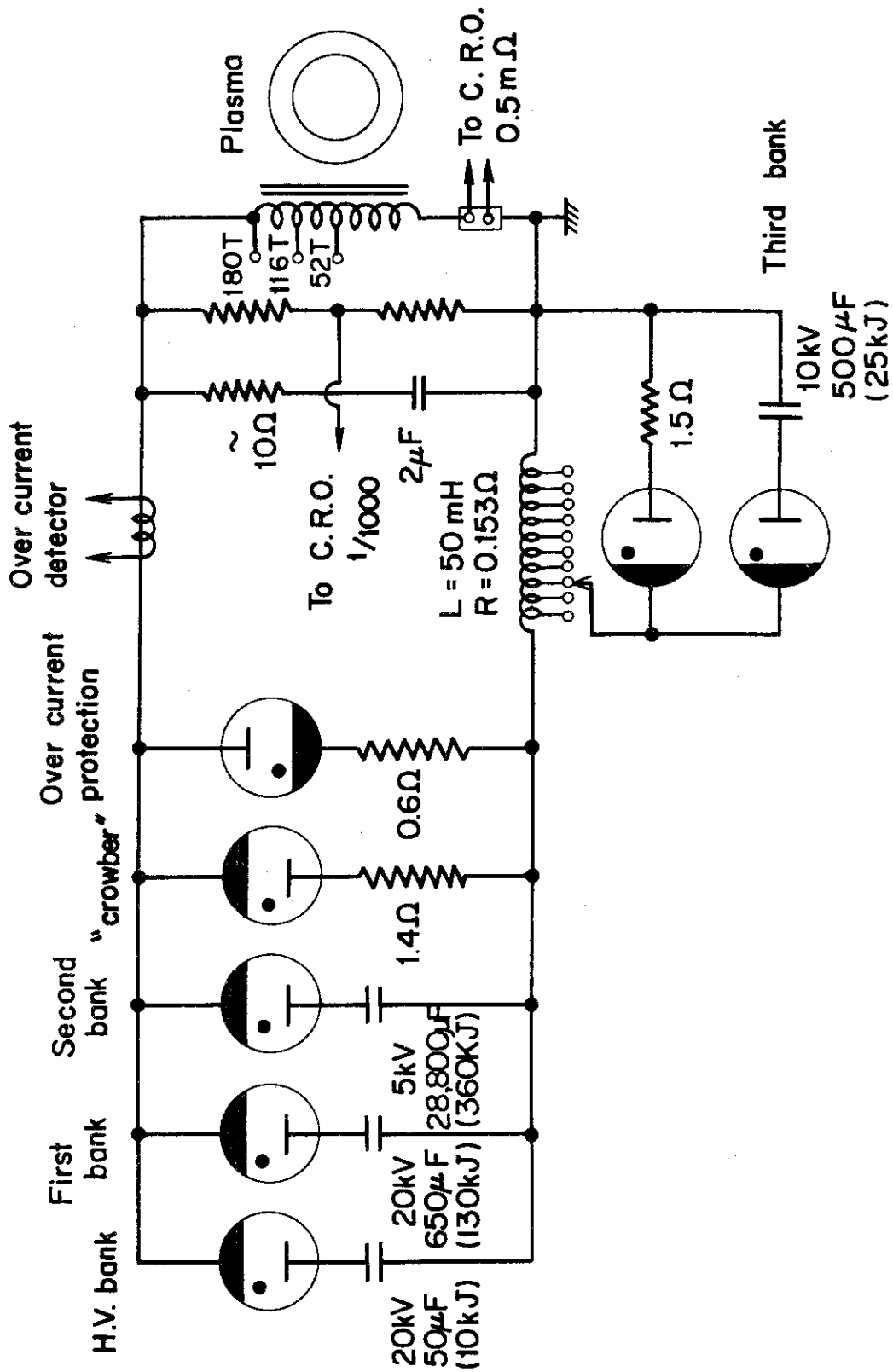
第1表 回路定数表

Capacitor No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average (St. 3~10)
Capacitance (mF)	3.20	3.15	3.00	3.02	3.01	2.90	2.92	3.03	2.95	3.02	2.98

