

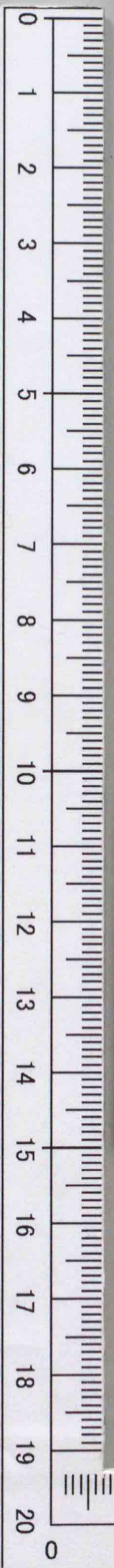
7  
421  
B217

昭和十七年十月

物理學教科書

卷之五

海軍兵學校

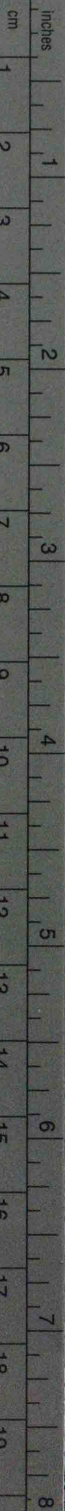


Kodak Gray Scale

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



© Kodak, 2007 TM, Kodak



Kodak Color Control Patches

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

© Kodak, 2007 TM, Kodak

43427

教科書文庫

|                |
|----------------|
| 4              |
| 421            |
| 72-1942        |
| 20003<br>02912 |

7  
421  
BB17

教科書文庫  
4  
421  
72-1942  
2000302912

資料室  
中央図書館

浜本純逸寄贈

本書ニ依リ物理学ヲ修得スベシ

昭和十七年十月

海軍兵學校長 草 鹿 任 一



広島大学図書

2000302912



物 理 學 教 科 書 卷 之 五

目 次

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第五篇 電氣磁氣學               | 1  |
| 第八章 交 流                 | 1  |
| 1. 直流ト交流                | 1  |
| 2. 交流及ビ交壓               | 1  |
| 3. 交流及ビ交壓ノ實効値           | 3  |
| 4. 正弦的變化量ノ和差圖示法・「ベクトル」圖 | 6  |
| 5. 自己誘導ノ効果              | 8  |
| 6. 電氣容量ノ効果              | 12 |
| 7. 自己誘導及ビ電氣容量ノ重複効果      | 15 |
| 8. 共 振                  | 19 |
| [i] 直列共振                | 19 |
| [ii] 並列共振               | 21 |
| 9. 交流量ノ「ベクトル」量記號表示法     | 22 |
| 10. 交流ニ於ケル電力            | 34 |
| 11. 塞流線輪                | 37 |
| 12. 變壓器                 | 38 |
| 13. 表皮効果                | 44 |
| 14. 濾波回路網(電氣濾波器)        | 44 |
| 15. 遲延回路網               | 52 |
| 16. 多相交流                | 55 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 要 項 (第一章)              | 57  |
| 第九章 電氣振動               | 62  |
| 1. 振動性放電(自由振動)         | 62  |
| 2. 強制振動及ビ共振            | 68  |
| 3. 共振ノ尖鋭度              | 71  |
| 4. 測波器(波長計)            | 74  |
| 5. 聯接電路                | 76  |
| 6. 聯接電路ノ自由振動           | 77  |
| 7. 聯接電路ノ強制振動           | 82  |
| 要 項 (第二章)              | 84  |
| 第十章 電磁波                | 87  |
| 1. 電磁場ノ傳播              | 87  |
| 2. 變位電流                | 88  |
| 3. 電磁波說                | 90  |
| 4. 電磁波ノ存在ヲ證明スル「ヘルツ」ノ實驗 | 96  |
| 5. 地絡空中線ヨリ輻射スル電波       | 100 |
| 6. 平面導體ニ沿ヒテ進ム電波        | 103 |
| 7. 大氣ノ構成, $K-H$ 層      | 106 |
| 8. 空間波ノ傳播              | 109 |
| 9. 電磁波ノ傳播ニ妨ゲトナル諸現象     | 111 |
| 要 項 (第三章)              | 114 |
| 附 録                    | 116 |
| 電磁場ノ一般的性質              | 116 |
| 第一章 「マクスウェル」ノ電磁理論      | 116 |

|   |     |
|---|-----|
| 1. 「マクスウェル」ノ電磁理論ノ基礎トナル事項                | 116 |
| [i] 「ガウス」ノ定理                            | 116 |
| [ii] 「オーム」ノ法則                           | 117 |
| [iii] 變位電流                              | 117 |
| [iv] 電流 $i$ ノ周圍ニ單位磁極ガ一周スルトキノ<br>仕事      | 119 |
| [v] 電磁感應ニ關スル「ファラデー」ノ法則                  | 119 |
| [vi] 電磁單位ト靜電單位トノ關係                      | 119 |
| 2. 均質體中ニ於ケル基礎電磁方程式                      | 121 |
| [i] 電荷ト電磁場, 磁荷(磁氣量)ト磁場トノ關係.<br>「ガウス」ノ定理 | 121 |
| [ii] 電流ト電場トノ關係, 「オーム」ノ法則, 變位<br>電流      | 124 |
| [iii] 電流ト靜的磁場トノ關係                       | 124 |
| [iv] 變化スル磁場ト電場トノ關係, 「ファラデー」ノ<br>電磁感應ノ法則 | 127 |
| 3. 電磁的波動[光ノ電磁波說]                        | 129 |
| 4. 電磁場ニ於ケル「エネルギー」ノ移動・「ポインティング」<br>ノ定理   | 136 |
|   | (終) |

## 第 八 章

### 交 流

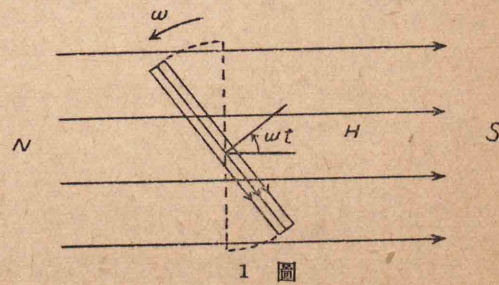
#### 1. 直流ト交流

電流ヲ導線上ノ一點ニ於テ，ソレノ流ルル方向及ビ大キサニ關シ次ノ四種トナシ得。即チ，(1) 方向不變，大キサ不變，(2) 方向不變，大キサ變，(3) 方向變，大キサ不變，(4) 方向變，大キサ變。

(1) ハ定常電流ト稱セララルル直流ナリ。(2) ハ變化スル直流ニシテ，電池ノ回路ヲ斷續スル時等ニ現ハルルモノナリ。方向ニ關シテハ直流ナルモ，變壓器ニ適用シ得ル等交流ノ性質ヲ現ハスモノナリ。(3) ハ實在セズ。(4) ハ交流發電機等ニヨリテ發生スル交流ニシテ，本章ニ於テハ主トシテ此ノ(4)ニツキテ考察セントス。

#### 2. 交流及ビ交壓

今磁場ノ強サ  $H$  ナル均等磁場中ニ於テ，等角速度  $\omega$  ニテ廻轉スル平面「コイル」アリ(1圖)。ソノ廻轉軸ハ「コイル」ノ面内ニアリ，而モ  $H$  ニ垂直ナリトス。「コイル」面ガ  $H$  ノ方向ニ垂直ナルトキヨリ，時間  $t$  ヲ經過シ， $\omega t$  ナル角度廻轉セル瞬時



ノ位置ニ於テ「コイル」ヲ貫通スル磁束(總磁力線數)  $\phi$  ハ

$$\phi = NHS \cos \omega t$$

ナリ。但シ  $S$  ハ「コイル」ノ面積,  $N$  ハソレノ捲數ナリ。

「ファラデー」ノ法則ヨリ感應動電力(誘導電壓)ノ時々刻々ノ値即チ瞬時値  $e$  ハ

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(NHS \cos \omega t) = \omega NHS \sin \omega t.$$

コノ式ノ示ス振幅即チ電壓ノ最大値  $\omega NHS$  ハ時間ニ無關係ナル常數ナルヲ以テ, コレヲ  $E_m$  ニテ表ハシ, 又「コイル」ノ廻轉數ヲ  $n$  トセバ ( $\omega = 2\pi n$  ナル故),

$$e = E_m \sin \omega t = E_m \sin 2\pi nt. \quad (1)$$

即チ  $e$  ハ「コイル」ノ捲數  $N$ , 面積  $S$ , 磁場ノ強サ  $H$ , 及ビ廻轉數ニ比例シ, 正弦的ニ變化スル交番電壓(交壓)ナリ。若シコノ電壓  $e$  ガ抵抗  $R$  ノ兩端ニ加ハルトキソノ電流ノ瞬時値  $i$  ハ, 時々刻々「オーム」ノ法則ガ成立スルト考ヘラルル故ニ

$$i = \frac{e}{R} = \frac{E_m}{R} \sin \omega t \quad (2)$$

即チ, 電流ハ正弦的ニ消長スル交番電流(交流)ナリ。

コノ式ノ振幅即チ電流ノ最大値  $\frac{E_m}{R}$  ハ常數ナレバ, コレヲ  $I_m$  ニテ表ハサバ ( $\omega = 2\pi n$ ),

$$i = I_m \sin \omega t = I_m \sin 2\pi nt. \quad (2')$$

ココニ  $n$  ハ交流ノ振動數又ハ周波數ト稱セラルルモノナリ。

[注意] (1) 自己誘導, 電氣容量等ノアル場合ノコトハ後ニ説明スルモ, ソノ際ハ一般ニ電壓ト電流トノ間ニ位相差ヲ生ズルモ

ノナリ。

(2) 上述ノ如ク交流ハ電路中ノ任意ノ一點ニ着目スルトキハ時刻々々ノ値ヲ變ズルモノナリ。但シ普通吾人ノ用フル交流ノ電路ノ各點ニ於ケル電流ノ値ハ同時刻ニ於テ何等異ナルコトナシト思惟シテ可ナリ。コノ點後ノ無線電信ニ於ケル空中線電流トハ異ナルモノナリ。

(3) 上述ノ交流, 交壓ハ最簡ナル例ニシテ一般ニ交流發電機ニヨリ得ラルル電壓及ビ電流ハ必ズシモ純粹ナル正弦的變化ヲナサザルモ, ナルベクコレニ近キ様設計セラルルモノナレバ, 上記(1), (2)式ニテ示サルル交壓, 交流ニ就テ研究スレバ十分ナリ。尙複雑ナル變化ヲナス交流モ, 振動ノ場合ト同様ニ, 幾ツカノ正弦的變化ヲナス交流ヲ合成セルモノト考フルヲ得ルモノナリ。

### 3. 交流及ビ交壓ノ實効値

交壓, 交流ハ斯ノ如ク時々刻々ニ大サガ變化スルモノナルガ, 如何ナル値ヲ以テソノ強サトナスベキカトイフニ, 交流ノ發生スル「ジュール」熱ハ各瞬間ノ電流ノ強サノ自乗ニ比例シ, 又多クノ交流計器ハ電流ノ平方ニ比例スルカヲ利用セルモノ多キガ故ニ一週期間ノ電流ノ強サノ平方ノ平均値ヲトリ, ソノ平方根ヲ以テ交流ノ強サヲ表ハスモノトス。コレヲ實効値ト稱ス。例ヲ發熱量ニトリ實効値ニツキ詳述セン。

今, 抵抗  $R$  ナル導線ニ交流  $i = I_m \sin \omega t$  ヲ通ジタリトセバ,  $dt$  時間ノ發熱量ハ  $i^2 R dt$  ナリ。然ラバ一週期 ( $T$ ) 間ノ發熱量ハ  $\int_0^T i^2 R dt$  ナリ。コレト同一ノ發熱量ヲ發生スル定常電流ヲ  $I$  トセバ, 一週

