

磁界の回転による気体放電型大阪管の検波指向特性

宮脇 沢美*, 上田 洋征*, 森田 正信**

Demodulation Directivities of the Gas Discharge-type Osaka Tube. under the Rotation of the Magnetic Field

Sawami MIYAWAKI*, Hiroyuki UEDA*, and Masanobu MORITA**

(Received September 1, 1970)

The microwave demodulation directivities of the gas discharge Osaka Tube under the rotation of the magnetic field is examined in the present paper. When the collector current I_c is electron current and the magnetic field H is equal to H_{ce} corresponding to the cyclotron frequency f_{ce} , the signal power remains independent of the gas pressure.

When I_c is ion current, the demodulation output power is either independent of the magnetic field rotation or increasing in the direction operating as the normal Osaka Tube. In this case, the pressures are above approximately 0.6 Torr (Ar, Ne), and the discharge current I_A is below about a few milliamperes.

1. 序 論

すでに高真空では、著者の一人ら^{1,2)}が磁界の回転による検波特性と発振特性を Poritsky と Jerrard³⁾ による電子の軌道解析に関係づけて考察している。その研究報告に基づき、この論文では熱陰極気体放電型大阪管（平板形式放物型）の磁界の回転による検波指向特性を考察する。この気体放電装置においては、磁界の0度領域（大阪管の動作領域）ではすでにガス圧力の増加と共に磁界特性が三つの異ったモードを持つことが解っている。ガス圧力の低い方から順番にモードⅠ、モードⅡ、モードⅢと呼んでいる^{4,5)}。モードⅠからモードⅡへの遷移ガス圧力はほぼ 10^{-2} Torr と 10^{-1} Torr の間であり、モードⅡからモードⅢへの遷移ガス圧力はほぼ 10^{-1} Torr と 1 Torr の間にある。ここで行なわれる実験はモードⅠ、モードⅡでは、磁界 H は次式であらわされる電子のサイクロトロン周波数に相当する磁界 H_{ce} に定める。

$$H_{ce} = \frac{2\pi}{\mu_0 \beta} f \quad (1)$$

ここで μ_0 は自由空間の透磁率、 β は電子の比電荷で、 f は Hz であらわされた印加マイクロ波周波数である。

モードⅢでは H_{ce} のほかに $2H_{ce}$, $3H_{ce}$ にも定める。なお本文中に用いる式は MKS 有理単位系である。

2. 実験装置

使用される放電管の電極構造は次式によって示される。陽極 A_1 , A_2 に対しては、

$$y^2 - x^2 = \frac{1 - \alpha}{\alpha} l_x^2, \quad \alpha = l_x^2 / (l_x^2 + l_y^2) \quad (2)$$

ここで l_x は作用空間の中心からコレクタ（集電極 B_a , E ）までの距離。 l_y は作用空間の中心から陽極までの距離である。

コレクタに対しては

$$x^2 - y^2 = l_x^2 \quad (3)$$

もっともよく使用された電極寸法は、コレクタ間 $3.8 \times 10^{-3} \text{ m} (= 2l_x)$ と陽極間 $2.0 \times 10^{-3} \text{ m} (= 2l_y)$ である。この放電装置は、17,000 Oe までの強度の磁界を生ずることの可能な磁極間に設置される。なお空間電荷が無視される時には、電位分布は次式を満足する。

$$V = V_0 \left\{ 1 - \left(\frac{x}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{y}{l_y} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

ここで V_0 は作用空間の中心での電位である。

Fig. 1 の実験装置図は磁界の回転方向を示している。矢印によって示された方向に回転される。その回転角度 θ が 0 度、180 度とその近傍は一般に大阪管として動作させる範囲で 0 度領域と呼び、90 度、270 度とその近傍

* 工業物理学科 (Department of Engineering Physics)