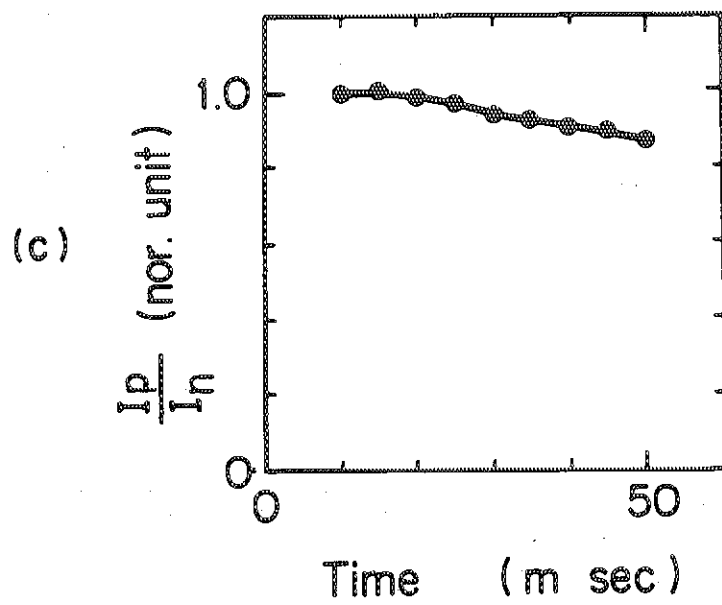
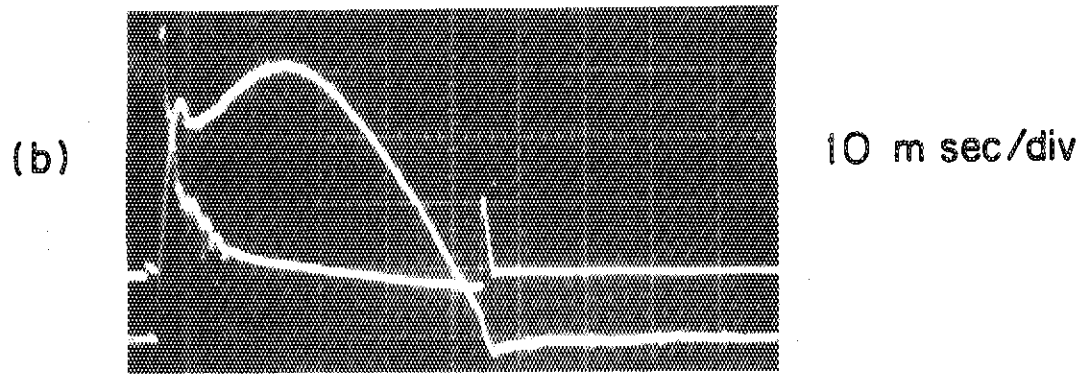
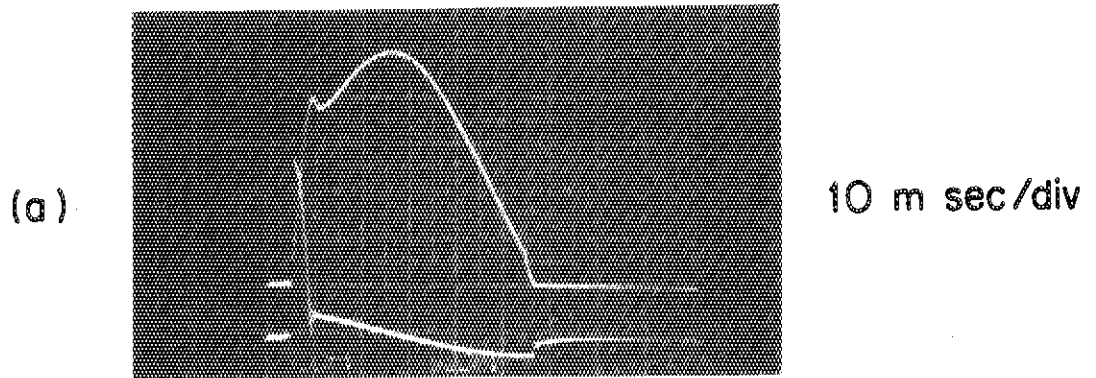
Coil No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average
Inductance (mH)	3.92	3.93	3.93	3.90	3.86	3.89	3.92	3.94	3.89	3.91
	2.29	2.30	2.29	2.29	2.26	2.26	2.26	2.31	2.27	2.28
	0.918	0.916	0.916	0.917	0.917	0.918	0.917	0.918	0.916	0.917