期間ニ

$$\int_0^T i^2 R dt = I^2 R T.$$

單位時間ニツキテハ、一週期間ノ平均ヲトリテ、

$$\frac{1}{T} \int_0^T i^2 R dt = I^2 R.$$

即チ

$$I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{1}{2} I_m^2.$$

$$\therefore I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m. \quad (3)$$

コノ  $I$  ヲコノ交流  $i$  ノ  
實効値トイフ。

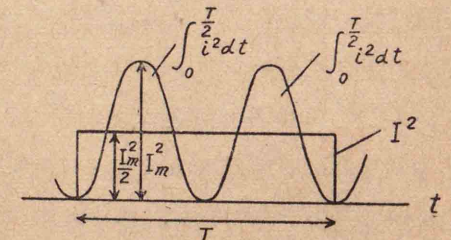
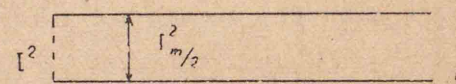
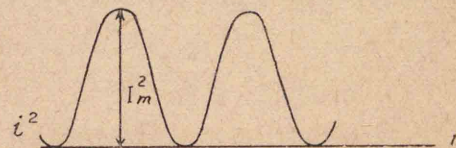
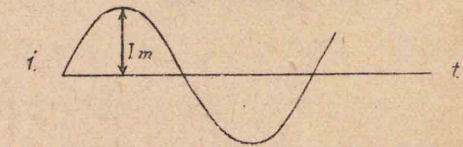
$i$  ハ正負ニ變化スルモ  
 $i^2$  ハ常ニ正ニシテ、 $i^2$  ト  
 $t$  トノ關係ヲ示ス曲線ト  
 $t$  軸トニテ圍マレタル面  
積ト同一面積トナル如  
キ、矩形( $t$  軸ヲ底トスル)  
ノ高サニ相當スルモノガ  
 $I^2$  ナリ (2圖).

電壓ノ場合モ電流ト同  
様ニ

$$e = E_m \sin \omega t$$

ノ自乘ノ平均ハ

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m \quad (4)$$



2 圖

ニシテ、コレヲ交壓ノ實効値トイフ。

交流ノ電氣計器ニ次ノ如キモノアリ。

- (1) 電壓ヲ測定スルモノハ 電壓計(「ボルトメーター」),
- (2) 電流ヲ測定スルモノハ 電流計(「アンメーター」),
- (3) 電氣量ヲ測定スルモノハ 「アンペア」時計(「アンペア・ア  
ワー」計)即チ積算電流計,
- (4) 電力ヲ測定スルモノハ 電力計(「ワットメーター」),
- (5) 電力量ヲ測定スルモノハ 「ワット」時計(「ワット・アワー」  
計)即チ積算電力計.

而シテ此等ノ計器ガ示ス電流及ビ電壓ノ値ハ、何レモ實効値ナ  
リ。

問 題

1.  $i = I_m \sin(\omega t - \phi)$  ノ交流實効値ハ  $I_m/\sqrt{2}$  ナルコトヲ示セ.
2.  $i = I_m \sin \omega t$  ニ於テ時間 0 ヨリ  $T/2$  マデ、及ビ 0 ヨリ  $T$  マデ  
ノ間ノ  $i$  ノ平均値ヲ求メヨ。 答  $\frac{2}{\pi} I_m; 0.$
3. 電燈線ニ交流 100「ボルト」ヲ送電シアリトノ意味如何。ソレ  
ノ最大電壓ハ何程ナルカ。
4. 瞬時値ガ  $i = I_0 + I_m \sin(\omega t - \phi)$  ナル電流ノ實効値ヲ求ム。  
答  $\sqrt{I_0^2 + \frac{I_m^2}{2}}$
5. 正弦波形交流ノ負ノ半波ヲ取去レル電流ノ實効値ヲ求ム。  
答  $\frac{I_m}{2}$



### 4. 正弦的變化量ノ和差圖示法「ベクトル」圖

二ツノ同週期ノ正弦的變化量例へバ單振動又ハ本章ノ交流、交壓等ノ和又ハ差ヲ求ムル場合、コレヲ式ヲ以テスルハ前述セリ。ココニハコレヲ圖示法ニヨリ求メントス。

今二量ヲ

$$y_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1),$$

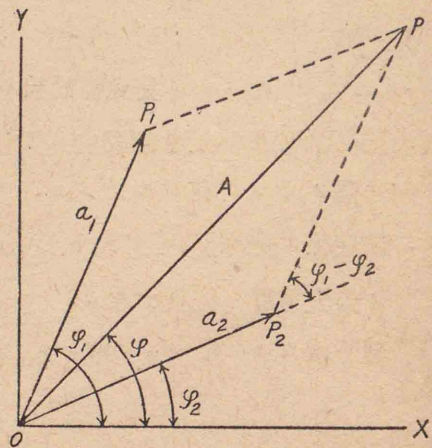
$$y_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$$

ナリトセバ、ソノ和ハ

$$y = y_1 + y_2 = A \sin(\omega t + \varphi).$$

コノ  $A$  及ビ  $\varphi$  ヲ圖上ニテ求メントス。

先ヅ  $XY$  直交軸ヲ考へ、 $X$  軸ト  $\varphi_1$  ナル角ヲナス直線上ニ  $a_1$  ニ等シク  $OP_1$  ヲ取り、 $X$  軸ト  $\varphi_2$  ナル角ヲナス直線上ニ  $a_2$  ニ等シク  $OP_2$  ヲ取り、 $OP_1, OP_2$  ヲ「ベクトル」ト考へ、平行四邊形法ニヨリ合成シテ  $OP$  ヲ求ムレバ、 $OP$  ノ長サハ  $A$  ヲ、 $\angle XOP$  ハ  $\varphi$  ヲ表



3 圖

ハス。コノ圖ヲ「ベクトル」圖トイフ(3圖)。

更ニコレヲ説明スベシ。

3圖ニ於テ  $OP_1$  ナル「ベクトル」ハ  $y_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$  ヲ代表ス。何トナレバ  $OP_1$  ガ左廻リニ  $\omega$  ナル角速度ニテ廻轉スルモノト

シ、ソレノ  $OY$  上へノ正射形ヲ考フレバ、コレ明カニ各時刻ニ於ケル  $y_1$  ヲ表ハス。故ニ「ベクトル」 $OP_1$  ヲ以テ  $y_1$  ヲ代表スルモノト考フルヲ得ベシ。同様ニ  $OP_2$  ナル「ベクトル」ハ  $y_2$  ヲ表ハス。然ルトキハ「ベクトル」 $OP$  ノ表ハス正弦的變化量  $y$  ハ

$$y = A \sin(\omega t + \varphi)$$

ナリ。而シテ三角形  $OPP_2$  ノ邊ノ關係ヨリ

$$A = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

又 4 圖ヨリ

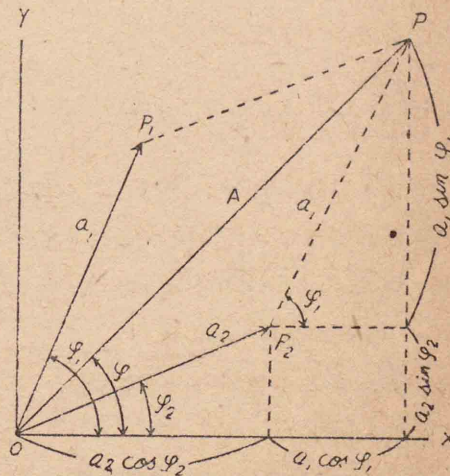
$$\tan \varphi = \frac{a_1 \sin \varphi_1 + a_2 \sin \varphi_2}{a_1 \cos \varphi_1 + a_2 \cos \varphi_2}.$$

コレ前述ノ計算ノ結果ト同ジ。

コノ方法ハ合成サレタル振動又ハ交流等ノ振幅及ビ位相常數ヲ求ムルモノニシテ、ソノタメニ「ベクトル」ヲ利用スルニ過ギズ。振動又ハ交流ソノモノガ力學ニテイフ「ベクトル」ニ非ザルコトニ注意セヨ。

尙 3 圖、4 圖ハ共ニ  $t=0$

ナル時刻ニ於ケル  $y_1, y_2, y$  ノ關係ヲ示スモノニシテ、 $t=t$  ナル時刻ノモノハ、原點  $O$  ヲ軸トシ  $OX$  軸ニ對シテ全體ヲ  $\omega t$  ダケ左廻リニ廻轉セシムレバ可ナリ。故ニ、 $t=t$  ニ於テモ、 $y_1, y_2, y$  ノ相對的關係(振幅及位相差)ニハ何等變化ナシ。カクシテ時間ノ原點



4 圖

ハ任意ニ取り得ルヲ以テ、 $y_1, y_2, y$  ノウチ何レノ一ヲ  $OX$  ニ一致セシムルモ差支ヘナシ。要ハコレラ三者間ノ位相差ガ問題トナルナリ。上記ノ場合  $y_1$  ハ  $y$  ヨリ  $\varphi_1 - \varphi$  ダケ位相ガ進ミアリ、 $y_2$  ハ  $y$  ヨリ  $\varphi - \varphi_2$  ダケ位相ガ遅レアルナリ。

問 題

1. ニツノ正弦の變化量ノ差ヲ求ムルニハ如何ニスベキカ。
2.  $i = I_m \sin 2\pi nt, i' = I_m' \sin\left(2\pi nt - \frac{\pi}{2}\right)$  ナルニツノ交流ガ同一電路ヲ流ルル場合ノ全電流ヲ求メヨ。 答 振幅  $\sqrt{I_m^2 + I_m'^2}$ ,

位相差  $\varphi = -\arctan \frac{I_m'}{I_m}$

5. 自己誘導ノ効果

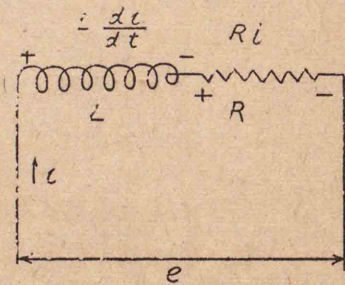
交流ノ電路ニ於テ、抵抗  $R$  ノミ存シ、自己誘導モ電氣容量モ存在セザルトキハ第2節ニ述ベシ如ク、ソレノ兩端ノ電位差  $e$  ハ、電流ヲ  $i = I_m \sin \omega t$  トセバ

$$e = Ri = RI_m \sin \omega t$$

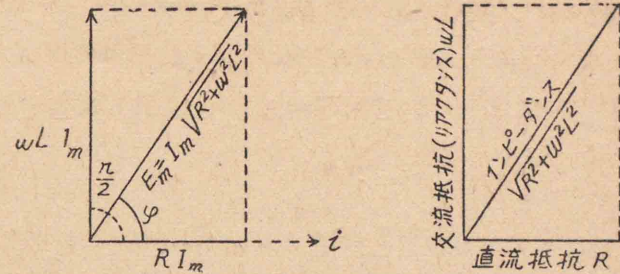
ニシテ、電壓ト電流トハ同位相ナリト考ヘラル。

次ニ自己誘導率  $L$  ト抵抗  $R$  トノミ存スル場合ニツキテ考察セン(5圖)。交流電源ノ電壓  $e$  ノ作用ニヨリテ、電流

$$i = I_m \sin \omega t \tag{5}$$



5 圖



6 圖

ヲ生ズトセバ、自己誘導  $L$  ハ  $e$  ニ反スル電壓(逆起電力)  $L \frac{di}{dt}$  ヲ生起セシム。(例ヘバ  $i$  ガ増加スルトキ即チ  $\frac{di}{dt} > 0$  ノトキ圖ノ如ク  $e$  ニ反スル電壓  $L \frac{di}{dt} > 0$  ヲ生ズベシ。他ノ場合モ同様ナリ) 而シテ時々刻々「オーム」ノ法則成立スト考ヘラルル故ニ、全回路ノ電壓ハ  $e - L \frac{di}{dt}$  ニシテ全抵抗ハ  $R$  ナレバ、

$$e - L \frac{di}{dt} = Ri$$

即チ

$$e = Ri + L \frac{di}{dt} \tag{a}$$

此式ニ(5)ヲ代入セバ、

$$\begin{aligned} e &= RI_m \sin \omega t + \omega LI_m \cos \omega t \\ &= RI_m \sin \omega t + \omega LI_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned}$$