** 関西大学工学部 (Faculty of Engineering, Kansai University)

はマグネトロンのように使用される範囲で90度領域と呼んでいる。なお入来波信号は、レーダに使用される 100 Hz の割合でマイクロ波をパルス化したものを使用した。

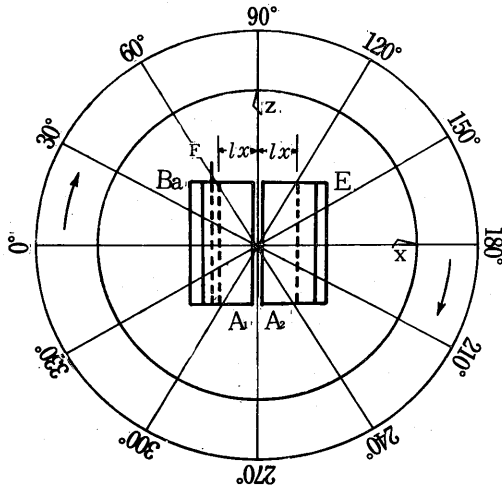


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus (→ Rotational direction of applied magnetic field).

3. 実験結果と考察

モード I, II, III における $H=H_{ce}$ での検波機構を磁界を回転させて得られる指向特性から調べたが、各モードにおいてコレクタ電流 I_c が電子電流のときは指向特性は90度領域に近いところでピークを形成するか、あるいは0度領域、90度領域で谷となるバタフライ型の分布となる。これは Fig. 2 (a), (b) に示される。Fig. 2 (a) はモード II, Fig. 2 (b) はモード III に相当する指向特性である。この特性は通常の真空大阪管の場合とは異なっているが、もともと0度領域での真空、モード I, II, III において陽極電圧が低い (およそ 10V 以下) ときは、検波出力は磁界指数 r_ω (電子の y 方向の角周波数 ω_m と電子の x 方向の角周波数 ω_e との比) を満

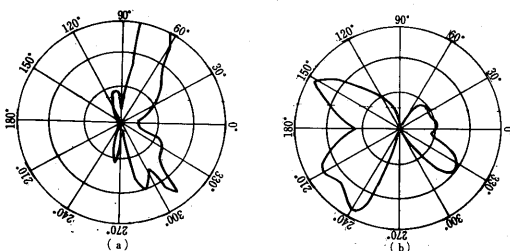


Fig. 2. Demodulation output power under the rotation of magnetic field.

(a) Gas; Ar, $P=10^{-1}$ Torr, $f=9.55$ GHz, $V_A=5.0$ V, $H=3400$ Oe, $I_F=1.73$ A

(b) Gas; Ar, $P=6.0$ Torr, $f=9.55$ GHz, $V_A=0.7$ V, $H=3450$ Oe, $I_F=1.81$ A

足しくなり、検波出力がピークになる磁界 H_p は H_{ce} になり A 型磁電管の性質を強く示す⁹⁾。この場合の荷電粒子と超高周波電界との相互作用は、通常の RF 間隙で行なわれず陽極間で行なわれていると考えられる。

モード III で I_c がイオン電流になれば常に一定の指向特性を示すことはなく、はっきりと定量化するには到っていないが、入来波の周波数に関係なく放電電流と磁界の強弱が非常に重要な要素となっており、作用空間内に発生するプラズマの性質が強く影響を与えるようである。 I_c が電子電流のときは、ちょうど $\theta=90$ 度、270 度では、 H_{ce} で完全に検波不能になり陽極電流も流れなくなったが、イオン電流のときは V_A が電離電圧付近のときに H_{ce} で急に検波出力が落ちる以外は必ずしも H_{ce} で検波不能にはならないし、陽極電流も他の領域に比べれば少ないが全く流れなくなるということはない。零磁界のときの陽極電流 I_{AO} を縦軸に、そのとき検波不能になる磁界 H_n を横軸にとれば Fig. 3 に示すようになる。普通 I_{AO} が大きくなれば、 H_n も大きくなるが、規則性は見出されていない。 I_{AO} が大きくなり過ぎると H_n は飽和状態になるか、あるいはむしろ低くなる。これは次の理由による。 I_{AO} が大きいときは零磁界でかなり検波感度はよいが、 H の増大とともに放電電流が急激に増加し速く検波不安定状態になるかあるいは雑音発生状態になるためである。 $\theta=90$ 度と 270 度を比べれば、 H_n は 270 度のときの方が高くなる。この理由は後述する荷電粒子の運動に関係があると考えられる。また 0 度領域の H_n に比べれば 90 度領域の H_n はかなり低くなる。