第2表 プラズマ電流平坦部の維持時間
 T : $L_n = L$ において求めた遅延回路のパルス巾
 τ_{fe} : 平坦部の維持時間の実験値

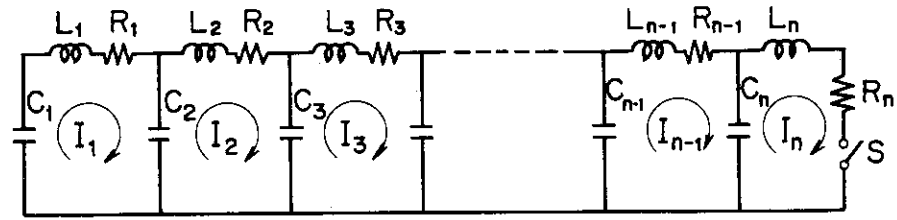
L	W Ln	52 Turns	116 Turns	180 Turns
		~21 mH	~100 mH	~250 mH
0.917 mH	T	33.1 msec		
	τ_{fe}	~40 msec		
2.28 mH	T	52.1 msec		
	τ_{fe}	~57 msec		
3.91 mH	T	68.3 msec		
	τ_{fe}	~72 msec	~72 msec	~72 msec



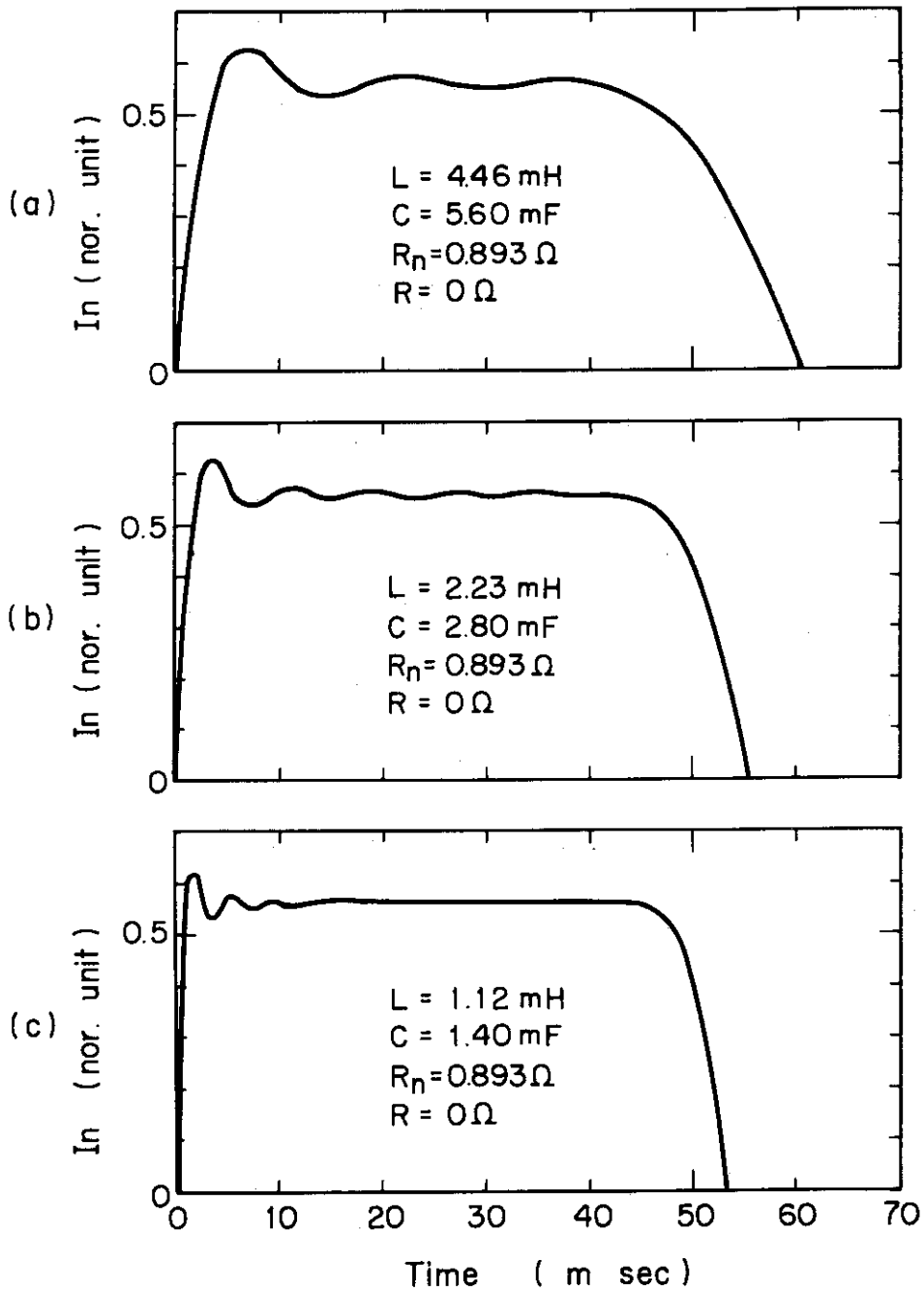
第1図 JFT-2, 1次巻線電源回路



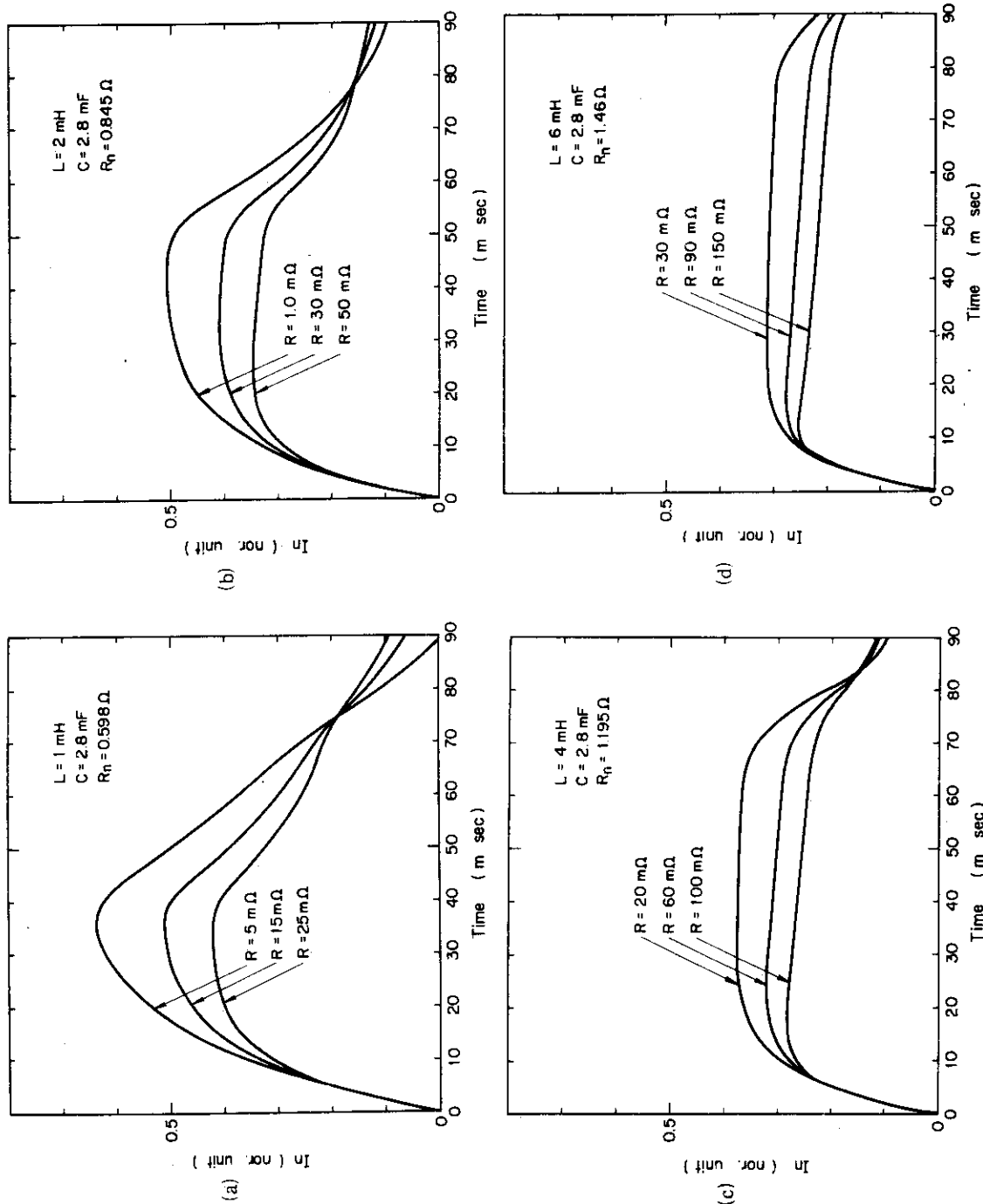
第2図 JFT-2装置における1次(a)および2次(b)電流波形, (c)はプラズマ電流 I_p の1次電流 I_n に対する比の時間変化