コノ式ハ二個ノ正弦函數ノ和ナレバ、前節ノ「ベクトル」圖ニヨリテ、ソノ和ノ振幅及ビ位相角ヲ求メ得ベシ。ソノ「ベクトル」圖ハ6圖ニ示スガ如シ。

$$\therefore e = I_m \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \sin(\omega t + \varphi) \tag{6'}$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L}{R}$$

コノ式ニ於テ  $e$  ノ振幅, 即チ電壓ノ最大値ヲ  $E_m$  ニテ表ハサバ,

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_m = I_m \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}, \\ \tan \varphi = \frac{\omega L}{R}. \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_m = I_m \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}, \\ \tan \varphi = \frac{\omega L}{R}. \end{array} \right. \quad (8)$$

以上ノ結果ニ見ルニ, 自己誘導アルトキハ電流ニ對シテ電壓ノ位相ハ  $\varphi$  ダケ進ム. 即チ電壓ニ對シテ電流ノ位相ハ  $\varphi$  ダケ遅ルモノナリ. 故ニ電壓ヲ標準トシテ電流ガ位相  $\varphi$  丈ケ遅ルトナシ, コノ  $\varphi$  ヲ遅レノ角ト名ヅク. 又  $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$  ハ一種ノ抵抗ト考ヘラル. コレヲ「インピーダンス」トイフ. 又  $\omega L$  ハ自己誘導ニヨリテ生ズル抵抗ノ如キ作用ヲ示シ, コレヲ誘導抵抗, 誘導「リアクタンス」又ハ磁氣「リアクタンス」トイフ. 共ニソノ「元」ハ抵抗ニ等シ. 故ニソレ等ノ實用單位ハ「オーム」ナリ.

若シ作用電壓ガ

$$e = E_m \sin \omega t \quad (9)$$

ナラバ電流ハ

$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t - \varphi), \quad (10)$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L}{R} \quad (8)$$

ナルコト明カナリ. 振動數  $n$  ヲ用ヒテ書直サバ

$$e = E_m \sin 2\pi n t \quad (9')$$

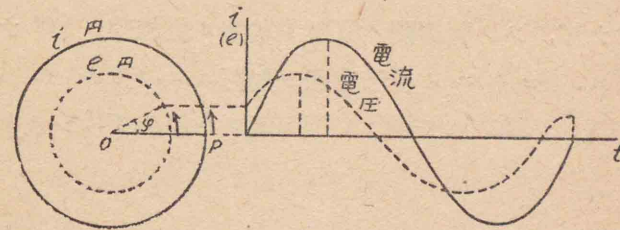
$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + (2\pi n L)^2}} \sin(2\pi n t - \varphi), \quad (10')$$

$$\tan \varphi = \frac{2\pi n L}{R}. \quad (8')$$

從ツテ同一  $L$  ニ對シテハ振動數  $n$  ノ大ナル程「インピーダンス」ハ大トナリ, 從テ電流値ハ小トナル.

7圖ニ於テ電流ハ電壓ヨリ遅レタルコトヲ誤リナク理解セヨ.

〔注意〕 (a) 式ニ於テ  $L \frac{di}{dt}$  ハ  $e$  ニ對スル逆起電力ナレバ,  $Ri$  モ亦  $e$  ニ對スル逆起電力ト解シ得ベシ. 即チ, 電壓  $e$  ガ逆起電力  $L \frac{di}{dt} + Ri$  ト相打消ス如ク電流  $i$  ヲ通スモノト解シ得ベシ.



7 圖

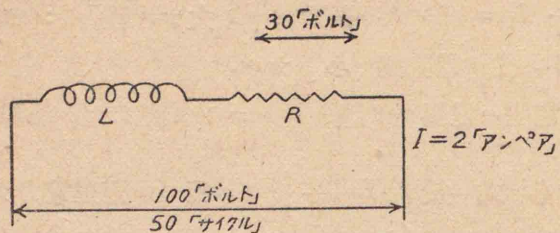
### 問題

- 5圖ノ  $R$  ノ兩端ニ「ボルトメーター」ヲ接續スルトキノ示度ハ何ヲ示スカ.  $L$  ノ兩端ニ接續セバ如何. コレヲ作用電壓トハ如何ナル關係ニアルカ.

答 前者ハ  $RI_m/\sqrt{2}$ , 後者ハ  $\omega LI_m/\sqrt{2}$ . 兩者ハ  $\frac{\pi}{2}$  ノ位相差アルヲ以テ, 全電壓ハソレラノ幾何學的和即チ「ベクトル」和  $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} I_m/\sqrt{2}$  ナリ.

- 8圖ノ場合ノ  $R, L$  ヲ求メヨ. 又「インピーダンス」ヲ求メヨ.

答  $R=15 \Omega$ ,  $L=0.15$ 「ヘンリー」, 「インピーダンス」= $50 \Omega$ .



8 圖

3. 抵抗  $7.5 \Omega$  ナル「コイル」アリ. 之ヲ周波數100ナル交流中ニツナギ, ソノ兩端間ノ電壓ト電流ノ位相差ヲ  $60^\circ$  ナラシメントス. 「コイル」ノ自己感應ヲ如何ニスベキカ

答  $0.1309$  「ヘンリ」

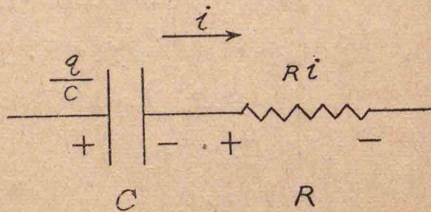
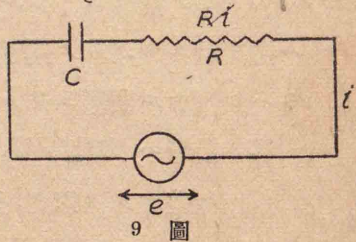
6. 電氣容量ノ効果

交流電路ニ電氣容量  $C$  ト抵抗  $R$  トノミ存スル場合ニツキテ考察ス(9圖). 交流電源ノ電壓  $e$  ノ作用ニヨリテ, 電流

$$i = I_m \sin \omega t \quad (11)$$

ヲ生ズトセバ, 電氣容量  $C$  ハ  $e$  ニ反スル電壓(逆動電力)  $\frac{q}{C}$  ヲ生起セシム. 此事ハ10圖ニヨリテ知り得ベシ. 或瞬時ニ時テ電流  $i$  ガ圖ノ向キ( $e$  モソノ向キ)ニアリ, 蓄電器ノ左側ノ極板ニ  $i$  ニヨル正ノ電荷  $q$  アリトス.

$$\frac{q}{C} = \int i dt$$



10 圖

而シテ電流  $i$  ハ  $q$  ガ増加スル(時間的)割合ナレバ

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\alpha)$$

ナリ. 又コノ電荷  $q$  ハ  $i$  ト反對向キニ電路ヲ通ジテ放電セントスル傾向ヲ有ス. 即チ,  $e$  ニ反スル電壓  $\frac{q}{C}$  ヲ生ズベシ.

從ヒテ, 全電路ノ電壓ハ  $e - \frac{q}{C}$  トナル. 而モ「オーム」ノ法則ハ時々刻々成立スト考ヘラルル故ニ

$$e - \frac{q}{C} = Ri,$$

即チ

$$e = Ri + \frac{q}{C}. \quad (\beta)$$

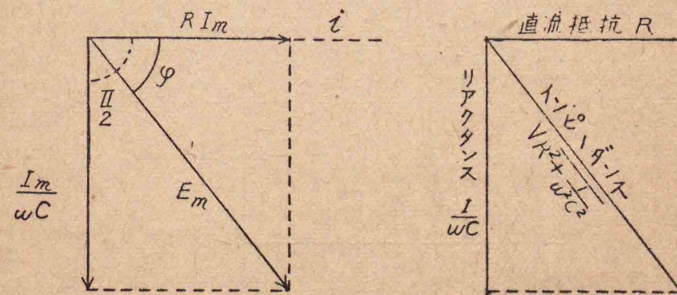
$q$  ハ  $i$  ニ應ジテ變化スル電荷ノミヲ考ヘタル故ニ, (α) ヨリ

$$\begin{aligned} q &= \int i dt = \int I_m \sin \omega t dt \\ &= -\frac{I_m}{\omega} \cos \omega t \\ &= \frac{I_m}{\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned} \quad (\gamma)$$

式(β)ニ(11)及(γ)ヲ代入セバ,

$$e = RI_m \sin \omega t + \frac{I_m}{\omega C} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

故ニ, 「ベクトル」圖(11圖)ニヨリテ  $e$  ノ振幅及ビ位相角ヲ求メ



11 圖

得ベシ.

$$\therefore e = I_m \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \sin(\omega t - \varphi), \quad (12')$$

$$\tan \varphi = \frac{1}{R\omega C}.$$

コノ式ニ於テ  $e$  ノ振幅即チ電壓ノ最大値ヲ  $E_m$  ニテ表ハサバ,

$$e = E_m \sin(\omega t - \varphi), \quad (12)$$

$$E_m = I_m \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}. \quad (13)$$

$$\tan \varphi = \frac{1}{R\omega C}. \quad (14)$$

以上ノ結果ヨリ見ルニ、電氣容量アルトキハ電流ニ對シテ電壓ハ位相ハ  $\varphi$  ダケ遅ル。即チ電壓ニ對シテ電流ノ位相ハ  $\varphi$  ダケ進ムナリ。故ニ電壓ヲ標準トシテ電流ガ位相  $\varphi$  ダケ進ムトナシ。コノ  $\varphi$  ヲ進ミノ角ト名ヅク。又  $\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$  ハ一種ノ抵抗ト考ヘラル。コレヲ「インピーダンス」トイフ。又  $\frac{1}{\omega C}$  ハ電氣容量ニヨリテ生ズル抵抗ニシテ、コレヲ容量抵抗、容量「リアクタンス」又ハ「キャパシタンス」トイフ。コレノ元モ亦抵抗ニ等シ。故ニソレノ實用單位ハ「オーム」ナリ。

若シ作用電壓ガ

$$e = E_m \sin \omega t$$

ナルトキハ、電流ハ

$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t + \varphi), \quad (15)$$

$$\tan \varphi = \frac{1}{R\omega C}. \quad (14)$$

同一  $C$  ニ對シテハ  $n$  大ナル程「インピーダンス」小トナリ、從ツテ電流値ハ大トナル。

電氣容量ハ大ナル程容量抵抗ハ小トナリ。遂ニ 0 トナルトキハ兩基板ガ導體ヲ以テ連結セラレシコトナリ。故ニ蓄電器ナキトキハ  $C = \infty$  ト置クベク、 $C = 0$  ハ導線ヲ切斷シタル場合ニ相當ス。

問 題

1.  $L$  ニヨリテハ電流ハ電壓ヨリモ遅レ、 $C$  ニヨリテハ反對ニ進ム。ヨクソノ意味ヲ考ヘヨ。
2. 抵抗 1「オーム」、電氣容量  $100 \mu F$  (「マイクロ・ファラッド」) ガ直列ニ連結セラレタル兩端ニ 50「サイクル」ノ交壓ヲ作用シテ 10「アンペア」ヲ得タリ。「インピーダンス」及ビ作用電壓如何。

答 35.2「オーム」.

352「ボルト」.