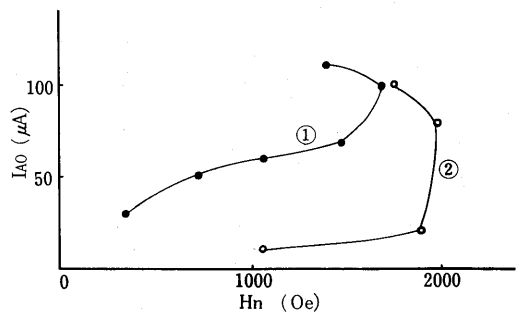


Fig. 3. Anode current I_{AO} when the magnetic field is not applied versus the magnetic field H_n the demodulation have not been detectable ($f=1000$ MHz).

① $\theta=90^\circ$, ② $\theta=270^\circ$

Fig. 4 (a) のようなあまり指向性をもたない特性をのぞけば、Fig. 4 (b), (c), (d) に示されるように 0 度領域で強く、90 度領域で非対称になる。通常の真空大阪管で報告されている特性と類似した現象を示す。Fig. 4 (a) に示すような無指向性は、次のようなときに一般に生ず

る。印加磁界を一定に保ったときは I_A が高いとき、 I_A を一定に保ったときは印加磁界が低いときである。

Fig. 4 (b), (c), (d) に示される 90 度領域での非対称

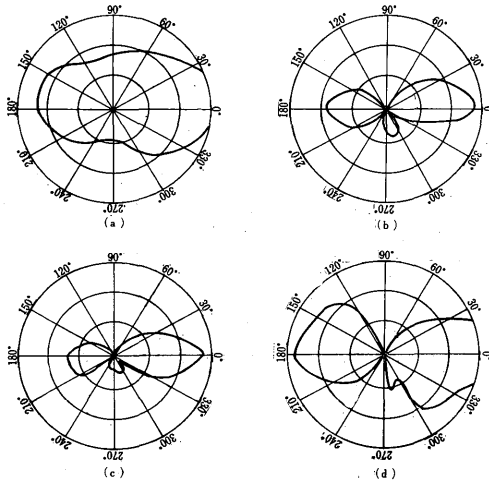


Fig. 4. Demodulation output power under the rotation of magnetic field.

- (a) Gas; Ne, $P=10\text{Torr}$, $f=1000\text{MHz}$, $V_A=25\text{V}$, $H=357\text{Oe}$ (H_{ce}), $I_F=1.3\text{A}$
- (b) Gas; Ne, $P=10\text{Torr}$, $f=1000\text{MHz}$, $V_A=25\text{V}$, $H=715\text{Oe}$ ($2H_{ce}$), $I_F=1.3\text{A}$
- (c) Gas; Ne, $P=10\text{Torr}$, $f=1000\text{MHz}$, $V_A=25\text{V}$, $H=1070\text{Oe}$ ($3H_{ce}$), $I_F=1.3\text{A}$
- (d) Gas; Ne, $P=10\text{Torr}$, $f=2800\text{MHz}$, $V_A=35\text{V}$, $H=740\text{Oe}$, $I_F=1.86\text{A}$