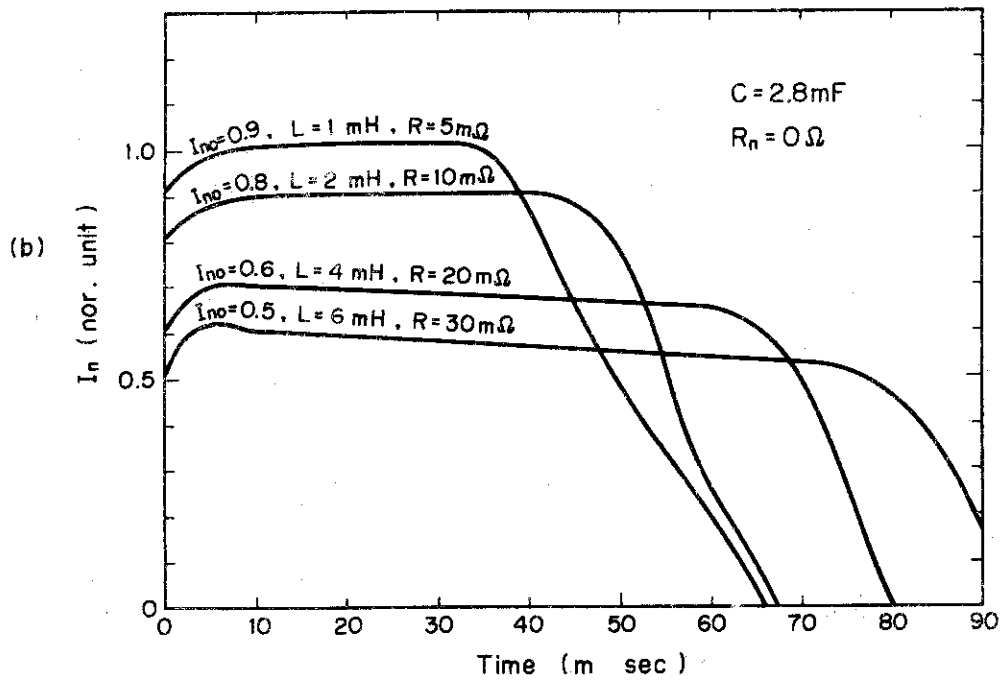
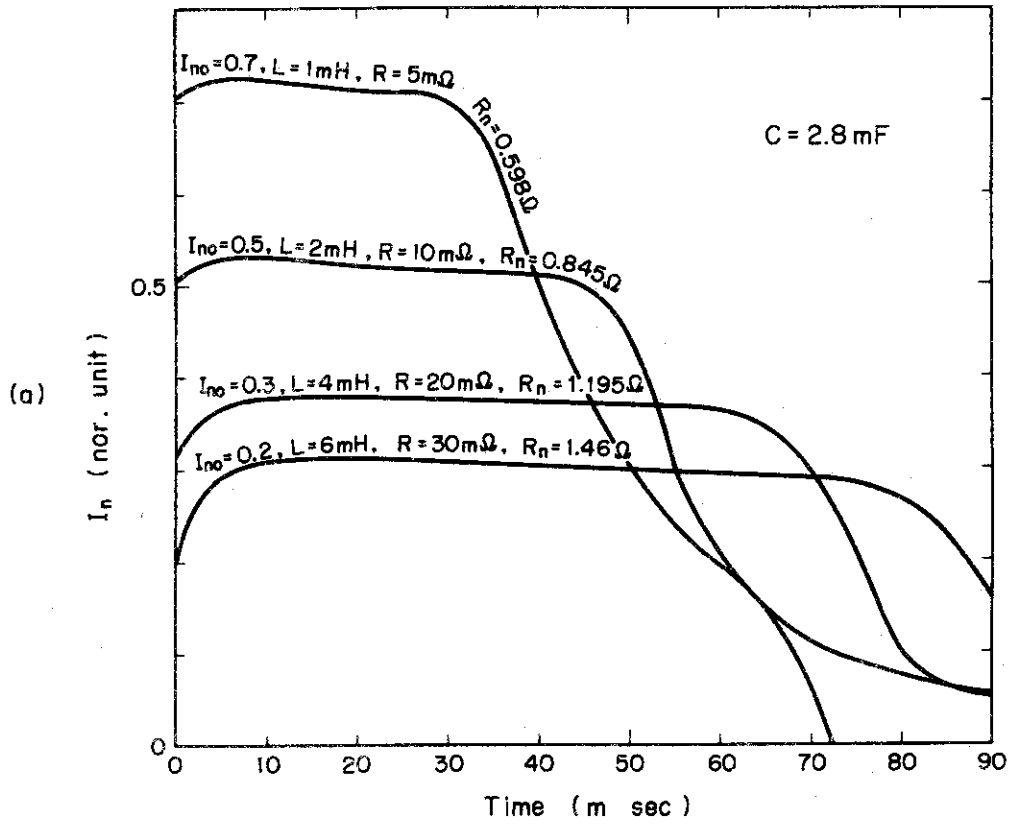
第3図 P.F.N.の等価回路図