7. 自己誘導及ビ電氣容量ノ重複効果

抵抗  $R$ 、自己誘導  $L$ 、電氣容量  $C$  ヲ直列ニ連結シタル場合ニツキテ考フ。(12圖)

前ニ説明シタル如ク、コノ場合ノ

$$L \frac{di}{dt} + \int \frac{idt}{C} + Ri$$

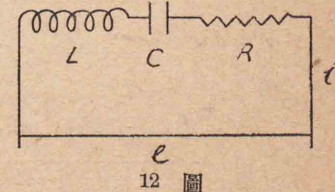
各逆起電力ハ電流ヲ

$$i = I_m \sin \omega t$$

トセバ、

$$R \text{ニヨリテ} \quad Ri = I_m \sin \omega t,$$

$$L \text{ニヨリテ} \quad L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$



12 圖

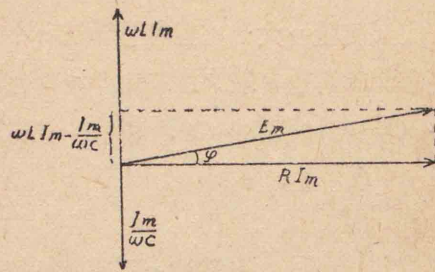
Cニヨリテ  $\frac{\int idt}{C} = \frac{I_m}{\omega C} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

ナレバ、コノ三者ノ和ガ作

用電壓ニ等シ

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{\int idt}{C} = e$$

$$= L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{q}{C} = e \quad (a)$$



13 圖

即チ13圖ノ如シ。但シ  $\omega LI_m$

$> \frac{I_m}{\omega C}$  トス ( $\omega LI_m \leq \frac{I_m}{\omega C}$  ナル場合モアリ得ルコト勿論ナリ)

故ニ電壓 e ハ

$$e = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \sin(\omega t + \varphi), \quad (16)$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (17)$$

ナリ。

ココニ「リアクタンス」ハ  $\omega L - \frac{1}{\omega C}$  ニシテ、「インピーダンス」

ハ  $\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$  ナリ。又  $\varphi$  ハ位相ノ遅レノ角ヲ與フ。

又電壓ガ

$$e = E_m \sin \omega t \quad (18)$$

ナルトキ電流 i ハ

$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t - \varphi), \quad (19)$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (17)$$

上記ノ場合ガ §5, §6 ヲ含ム一般ナル場合ニシテ,  $C = \infty$  ナラバ §5 ヲ,  $L = 0$  ナラバ §6 ヲ與フ。

【参 考 :—

交 壓  $e = E_m \sin \omega t$  ヲ作用セルトキ, 電 流

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

ヲ生ズルモノトセン。

$$e = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{q}{C} = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int idt, \quad (a)$$

或ハ

$$E_m \sin \omega t = LI_m \omega \cos(\omega t - \varphi) + RI_m \sin(\omega t - \varphi) - \frac{I_m}{\omega C} \cos(\omega t - \varphi)$$

此式ハ t ノ如何ニ關セズ成立スベキガ故ニ

$$t=0 : 0 = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \cos \varphi - R \sin \varphi$$

$$\text{即チ} \quad \tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (\beta)$$

$$\omega t - \varphi = 0 : E_m \sin \varphi = I_m \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

$$\text{然ルニ } (\beta) \text{ ヲヨリ} \quad \sin \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$\therefore I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

故ニ求ムベキ交流ハ

$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t - \varphi) \quad (19)$$

但シ  $\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (17)$

ナリ.

】

問 題

1.  $C$  及  $L$  が共ニアル場合ハ位相差  $\varphi$  ハ進ムコトアリ遅ルコトアリ, 又位相差ヲ生ゼザルコトモアリ. 13圖及ビ (17) 式ヨリ理解セヨ.
  2. 或ル交流電路ニ於テ電流ハ電壓ヨリ  $\varphi = 20^\circ$  ノ遅レヲ生ジ, 最大電流ハ 20「アンペア」ナリシニ電壓ノ振動數ノ變化ニヨリ  $\varphi = 45^\circ$  トナレリ. 最大電流何程ナルカ. 答 15.0「アンペア」
- 解 始ノ振動數ノ  $2\pi$  倍ヲ  $\omega$ , 變化後ノソレヲ  $\omega'$  トセバ

$$\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \tan 20^\circ, \quad \frac{\omega' L - \frac{1}{\omega' C}}{R} = \tan 45^\circ,$$

故ニ  $R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 = (\tan^2 20^\circ + 1)R^2,$

$$R^2 + \left(\omega' L - \frac{1}{\omega' C}\right)^2 = (\tan^2 45^\circ + 1)R^2.$$

最大電流ハ「インピーダンス」ニ逆比例スル故

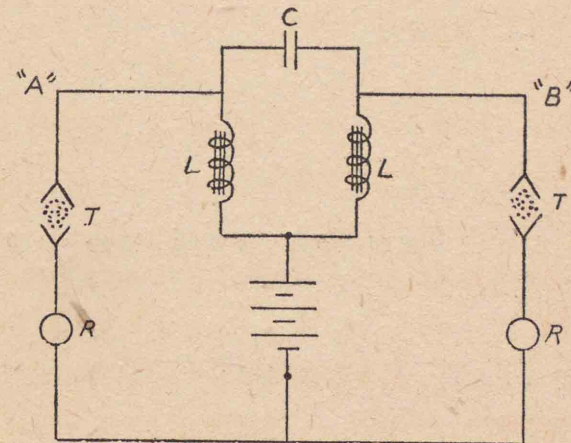
$$20 \times \frac{\sqrt{\tan^2 20^\circ + 1}}{\sqrt{\tan^2 45^\circ + 1}} = 20 \times \frac{\cos 45^\circ}{\cos 20^\circ} = 15.0 \text{「アンペア」.}$$

3. 電氣容量  $100\mu F$ , 自己誘導  $10 \text{ mH}$  (ミリ・ヘンリー) ヨリナル一電路アリ. 今振動數毎秒 60 ノ交壓ヲ加ヘ 10「アンペア」ノ電流ヲ得タリトイフ. 作用電壓ヲ求ム. 又作用電壓 110「ボ

ルト」トセバ電流何程ナルカ. 答 254「ボルト」,  
4.3「アンペア」.

4. 14圖ハ一種ノ電話ノ一例ナリ. 但シ  $T, R$  ハ夫々送話器, 受聽器ヲ示ス.

“A” ヨリ送話中ノトキ各部ノ機能ヲ説明セヨ.



14 圖

5. 抵抗  $20 \Omega$ , 自己誘導  $0.06$ 「ヘンリー」電氣容量  $105\mu F$  ヨリナル電路ニ同波數毎秒 60 ナル  $110V$  ノ正弦的交壓作用セバ, 之ヲ流ル、電流ノ實効値如何. 抵抗, 自己誘導, 容量ニ作用スル電壓ノ實効値ヲ求ム. 答 3.9 amp. 78.0V (抵抗) 81.4V (自己誘導) 9.3V (容量)

8. 共 振

- (i) 直列共振 12圖ニ於テ電氣容量  $C$ , 自己誘導  $L$ , 振動數  $n$  ナルトキ, 若シ

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0, \quad \omega = 2\pi n, \quad (20)$$

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (20')$$

ナル關係アラバ、「インピーダンス」最小ニシテ、電流最大トナル。コレヲ直列共振トイフ。ソノトキノ電流ハ

$$i = \frac{E_m}{R} \sin \omega t$$

ナリ。何トナレバ、

電源ガ

$$e = E_m \sin \omega t$$

ナル電壓ヲ  $L, C, R$  ヲ直列ニ連結セル電路ニ供給スル場合ノ電流ハ

$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t - \varphi),$$

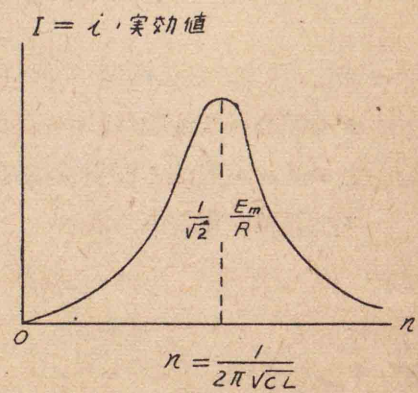
$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad I = i \cdot \text{実効値}$$

ニシテ、コノ振幅ノ最大ナル場合ハ

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (20)$$

ヲ満足スルトキナレバナリ。コレガ共振ノ條件ナリ。換言スレバ  $L, C$  ノ與ヘラレタル

場合、電源ヨリノ作用電壓ノ振動數ヲ順次變化スルニ、15圖ノ如ク(20)式ヲ満足スル  $\omega$  ニ到リテ電流最大ニ成長スルナリ。コノ



15 圖

共振ノ場合ハ位相差角  $\varphi$  ハ 0 ナリ。何トナレバ  $\tan \varphi$  ノ分子ハ零トナルガ故ナリ。

(ii) 並列共振

16圖ニ於テ  $L$  及ビ  $C$  ノミガ並列ニ連結セラレシ場合、 $e = E_m \sin \omega t$  ガ  $L, C$  ノ兩端ニ加ハルモノトセバ、 $L$  ヲ通ル電流ハ

$$i_1 = \frac{E_m}{\omega L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

$C$  ヲ通ル電流ハ

$$i_2 = \frac{E_m}{1} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{E_m}{1} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

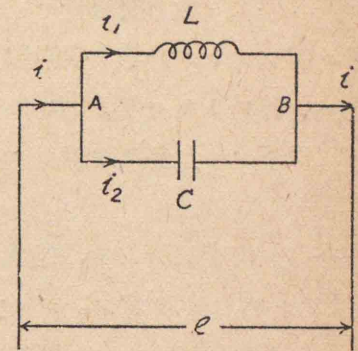
即チ  $i_1$  ト  $i_2$  トノ位相ハ反對ナリ。而シテ主電流  $i$  ハ兩者ヲ加ヘタルモノニシテ

$$i = i_1 + i_2 = E_m \left( \frac{1}{\omega L} - \omega C \right) \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

尙特別ナル場合トシテ  $\frac{1}{\omega L} = \omega C$  即チ前節(20)式ト相似タル關係満足セラレルトキハ、

$$i = 0 \quad \therefore i_1 = -i_2$$

即チ  $AB$  間以外ハ電流ハ 0 トナリ、(コノ場合「インピーダンス」ハ無限大トナルコトニ注意セヨ)  $ALBCA$  回路ニハ電流環流ス。コレヲ並列共振トイフ。實際ニハ多少ノ抵抗アルヲ以テ完全ニ上記ノ關係ヲ満足セザルモ、並列共振ノトキハ電流最小トナル傾向アルコトニ注意セヨ。コレノ實例ハ無線電信ニ於テ屢々遭遇スベシ。



16 圖

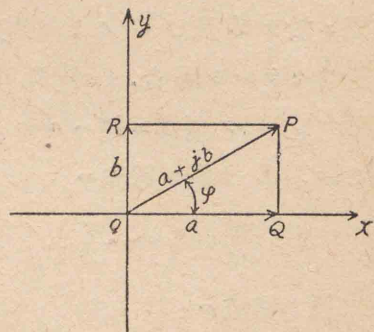


9. 交流量ノ「ベクトル」量記號表示法

既ニ學ビシ如ク交流量ハ「ベクトル」トシテ表ハシ得ルモノナリ。而シテコノ計算ヲ複素數ヲ用ヒテ行フトキハ便利少カラズ。以下ソノ大要ヲ説明セン。

(17圖)

今  $xy$  直交軸ヲトリ、任意ノ「ベクトル」 $\vec{OP}$ ヲ考フ。ソノ大キサハ長サ  $OP$ ニシテ、方向ハ  $x$  軸トナス角  $\varphi$ ヲ以テ示ス。



17 圖

而シテ  $\vec{OP}$ ヲシテ或ル交流量ヲ代表セシムルコトトス。即チ  $\vec{OP}$ ノ長サガ交流量ノ振幅(即チ最大値)ヲ與ヘ、ソノ方向ヲ示ス角  $\varphi$ ガ基準位相トノ位相差(即チ初メノ位相角)ヲ示スト考フ。カク考フレバ交流量ノ和又ハ差ハ、ソレヲ示ス「ベクトル」ノ和又ハ差トシテ表ハシ得ルコトハ既ニ學ビシ所ナリ。(§4).