性は通常の大阪管に対してなされたと同じく、次のような原理に基づいて説明することができる²⁾。荷電粒子の旋回中心は直交電磁界（電界 E_T 、磁界 H ）中では $E_T \times H$ の方向にドリフトする（かきの横ばい運動）。このときの平均ドリフト速度 v は荷電粒子の符号および荷電量の大きさに無関係に、

$$v = \frac{E_T \times H}{\mu_0 H^2} \quad (5)$$

によってあらわされる。そこで $\theta=90$ 度または 270 度の方向に磁界をこの装置に印加すると荷電粒子は旋回しながら等電位線 (Fig. 5 (a) 参照) に沿って (5) 式であらわされるような速度で作用空間外へ出て行く。 $\theta=90$ 度付近のときは、Fig. 5 (b) の①のような軌道を取り空洞共振器により妨害されるから有効な相互作用は起こらなくなり、ほとんど検波出力はあらわれなくなる。このときわずかに検波できるのは B_a での選択作用がきいているためである。 $\theta=270$ 度付近では Fig. 5 (b) の②に示すような軌道で運動するから、 $\theta=90$ 度付近に比べれば有効な相互作用が行なわれる。この場合は非分割陽極のところを中心に荷電粒子は動いているので超高周波

電界との相互作用は B_a と A との間かあるいは A と E の間で行なわれると考えられる。なお検波信号の波形は零磁界のとき最も乱れが少ないが、 $H=H_{ce}$ のときは 0 度領域でよりも 90 度領域で感度は悪いが波形の乱れが少ない。

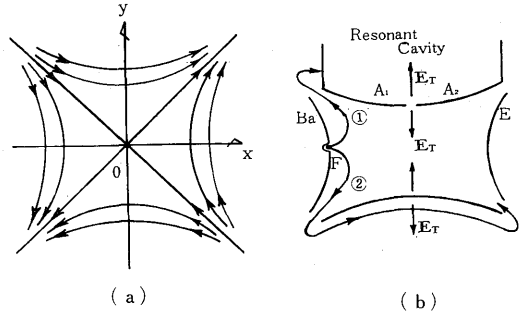


Fig. 5 (a) Equipotential

Fig. 5 (b) Electron-orbit and ion-orbit at

① $\theta=90^\circ$, ② $\theta=270^\circ$

4. 結 言

この放電管で $H=H_{ce}$ に基づく検波指向性は、コレクタ電流 I_c の選択によって二つの異った特性を示す。すなわち I_c が電子電流のとき、検波出力はマグネトロンのように使用する範囲近くで強く、そして I_c がイオン電流のときは磁界の回転に対して検波出力にほとんど変動がない（無指向性）か、あるいは 0 度 (180 度) 領域（大阪管の動作）で強くなる。磁界の回転による指向特性からも熱陰極放電型大阪管（放物型）は通常の真空大阪管の動作の他に二極プラズマ管⁹⁾の動作や磁電管の動作もすることがはっきりした。二極プラズマ管の動作あるいは磁電管の動作を、より効率良くするためにはむしろ陽極間を積極的に RF 間隙とするような装置とか、ストロフォトン¹⁰⁾のような電極構造を持った装置が適していると考えられる。

終りに、この研究にあたって有益な討論と助言をいただきました関西大学工学部大東延久講師に謝意を表します。また筆者らの研究に日頃ご助言を賜ります工業物理学科勝守寛教授に深謝します。

参 考 文 献

- 1) 森田, 大東: 昭34電四学連大, No. 882.
- 2) 森田, 奈良教育大紀要, 9, (1960).
- 3) H. Poritsky and R.P. Jerrard, J. Appl. Phys., 23, 928 (1952).
- 4) 宮脇, 上田, 森田: 昭45電四学連大, No. 134.
- 5) 上田, 宮脇, 森田: 関西大学工学部誌「工学と技術」4.24 (1970).
- 6) L. Gould, Signal Corps Engrg. Labs., Belmar, N.J., Tech. Memo No. M-1836 (1956).
- 7) H. Alfven and D. Romell, Proc. IRE, 42, 1239 (1954).