第4図 P.F.N.の段数に対する波形の差異
 (a) 5段 (b) 10段 (c) 20段



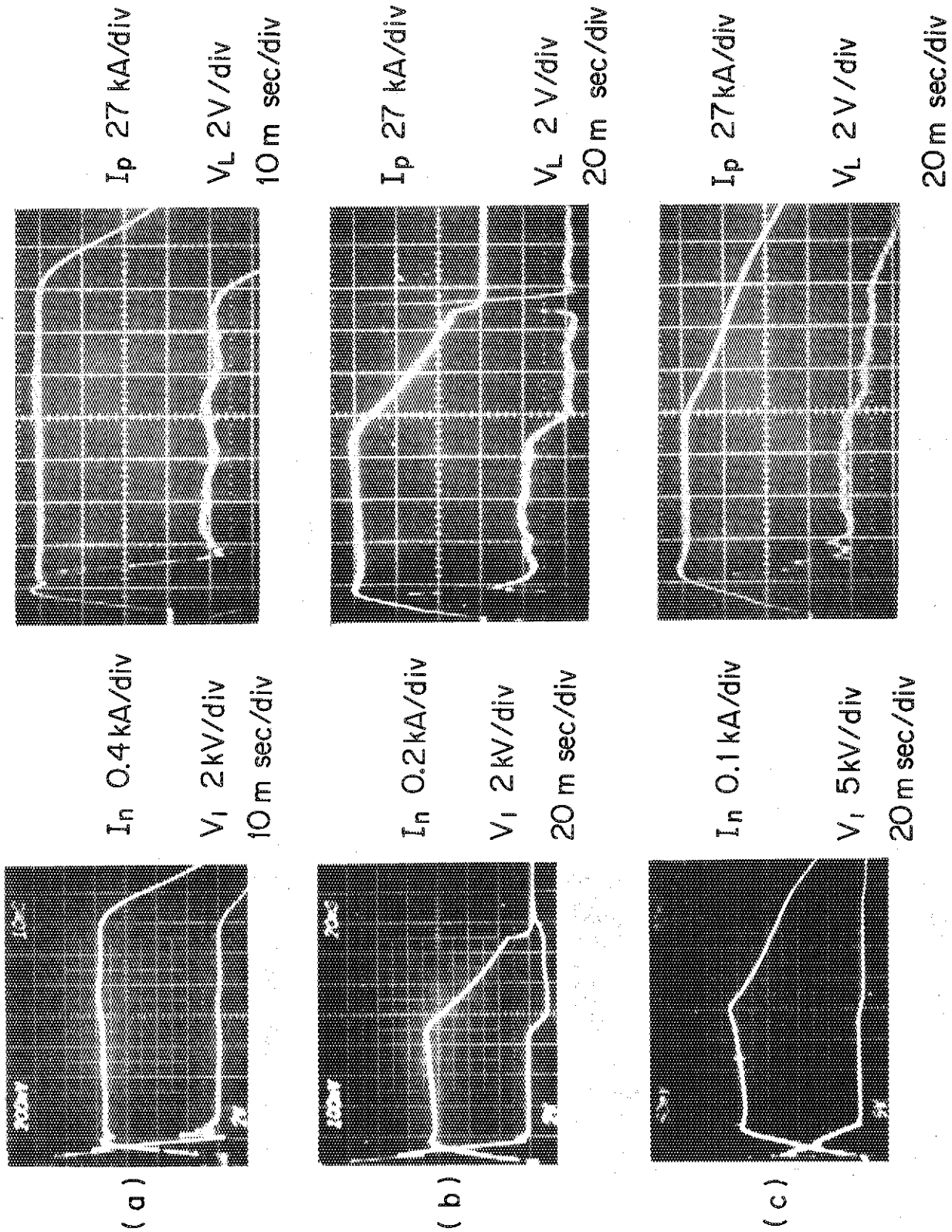
第5図 コイルの抵抗をパラメータにした I_n の時間変化
 (a) $L = 1 \text{ mH}$ (b) $L = 2 \text{ mH}$ (c) $L = 4 \text{ mH}$ (d) $L = 6 \text{ mH}$