サテ  $\vec{OP}$ ノ  $x$  分値ヲ  $\vec{a}$ ト、 $y$  分値ヲ  $\vec{b}$ トセバ、 $\vec{a}$ ト  $\vec{b}$ トノ「ベクトル」和ナル  $\vec{OP}$ ノ大キサハ  $\sqrt{a^2+b^2}$ ニシテ、位相ハ基準( $x$ 軸)ニ對シ  $\varphi = \tan^{-1} \frac{b}{a}$  ヲ進ムコトヲ知ル。(角ハ時計ノ針ノ廻轉ト逆方向ニ測リテ正ノ角トス)。即チ「ベクトル」 $OP$ ハ、 $x, y$  軸上ノ分値  $a$  及ビ  $b$ ニヨリテコレヲ示シ得ベシ。今「ベクトル」 $OP$ ヲ  $A$ ト記スコトトス。文字ノ下ニ點ヲ附セシハ「ベクトル」ナルコトヲ示スモノナリトス。

代數學ニ於テ知ル如ク、

$$a + jb \quad (j = \sqrt{-1})$$

ナル複素數ノ大キサハ  $\sqrt{a^2+b^2}$ ト定義セラレ、而モソノ複素數ハソレノ實數部ヲ  $x$  分値、虛數部ヲ  $y$  分値トスル「ベクトル」ヲ以テ示シ得ルモノニシテ、又逆ニ「ベクトル」ハ複素數ヲ以テ表ハシ得ルモノナリ。

例ヘバ、今、 $A$ ニテ  $a + jb$ ナル「ベクトル」ノ大イサ ( $OP$ ノ長サ  $= \sqrt{a^2+b^2}$ )ヲ示サバ

$$a = A \cos \varphi,$$

$$b = A \sin \varphi.$$

$$\tan \varphi = \frac{b}{a}$$

故ニ

$$A = a + jb$$

$$= A \cos \varphi + j A \sin \varphi$$

$$= A e^{j\varphi}$$

$$= \sqrt{a^2+b^2} e^{j\varphi}.$$

(21)

コレハ  $a$ ノ位相ガ  $0$ ナリトシテ表ハサバ  $A$ ノ位相ハ  $\varphi$ ナルコトヲ示スモノナリ。

若シ  $a$ ノ位相ガ  $\omega t$ ナラバ、 $A$ ノ位相ハ  $\omega t + \varphi$ ナリ。故ニ

$$A = A e^{j(\omega t + \varphi)}.$$

即チ、「ベクトル」ヲ右邊ノ如キ複素數ニテ表セルナリ。

上述ヨリ知ル如ク、交流量ハ「ベクトル」ニヨリテ示サレ、「ベクトル」ハ複素數ニヨリテ表ハシ得ベシ。故ニ交流量ヲ複素數ニヨリテ表ハシ得ルコトヲ知ルナリ。

次ニ複素數表示法ニヨル、「ベクトル」ノ加減乗除ニツキテ考察シ、更ニソノ位相ニツキテ考フベシ。

i. 「ベクトル」ノ加減乗除

二ツノ「ベクトル」 $Z_1 = a_1 + jb_1 = Z_1 e^{j\varphi_1}$ ,  $Z_2 = a_2 + jb_2 = Z_2 e^{j\varphi_2}$  ノ加減乗除ハ次ノ如シ。

加法及ビ減法

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 \pm Z_2 \\ &= (a_1 + jb_1) \pm (a_2 + jb_2) \\ &= (a_1 \pm a_2) + j(b_1 \pm b_2) \\ &= a + jb \quad (\text{但シ } a_1 \pm a_2 = a, b_1 \pm b_2 = b \text{ トス}) \\ &= \sqrt{a^2 + b^2} e^{j\varphi} \quad (\sqrt{a^2 + b^2} = Z) \\ &= Z e^{j\varphi} \end{aligned} \quad (22)$$

或ハ

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 \pm Z_2 \\ &= Z_1 e^{j\varphi_1} \pm Z_2 e^{j\varphi_2} \\ &= (Z_1 \cos \varphi_1 \pm Z_2 \cos \varphi_2) + j(Z_1 \sin \varphi_1 \pm Z_2 \sin \varphi_2) \\ &= (a_1 \pm a_2) + j(b_1 \pm b_2) \\ &= a + jb \\ &= Z e^{j\varphi}. \end{aligned} \quad (22')$$

乗 法

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 Z_2 \\ &= (a_1 + jb_1)(a_2 + jb_2) \\ &= (a_1 a_2 - b_1 b_2) + j(b_1 a_2 + b_2 a_1) \\ &= a + jb \quad (\text{但シ } a_1 a_2 - b_1 b_2 = a, b_1 a_2 + b_2 a_1 = b \text{ トス}) \\ &= \sqrt{a^2 + b^2} e^{j\varphi} \\ &= Z e^{j\varphi} \end{aligned} \quad (23)$$

或ハ

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 Z_2 \\ &= Z_1 e^{j\varphi_1} \cdot Z_2 e^{j\varphi_2} \\ &= \underline{Z_1 Z_2 e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}} \end{aligned} \quad (23)'$$

又

$$\begin{aligned} Z_1 Z_2 &= \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \sqrt{a_2^2 + b_2^2} = \sqrt{a_1^2 a_2^2 + b_1^2 b_2^2 + b_1^2 a_2^2 + a_1^2 b_2^2} \\ &= \sqrt{(a_1 a_2 - b_1 b_2)^2 + (b_1 a_2 + b_2 a_1)^2} = Z \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又 } \tan(\varphi_1 + \varphi_2) &= \frac{\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2}{1 - \tan \varphi_1 \cdot \tan \varphi_2} \\ &= \frac{\frac{b_1}{a_1} + \frac{b_2}{a_2}}{1 - \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{b_2}{a_2}} \\ &= \frac{a_2 b_1 + b_1 a_2}{a_1 a_2 - b_1 b_2} \\ &= \tan \varphi \\ \therefore \varphi_1 + \varphi_2 &= \varphi \end{aligned}$$

故ニ (23)' ハ (23) ト同一ノモノナリ。

即チ  $Z_1 = Z_2 = Z e^{j\varphi_2}$  ヲ乗ズレバ、大サハ  $Z_2$  倍トナ、位相ハ  $\varphi_2$  ダケ進ム。

除 法

$$\begin{aligned} Z &= \frac{Z_1}{Z_2} \\ &= \frac{a_1 + jb_1}{a_2 + jb_2} = \frac{(a_1 + jb_1)(a_2 - jb_2)}{a_2^2 + b_2^2} \\ &= \frac{a_1 a_2 + b_1 b_2}{a_2^2 + b_2^2} + j \frac{b_1 a_2 - b_2 a_1}{a_2^2 + b_2^2} \\ &= a + jb \quad \left( \text{但シ } \frac{a_1 a_2 + b_1 b_2}{a_2^2 + b_2^2} = a, \frac{b_1 a_2 - b_2 a_1}{a_2^2 + b_2^2} = b \text{ トス} \right) \end{aligned}$$

$$= \sqrt{a^2 + b^2} e^{j\varphi}$$

$$= Z e^{j\varphi} \quad (24)$$

或ハ

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_1 e^{j\varphi_1}}{Z_2 e^{j\varphi_2}}$$

$$= \frac{Z_1}{Z_2} e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (24')$$

ココニ

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{\sqrt{a_2^2 + b_2^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(a_1^2 + b_1^2)(a_2^2 + b_2^2)}{(a_2^2 + b_2^2)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(a_1 a_2 + b_1 b_2)^2 + (b_1 a_2 - b_2 a_1)^2}{(a_2^2 + b_2^2)}}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{a_1 a_2 + b_1 b_2}{a_2^2 + b_2^2}\right)^2 + \left(\frac{a_1 b_2 - b_2 a_1}{a_2^2 + b_2^2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{a^2 + b^2} = Z$$

又

$$\tan(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2}{1 + \tan \varphi_1 \tan \varphi_2}$$

$$= \frac{\frac{b_1}{a_1} - \frac{b_2}{a_2}}{1 + \frac{b_1}{a_1} \frac{b_2}{a_2}}$$

$$= \frac{b_1 a_2 - b_2 a_1}{a_1 a_2 + b_1 b_2}$$

$$= \frac{b}{a}$$

$$= \tan \varphi$$

$$\therefore \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi$$

故ニ (24), (24') ハ同一ノモノナリ.

即チ  $Z_1$  ヲ  $Z_2 = Z_2 e^{j\varphi_2}$  ニテ除セバ; 大サハ  $\frac{1}{Z_2}$  倍トナリ, 位相ハ  $\varphi_2$  ダケ遅ル.

ii. 位相差ニ就テ

既ニ示セシ如ク, 基準「ベクトル」ニ對シ位相ガ  $\varphi$  ダケ進ミシ「ベクトル」ニハ  $e^{j\varphi}$  ナル項ガ附加乗積サレタルヲ知レリ. 特ニ位相ガ  $\frac{\pi}{2}$  進ムトキハ

$$e^{j\frac{\pi}{2}} = \cos \frac{\pi}{2} + j \sin \frac{\pi}{2} = j$$

ナレバ,  $j$  ノ乗ゼラレシ項ニテ表ハサル「ベクトル」ハ, 然ラザルモノヨリ位相ガ  $\frac{\pi}{2}$  ダケ進ムヲ知ル. 同様ニ  $\frac{\pi}{2}$  ダケ遅レタル「ベクトル」ニハ  $-j = \frac{1}{j}$  ガ乗ゼラレ,  $\pi$  ダケ進ミ又ハ遅レタルモノ, 即チ位相ガ反對ナルモノニハ  $-1$  ガ乗ゼラレアルヲ知ル.

以上ノ關係ニヨリテ, 以下交流ニ關スル諸量ノ値ヲ求ムベシ.

1. 電壓ト電流トノ關係, 「インピーダンス」.

今交流ヲ表ハスニ  $i = I_m \sin \omega t$  ヲ以テスル代リニ

$$I = I_m e^{j\omega t}$$

ヲ以テス. 即チ上式ノ虚數部ヲ以テ實際ノ電流ハ與ヘラルルナリ. 電流ノミナラズ, 電壓, 磁場ノ強サ等, 正弦的ニ變化スル量ハカクノ如キ記法ニテ示サルル理ナリ.

然ラバ抵抗  $R$  ニヨル逆起電力  $e_1$  ハ  $Ri$  ヲリ

$$e_1 = RI = RI_m e^{j\omega t}.$$

自己誘導率  $L$  ニヨルモノ  $e_2$  ハ  $L \frac{di}{dt}$  ヲリ

$$e_2 = L \frac{dI}{dt} = j\omega L I_m e^{j\omega t}.$$

位相ハ  $\frac{\pi}{2}$  進ム.

電氣容量  $C$  ニヨルモノ  $e_3$  ハ  $\frac{1}{C} \int i dt$  ヲリ

$$e_3 = \frac{1}{C} \int I dt = \frac{1}{j\omega C} I_m e^{j\omega t}.$$

位相ハ  $\frac{\pi}{2}$  遅ル.

故ニ全起電力  $e_0$  ハ

$$e_0 = e_1 + e_2 + e_3.$$

$$\begin{aligned} \text{即チ } \dot{E} &= R\dot{I} + L \frac{d\dot{I}}{dt} + \frac{1}{C} \int \dot{I} dt \quad \left( \begin{array}{l} E \text{ハ } e_0 \text{ノ「ベクトル」} \\ \text{記號トス} \end{array} \right) \\ &= \left( R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \right) \dot{I}. \end{aligned}$$

コレヨリ

$$\frac{\dot{E}}{\dot{I}} = R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right).$$

之「インピーダンス」ト考ヘ得ベシ. コレヲ  $Z$  ニテ示ス. 即チ「インピーダンス」モ亦「ベクトル」ノ如ク表ハサルルコトトナル.

ソノ値 (即チ複素數  $Z$  ノ絶對値) ハ  $Z = \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$  ニシ

テ,  $Z = Z e^{j\varphi}$  ナレバ,  $E$  ト  $I$  トノ間ニ  $\tan^{-1} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \varphi$  ナル位相差アルコトヲ示スト考フルヲ得.

$$\therefore \dot{E} = Z\dot{I} = Z e^{j\varphi} I_m e^{j\omega t}. \quad (\text{但シ } I \text{ ノ位相ヲ } \omega t \text{ トス})$$

$$\text{或ハ } \dot{E} = \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} I_m e^{j(\omega t + \varphi)}.$$

即チ電壓, 電流ノ外ニ「インピーダンス」ヲモ「ベクトル」トシテ表

示セバ, 交流量ヲ簡單ナル式ニテ表ハシ得ルナリ.

交流回路ニ於テモ直流回路ニ於ケル如ク, 「キルヒホッフ」ノ法則成立ス. (證明省略)

i) 回路ノ任意ノ分岐點ニ流入スル電流  $I$  ニ就キ

$$\sum I = 0 \quad (25)$$

ii) 任意ノ一閉路ニ就キ

$$\sum E = \sum IZ \quad (25)$$

2. 「インピーダンス」ノ連結

(i) 直列連結.

「インピーダンス」 $Z_1, Z_2, Z_3, \dots$  ヲ直列ニ連結スルトキノ全「インピーダンス」 $Z$  ハソレラノ和ナリ. 即チ

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$

此事ハ直流ニ於ケル抵抗ノ直列連結ノ場合ト全ク同様ニシテ證明セラル.

例ヘバ  $Z_R = R, Z_L = j\omega L, Z_C = \frac{1}{j\omega C}$  ノ三「インピーダンス」ヲ直列ニ連結セルトキノ全「インピーダンス」ハ

$$\begin{aligned} Z &= Z_R + Z_L + Z_C \\ &= R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \\ &= R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \end{aligned}$$

トナルコレ上ニ示セシ如シ

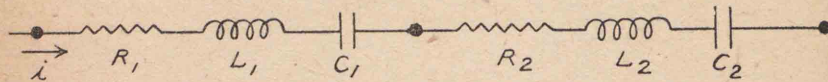
又 18 圖 (a) ノ如ク  $R_1, L_1, C_1$  及ビ  $R_2, L_2, C_2$  ナル二ツノ直列電路ヲ直列ニ連結シタルトキノ全「インピーダンス」ハ

$$Z = Z_{R1} + Z_{L1} + Z_{C1} + Z_{R2} + Z_{L2} + Z_{C2}$$

$$= R_1 + R_2 + j \left\{ \omega(L_1 + L_2) - \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \right\}$$

$$R = R_1 + R_2, \quad L = L_1 + L_2, \quad C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} \quad \text{トオケバ}$$

$$Z = R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad \text{ナリ.}$$



18 圖 (a)

(ii) 並列連結.

「インピーダンス」 $Z_1, Z_2, Z_3, \dots$ ヲ並列ニ連結スルトキノ全「インピーダンス」 $Z$ ハ次式ニヨリテ求メラル(此ノ關係モ直流抵抗ノ並列連結ノ場合ト全ク同様ニ證明セラル). 即チ,

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots$$

例ヘバ  $Z_L = j\omega L, Z_C = \frac{1}{j\omega C}$ ヲ並列ニ連結スルトキハ

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_L} + \frac{1}{Z_C} = \frac{Z_L + Z_C}{Z_L Z_C}$$

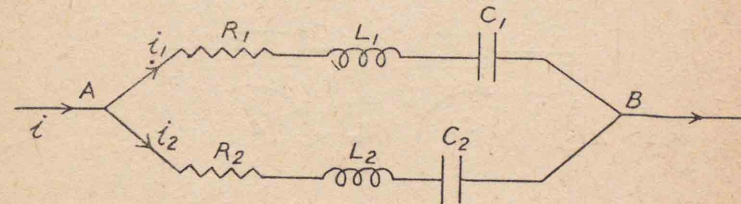
$$\therefore Z = \frac{Z_L Z_C}{Z_L + Z_C} = \frac{j\omega L \cdot \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$= \frac{j \frac{L}{C}}{-\omega L + \frac{1}{\omega C}} = j \frac{1}{\omega L - \omega C}$$

ソレノ大イサハ  $\left| \frac{1}{\omega L - C\omega} \right|$ ニシテ, 電壓ハ電流ヨリ位相ガ  $\frac{\pi}{2}$ ダケ進ム ( $j$ ノ係數ノ符號ガ正ナルトキ) カ又ハ遅ル ( $j$ ノ係數ノ符號ガ負ナルトキ) ルカナリ. (第8節参照)

例 題

1. 18圖(b)ニ於ケル全「インピーダンス」ヲ求ム.



18 圖 (b)

$i_1, i_2$ ニ對スル「インピーダンス」ヲ夫々  $Z_1, Z_2$ トセバ

$$Z_1 = R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} = R_1 + j \left( \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right),$$

$$Z_2 = R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2} = R_2 + j \left( \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right).$$

$i_1$ ト $e$ 及ビ $i_2$ ト $e$ ノ位相差ヲ夫々  $\varphi_1, \varphi_2$ トシ

$$X_1 = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1},$$

$$X_2 = \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}$$

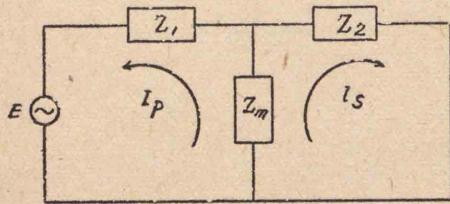
トセバ

$$Z = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$= \frac{\sqrt{R_1^2 + X_1^2} \sqrt{R_2^2 + X_2^2} e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} e^{j\varphi_3}} \quad [23], (22) \text{ヨリ}$$

$$\begin{aligned} & \left( \cos \phi = \tan \phi_3 = \frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2} \right) \\ & = \frac{\sqrt{R_1^2 + X_1^2} \sqrt{R_2^2 + X_2^2}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} e^{j(\phi_1 + \phi_2 - \phi_3)} \\ \therefore Z & = \frac{\sqrt{R_1^2 + X_1^2} \sqrt{R_2^2 + X_2^2}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \end{aligned}$$

19圖ノ如キ回路ニ E ナル電壓ヲカクルトキ,  $I_p, I_s$  ノ値ヲ求ム.



19 圖

$I_p$  ノ回路ニツキテ(電流ノ方向ヲ圖ノ如クトル),

$$E = I_p Z_1 + I_p Z_m + I_s Z_m \tag{a}$$

$I_s$  ノ回路ニツキテ,

$$0 = I_s Z_2 + I_s Z_m + I_p Z_m \tag{b}$$

(a), (b) ヨリ  $I_s$  ヲ消去シテ,

$$E = I_p(Z_1 + Z_m) - I_p \frac{Z_m^2}{Z_2 + Z_m} = \frac{(Z_1 + Z_m)(Z_2 + Z_m) - Z_m^2}{Z_2 + Z_m} I_p$$

$$\therefore I_p = \frac{Z_2 + Z_m}{(Z_1 + Z_m)(Z_2 + Z_m) - Z_m^2} E \tag{c}$$

(a)-(b) ヨリ

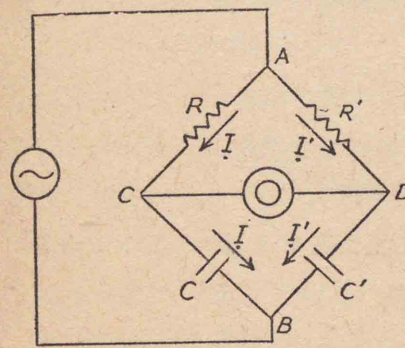
$$I_s = \frac{I_p Z_1 - E}{Z_2} = \frac{-E Z_m}{(Z_1 + Z_m)(Z_2 + Z_m) - Z_m^2} \tag{d}$$

又 E ノ側ヨリ見タル  $I_p$  ノ回路ノ「インピーダンス」Z ハ

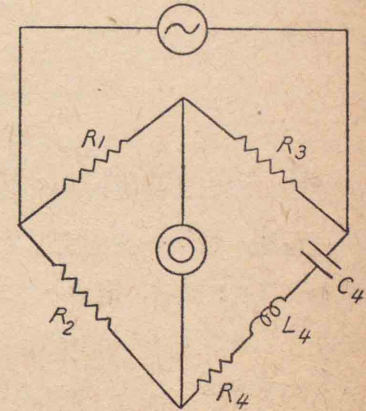
$$Z = \frac{E}{I_p} = Z_1 + Z_m - \frac{Z_m^2}{Z_2 + Z_m}$$

問 題

1, 左圖ノ如キ電橋ノ受聴器(○印)ヲ通シテ電流ガ流レザルトキ



20 圖 (a)



20 圖 (b)

$$\frac{R}{R'} = \frac{C'}{C}$$

ノ關係アルコトヲ證セ.

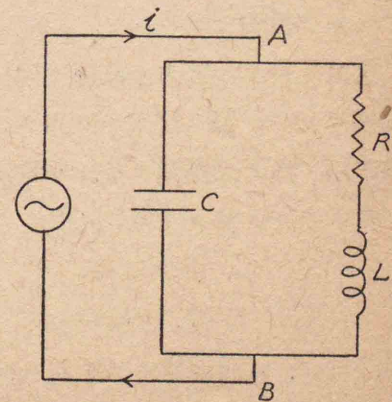
C, D ハ等電位トナルベキヲ以テ

$$I R = I' R' \tag{a}$$

$$I \cdot \frac{1}{j\omega C} = I' \cdot \frac{1}{j\omega C'} \tag{b}$$

(a) ÷ (b) ヨリ  $RC = R'C'$

2. 左圖ニ於テ受聴器 ○ = 電流流レザルタメノ條件ヲ求メ



20 圖 (c)

ヨ.

$$\text{答 } R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} \text{ 及 } \\ L_4 = \frac{1}{\omega^2 C_4}$$

3. 左圖ノ如キ回路ニ於テ電源ヨリトル電流*i*ガ端子電壓 (*AB*間電壓) ト同相ナルタメニハ

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

ノ關係アルコトヲ證セ.

## 10. 交流ニ於ケル電力

一電路ニ於ケル交流交壓ノ實効値ヲ夫々 *I* 及ビ *E* トシ兩者ノ位相差ヲφトセバ、電力ハ

$$P = EI \cos \varphi \quad (26)$$

ニテ表ハサル.  $\cos \varphi$  ハコノ電路ノ力率トイフ. 又 *EI* ハ見掛ノ電力又ハ皮相電力トイフ.

コレヲ説明セン.

交流ニ於ケル電力モ直流ト同様ニ定義セラルレドモ、交流ハ時々刻々ソレノ値ヲ變ズルヲ以テ、一週期間ノ平均ヲ以テス. 今電路ノ或ル二點間ヲ流ルル電流トソノ二點間ノ電壓トガ次式ニテ與ヘラルルモノトス.

$$e = E_m \sin \omega t,$$

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi).$$

然ラバ *dt* 時間ニコノ二點間ニ供給セラルル勢力ハ *ei dt* ニシテ、*ei* ハソノ瞬時ノ電力トイフベシ. ソレノ一週期間ノ平均ハ

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T ei \, dt \\ = \frac{1}{T} \int_0^T E_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi) \, dt \\ = \frac{1}{T} \cdot \frac{E_m I_m}{2} \int_0^T \{\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)\} \, dt \\ = \frac{E_m I_m}{2} \cos \varphi - \frac{E_m I_m}{2} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T \cos(2\omega t - \varphi) \, dt.$$

第二項ノ積分ハ零ナリ. 實効値ヲ用フレバ

$$P = EI \cos \varphi. \quad (26)$$

實際問題トシテハ週期ハ數十分ノ一秒ナルヲ以テ、コレニ比シテ非常ニ永キ數分、數時間ノ平均ヲ取ルトキハ、ソレニ含マルル一週期ノ端數ガ異ナルトモ何等平均值ニ變化ナキモノト見做シ得ベシ.