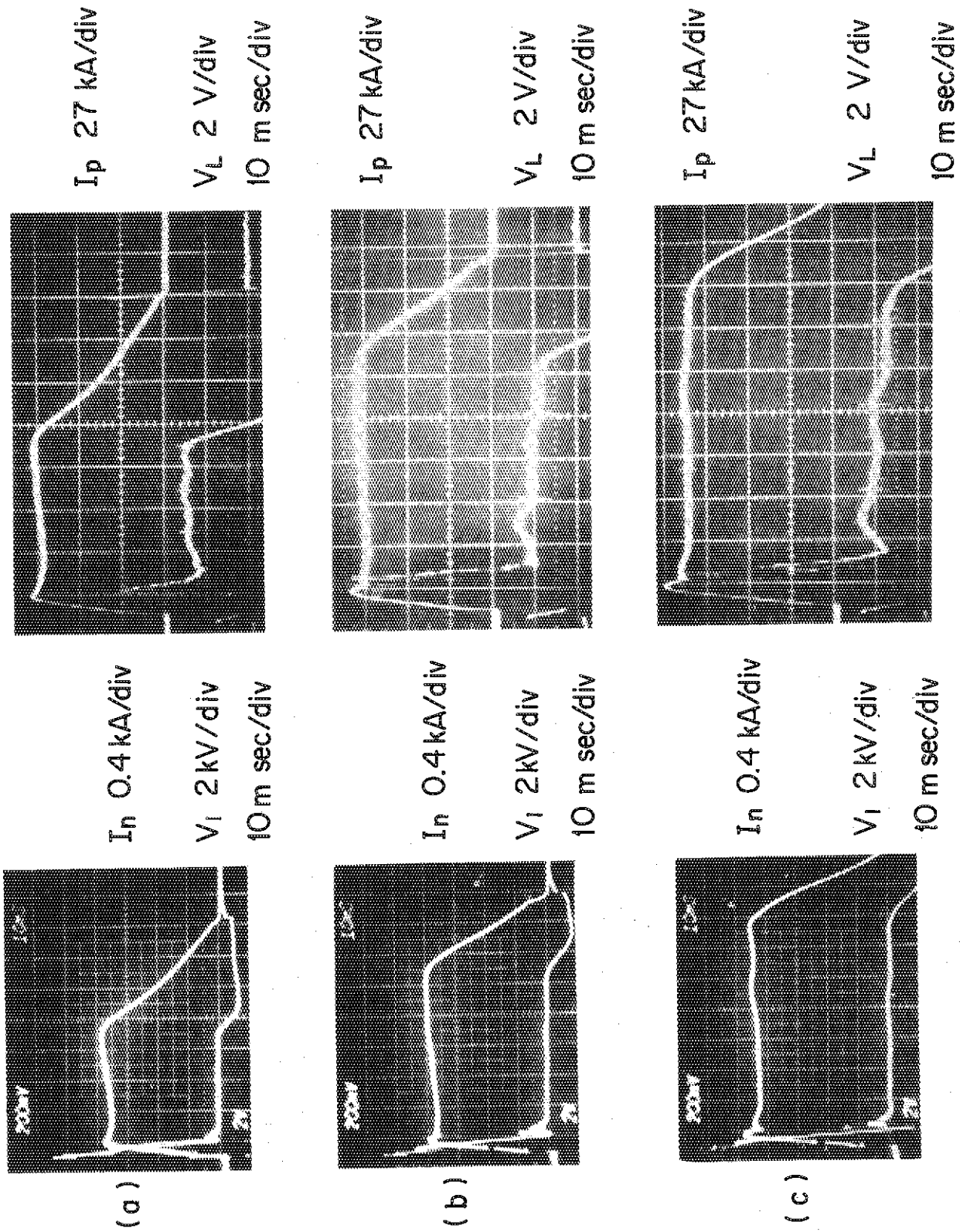
第6図 I_n の時間変化

(a) I_{no} を任意に選んだときの I_n ($R_n \neq 0$)

(b) I_{no} を任意に選んだときの I_n ($R_n = 0$)



第7図 1次巻線の巻数を変えた場合の1次電圧 V_1 , 1次電流 I_p , 1ターン
ループ電圧 V_L およびプラズマ電流 I_p のオシログラム写真
(a) $w=52$ 回 (b) $w=116$ 回 (c) $w=180$ 回



第8図 ソレノイドコイルのインダクタンスを変えた場合の1次電圧 V_L 、1次電流 I_n 、1ターンスループ電圧 V_L およびプラズマ電流 I_p のオシログラム写真

(a) $L=0.917$ mH (b) $L=2.28$ mH (c) $L=3.91$ mH