直流ニ於テハ電壓ト電流トニ位相差ナルモノ存在セザルヲ以テ、電力ハ常ニ電壓×電流ナルモ、交流ニ於テハ位相差ナキ場合ノミコレニ等シク、位相差アル場合ハ力率  $\cos \varphi$  ヲ乘ジタルモノトナリ、電力小トナル. 位相差  $90^\circ$  ナラバ、電壓アリ電流アルモ電力零即チ電路ノコノ部分ニ何等勢力ヲ供給セザルコトトナル. コレ一見不可思議ナルモ然ラズ. 即チ電壓電流ニ  $90^\circ$  ノ位相差アルトキハ電路ニ抵抗ナク、「リアクタンス」ノミアルトキナリ. 自己誘導及電氣容量ノミナラバ勢力ノ出入アルモ何等勢力ノ消耗ナキ理ナリ. コノコトハ抵抗ヲ用ヒテ電力ヲ示サバ明カナリ. 即チ

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{X}{R} \quad (X \text{ハ「リアクタンス」})$$

ナラバ

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

ニシテ、又

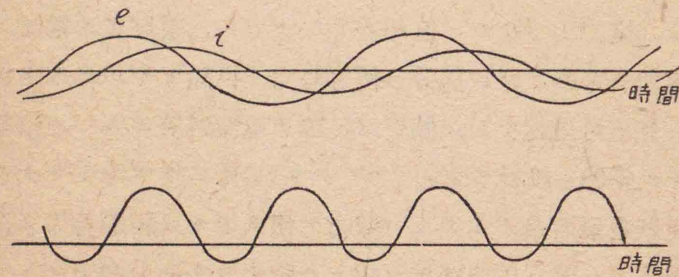
$$E = I\sqrt{R^2 + X^2}$$

ナルガ故ニ

$$P = EI \cos \varphi = I^2 R \quad (27)$$

トナル。即チ電力ヲ消費スルハ抵抗  $R$  ノミニシテ、抵抗ナケレバ電力ノ消費ナシ。  $L$  及ビ  $C$  ハ逆起電力ヲ生ジテ電流ヲ小ナラシメ、又位相ヲ變化セシムルモ勢力ヲ消費セズ。故ニ第3節ニ述シ如ク發熱量ハ實効値ヲ用フレバ直流交流トモ同形トナルナリ。

參考ノタメニ  $e, i$  及ビ積  $ei$  ヲ圖示ス (21圖)。  $ei$  曲線ト時間軸トニテ圍ム面積ハ仕事即チ勢力ヲ表ハシ、横軸ヨリ上ノ部分ハ正、下ノ部分ハ負ニシテ、消費電力ハソレノ差引トナル。電壓ト電流トガ同位相ナルトキ仕事ハ最大トナリ、直角ダケ位相異ナルトキハ仕事ヲナサザルナリ。



21. 圖

### 問 題

1.  $e = E_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ ,  $i = I_m \sin \omega t$  ノ電力零ナルコトヲ證セヨ。
2. 位相差  $\varphi$  ガ  $90^\circ$  又ハ  $0^\circ$  ナルハ、ソノ電路ノ直流抵抗ト

「リアクタンス」トノ關係ガ如何ナル場合ナルカ。 答  $R=0$ ,  $X \neq 0$  實際的ニハ  $R \ll X$ ;  $X=0$ ,  $R \neq 0$  即チ  $X \ll R$ .

3. 共振状態ニ於ケル電力ハ如何。 答  $P = EI$

4. 電壓 100V, 電流 12A ニシテ位相差  $20^\circ$  ナルトキノ電力及ビ力率ヲ求メヨ。 答 1128「ワット」0.940.

## 11. 塞流線輪

自己誘導ヲ有スル線輪ハ交流ニ對シテ一種ノ抵抗ヲ與フルコトハ既ニ學ビシ所ナリ。故ニ電路内ニ挿入セル線輪ノ自己誘導ヲ加減シテ電流ヲ變化セシムルコトヲ得。交流ニ對シテ抵抗器トシテ使用スル、自己誘導率大ニシテ抵抗小ナル線輪ヲ塞流線輪トイフ。

抵抗甚ダ小ニシテ自己誘導率  $L$  ナル電路ニ  $e = E_{10} \sin \omega t$  ナル電壓加ハルトキノ電流ハ

$$i = \frac{E_m}{\omega L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

ナリ。コレヨリ電流ハ  $L$  ニ逆比例スルコトヲ知ル。又周波數  $\omega/2\pi$  大ナル程  $\omega L$  ハ大トナル。コレハ通常ノ直流抵抗所謂「オーム」抵抗ト異ナル所ナリ。  $L$  ノ値ヲ變ズルニハ通常線輪内ニ挿入セラレタル鐵心ノ一部ヲ動カシテ磁路ノ磁氣抵抗ヲ變化シテ行フ。

塞流線輪ノ損失ハ抵抗ニヨルモノ即チ所謂銅損ハ少キモ、鐵心ニ生ズル渦流及ビ「ヒステレシス」ニヨル損失即チ所謂鐵損アリ。後者ヲ減ズルタメ鐵心ニハ絶縁セル鐵板又ハ鐵線ヲ束ネタルモノヲ用ヒ、且珪素鋼ノ如キ「ヒステレシス」損失少キモノヲ選ブ。

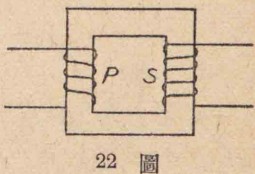
周波數非常ニ大ナル交流即チ高周波電流ニ用フル塞流線輪ハ  $L$



ノ値アマリ大ナルヲ要セズ, 又損失ヲ減ズルタメ鐵心ヲ用ヒザルヲ常トス.

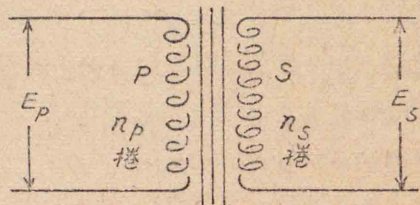
### 12. 變 壓 器

同一ノ鐵心上ニ一次線輪  $P$  及ビ二次線輪  $S$  ヲ捲キ,  $P$  ニ交流ヲ通ズレバ,  $S$  ニ交壓ヲ生ズ. カクノ如キ装置ヲ交流變壓器トイフ (22圖). 23圖ハ鐵心ヲ有スル變壓器ノ圖示符號ナリ.



22 圖

(i) 今  $P$  ニ交流ヲ通ゼバ鐵心中ニ磁束ヲ生ジ, コノ磁束ハ交流ト同週期ニテ變化ス. 因ツテ  $S$  「コイル」中ヲ通ル磁束ガ變化スルコトトナリ, ソレニ交番動電



23 圖

力即チ交壓ヲ誘起スベシ. カカル状態ニアルトキ鐵心中ニ於テ變化スル磁束ヲ

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

ナリトス. 然ラバコノトキ  $P$  「コイル」(捲數  $n_p$ ) ノ兩端ニハ

$$e_p = -n_p \frac{d\Phi}{dt} = n_p \omega \Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (\alpha)$$

ナル誘導動電力ヲ生ズ.  $S$  「コイル」(捲數  $n_s$ ) ヲ兩端開キタルママニテ, 而モ磁束漏洩ナシトセバ, ソノ兩端ニハ

$$e_s = -n_s \frac{d\Phi}{dt} = n_s \omega \Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (\beta)$$

ナル誘導動電力ヲ生ズベシ.

$P$  「コイル」ニ抵抗ナシトセバソノ兩端ニ加フベキ外部電壓  $e$  ハ,  $P$  「コイル」ニ生ズル誘導動電力  $e_p$  ト大キサ等シク方向反對ナリ.  $e = -e_p$  故ニ  $S$  「コイル」ニ生ズル電壓ノ實効値  $E_s$  ト  $P$  「コイル」ノ兩端ニ加ハル電壓ノ實効値  $E_p$  トノ比ハ  $(\alpha), (\beta)$  ヨリ

$$\frac{E_s}{E_p} = \frac{n_s}{n_p} \quad (28)$$

コレヲ變壓比又ハ捲線比トイフ. 實際ニハ  $P$  「コイル」ノ抵抗及ビ漏洩磁束ノタメニ變壓比ハコレヨリ多少小トナルモ, 大體ニ於テコレニ等シトナシ得ベシ. 然シテコノ場合  $P$  「コイル」ニ流ルル電流  $i_p$  ハ, 外部カラノ電壓ヲ

$$e = E_m \sin \omega t$$

トシ,  $P$  「コイル」ノ自己誘導係數ヲ  $L_p$  トセバ

$$i_p = \frac{E_m}{\omega L_p} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

ナリ. コレヲ勵磁電流ト稱ス.

(ii) 次ニ, 「コイル」 $S$  ヲ閉ヂタル場合ヲ考フ.  $P, S$  兩「コイル」ノ電流ヲ夫々  $i_p$  [コノ  $i_p$  ハ前述ノ勵磁電流  $i_{p0}$  トハ異ニシテソレヨリ大ナリ],  $i_s$ , 相互誘導率ヲ  $M$ ,  $S$  「コイル」ノ自己誘導率ヲ  $L_s$  トシ, 抵抗ヲ無視セバ,  $S$  「コイル」ニ於テ

$$L_s \frac{di_s}{dt} + M \frac{di_p}{dt} = 0$$

ニシテ,  $i_p, i_s$  ノ實効値ヲ夫々  $I_p, I_s$  トセバ(實効値ハ絶對値ヲトルモノナレバ),

$$L_s I_s = M I_p$$

トナル. 磁束ノ漏洩ナシトセバ,  $S$  「コイル」中ノ單位電流ニヨリ

テ  $P$ 「コイル」及ビ  $S$ 「コイル」ヲ貫ク磁束ハ夫々  $M$  及ビ  $L_s$  ニシテ、而モ夫々  $n_p$  及ビ  $n_s$  ニ比例ス。即チ

$$L_s : M = n_s : n_p,$$

故ニ

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{M}{L_s} = \frac{n_p}{n_s}. \quad (29)$$

從ヒテ、[(28), (29) ヨリ] 兩「コイル」ヲ通ズル電流ト電壓トハ逆比例ス。

(iii) 一般ニ、 $S$ 「コイル」ヲ閉ヅルニハ、「インピーダンス」ヲ以テス。故ニ  $S$ 「コイル」(抵抗ナシトス) ヲ「インピーダンス」 $\sqrt{R_s^2 + X_s^2}$  ニヨリテ閉ヂタル場合ヲ考フ。コノトキ  $S$ 「コイル」ヲ流ルル電流  $i_s$  ハ

$$i_s = \frac{E_{sm}}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi_s\right), \quad \left(\tan \varphi_s = \frac{X_s}{R_s}, E_{sm} = n_s \omega \Phi_m\right).$$

然ルニ  $n_s i_s$  ニ比例スル動磁力ガ新ニ鐵心ニ作用スル故ニ、コレニ比例スル磁束  $\Phi'$  ヲ新ニ生ゼントス。即チ磁束  $\Phi$  ヲ  $\Phi + \Phi'$  (ベクトル和) ニ變ヘントス。然ルニ外部カラノ電壓  $e$  ヲ一定トセバ  $e_p$  ハ一定從ツテ  $(a)$  ヨリ磁束  $\Phi$  ハ一定ニ保タルベシ。從ツテ  $\Phi'$  ヲ打消ス電流  $i_p''$  ガ一次「コイル」ニ  $i_{p0}$  以外ニ新ニ流レザルベカラズ。

コレニヨル動磁力ハ  $n_p i_p''$  ニ比例スル故ニ

$$n_p i_p'' = n_s i_s.$$

即チ、實効値ヲトリテ、

$$\frac{I_p''}{I_s} = \frac{n_s}{n_p}.$$

故ニ、電源ヨリ  $P$ 「コイル」ニ流入スル電流ハ

$$i_p = i_{p0} + i_p'' \quad (\text{但シ通常 } i_{p0} \text{ ハ } i_p'' \text{ ニ比シ小ナリ}).$$

トナル。

コノ場合負荷「インピーダンス」ニ供給スル電力ハ

$$P_s = E_s I_s \cos \varphi_s$$

ニシテ、コレハ電源ヨリ供給スル電力

$$P_p = E_p I_p \cos \varphi_p$$

ニ等シカルベシ。

カカル場合ニハ、電壓ハ正シク  $\frac{n_p}{n_s}$  ノ比ニ保タレ、電流ハ略  $\frac{n_s}{n_p}$  ノ比ニ保タルルナリ。

### 【参 考】

(iv) 上述ハ理想的變壓器ニツキテ論ジタルモ、實際ノ場合ニハ、鐵心中ニ「ヒステレシス」損及ビ渦流損ナル所謂鐵損ト、導線ノ抵抗ニヨル銅損アリ、又磁氣漏洩ニヨル損失モアリテ上述ヨリ多少異ナル結果トナル。

(v) 電壓變動率：負荷ノ如何ニ拘ラズ二次端子電壓ノ變動ヲ小ナラシムル事ハ定電壓送配電ニ必要ナリ。今二次端ニ一定ノ力率ニ於テ定格ノ二次電流  $I_{s,N}$  ガ流ルル如キ負荷ヲ接続シ、二次電壓ガ定格ノ電壓  $E_{s,N}$  トナル如ク一次端子電壓  $E_p$  ヲ調整ス。次ニ  $E_p$  ヲ不變ニ保チテ負荷ヲ零トナセル場合ノ二次端子電壓ヲ  $E_{s,0}$  トセバ

$$\epsilon = \frac{E_{s,0} - E_{s,N}}{E_{s,N}}$$

ヲソノ力率ニ對スル電壓變動率ト稱、普通百分率ニテ表ハス。從ヒテ、電壓變動率ハ、一次端子電壓ヲ一定ニ保チテ、負荷ヲ無負

荷ヨリ定格負何トセル場合ノ二次端子電壓ノ變動ヲ表ハス率トハ多少異ナルモ、大體ニ於テ之ニ近似ス。電壓變動率ノ値ハ普通數%以下ナリ。

(vi) 定格及ビ能率：變壓器ノ出力  $P_s = E_s I_s \cos \varphi$ 。ヲ増加センニハ、一定力率ニ於テハ、 $E_s$  又ハ  $I_s$ 。ヲ増加スルヲ要ス。而シテ  $E_s$ 。ヲ増加スルニハ磁束  $\phi$ 。ヲ増加スルヲ要ス。 $\phi$ 。ヲ増加セバ鐵損増加シ鐵心ノ溫度上昇スルノミナラズ、又電壓増加ノ爲捲線ノ絕緣途ニ破ルルニ至ル。又  $I_s$ 。ヲ増加セバ銅損増加シ銅捲線ノ溫度上昇ス。故ニコレヲ鐵損及ビ銅損ニヨル溫度上昇等ヲ絕緣物ニ許容シ得ル制限値以下ニ保ツニハ使用限度アリ。コノ溫度上昇ガ或規程ニ適合スル如キ使用限度ヲ定格ト云ヒ、ソノ場合ノ出力、電壓、電流ヲ定格出力、定格電壓、定格電流ト稱ス。

變壓器ノ溫度上昇ヲ決定スルハ主トシテ銅損及ビ鐵損ニシテ、コレラハ力率ニハ略無關係ニシテ、電流電壓ノミニヨリテ定マルモノナレバ、定格出力(コレヲ變壓器ノ容量トモ云フ)ハ皮相電力即チ  $KVA$  (「キロボルト・アンペア」)ヲ以テ表ハス。

一次「コイル」(入力側)ニ於ケル電力  $P_p$  ト、二次「コイル」(出力側)ニ於ケル電力  $P_s$  トノ比ノ百分率  $\eta$  即チ

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} = \frac{E_s I_s \cos \varphi}{E_p I_p \cos \varphi_p} \times 100\%$$

ヲ變壓器ノ能率ト名ヅク。普通ニ使用セラルル變壓器ノ能率ハ極メテ大ニシテ、 $5KVA$  程度ノ小型ノモノニテモ96%程度、 $10000KVA$  以上ニ於テハ99%ヲ超過ス。コレハ珪素銅板ノ如キ鐵損少キ材料ノ出現ニヨルト云ヒ得ベシ。】

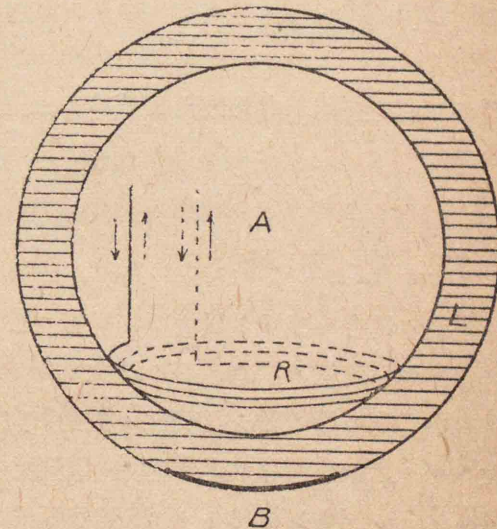
現在ノ如ク長距離ノ高電壓大電力輸送ガ經濟的ニ可能ナルハ、

變壓器ニヨリテ電壓ヲ自由ニ能率ヨク遞昇又ハ遞降シ得ル爲ナリ。

### 問題及練習

1.  $100V$  ノ交流ヲ  $6V$  ニ下降センニハ捲線ヲ如何ニナル比ナスベキカ。

2. 圖ハ安式(二號)轉輪羅針儀ノ主動部球管  $A$ 、反撥線輪  $R$ 、支持液  $L$  及ビ追従部  $B$  (下部ハ銅板ナリ)ヲ示ス。主動部球管  $A$  ハ轉輪動作セザルトキハ底部ニ沈ム。轉輪動作シテ反撥線輪  $R$  ニ交流通ズルトキハ、支持液中ニ浮上ル。ソノ理由ヲ次ノ如ク階段的ニ考ヘヨ。



(イ) 反撥線輪ヲ流ルル電流ヲ  $i = I_m \sin \omega t$  トセバ、線輪兩端ニ與フル電壓  $e$  ハ  $i$  ニ對シテ幾何ノ位相差アリヤ。(但シ自己誘導率  $L$  ノミアリテ抵抗ナシトス)

(ロ) 線輪中ノ磁束  $\phi$  ハ  $e$  ノ電壓  $e$  ト幾何ノ位相差アリヤ。

(ハ) 追従部ノ銅板ニ誘起サルル渦狀電流ノ電壓  $e'$  ハ磁束  $\phi$  ト幾何ノ位相差アリヤ。

(ニ) コノ渦狀電流  $i'$  ハ電壓  $e'$  ト幾何ノ位相差アリヤ。(但シ

自己誘導率  $L'$  ノミトス)

(ホ) 二電流  $i, i'$  ガ相互ニ反撥或ハ吸引ノ作用ヲ及ボシ合フハ如何ナル場合ナリシカ。

$$\text{答 } e = \omega L I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\phi = \phi_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2}\right) = \phi_m \sin \omega t$$

$$e' = E'_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$i' = \frac{E'_m}{\omega L'} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{E'_m}{\omega L'} \sin \omega t$$

### 13. 表皮効果

交流ノ場合ハ直流ト異ナリ，導線ニ自己誘導ノ作用アリ，而モソノ作用ハ導線ノ中心ニ至ル程大ナルヲ以テ，電流ハ表皮ヲ通ジ易ク中心部ハ通ジ難シ。交流ノ振動數大トナルニ從ヒテソノ傾向大トナル。即チ電流ヲ導ク有効斷面積小トナリ，「オーム」抵抗ヲ増ス。コレヲ表皮効果トイフ。無線通信ノ裝置等ニ於テ太キ導線，平タキ線，又ハ太キ中空ノ導體管ヲ用フルコトアルハコノ理ニヨル。

### 14. 濾波回路網 (電氣濾波器)

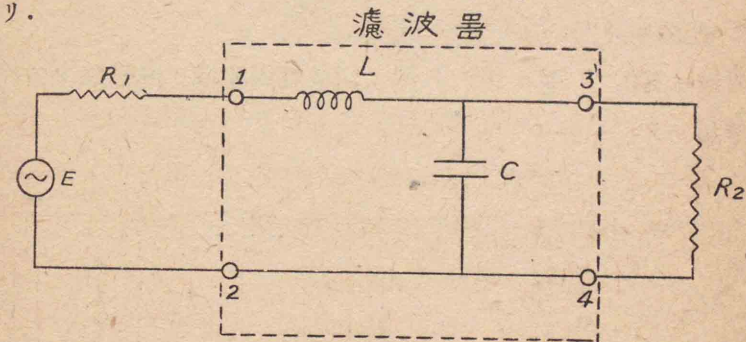
定常狀態ノ電流ニ於テモ，或ハ一時的ナ瞬時電流ニ於テモ，之ヲ種々ノ周波數カラナル合成電流ト見做シ得。斯クノ如キ周波數群ノ電流ヲ取扱フノニ，或區劃内ノ周波數ヲ有スル電流ハ通過サ

セ，他ノ區劃内ノモノハ之ヲ阻止スル如キ作用ヲ有スル回路ヲ濾波回路網又ハ電氣濾波器ト稱ス。

コノ濾波器ハ最近著シキ進歩發達ヲナシ，電信電話ノ如キ通信方面ハ勿論電力電氣機械方面ニ迄應用サレ，電氣工學上極メテ重要ナ役割ヲ演ジツツアリ。

理想的ナ濾波器ノ條件トシテハ

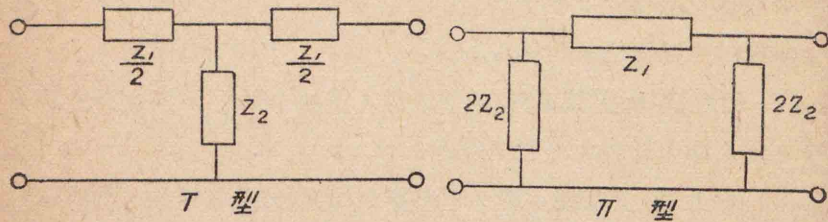
- (i) 傳送域 (所要帶域内) ノ周波數ノ電流 (電壓) ニ對シテ減衰ナキコト，即チ妨害ナク之ヲ通過セシムルコト。
  - (ii) 阻止域 (受電端ニ於テ不必要ナ周波數域) ノ電流 (電壓) ニ對シテハ出來得ル丈ケ傳送サレズ之ヲ阻止スルコト。
- ナリ。



24 圖

24圖ニ於テ 1, 2; 3, 4 間ガーツノ濾波器ナリ。何トナレバ  $\omega=0$  (周波數=0) ニテハ  $R_2$  ハ電源部分ニ直接接續セラレ， $\omega$  極メテ大ナレバ， $R_2$  ハ  $C$  ノタメ短絡サレタル上  $L$  ノ「インダクタンス」ハ大トナリ  $R_2$  ニ來ル電力無ク， $\omega$  ガ小ヨリ大ニ到ル途中ニ於テハ「インダクタンス」 $\omega L$  ト「リアクタンス」 $\frac{1}{\omega C}$  ノ相反スル性質ヨリ  $R_2$  ノ受ケル電力ハ低周波範圍程大ニシテ，高周波ニ到ルニ從ヒ小トナレバナリ。

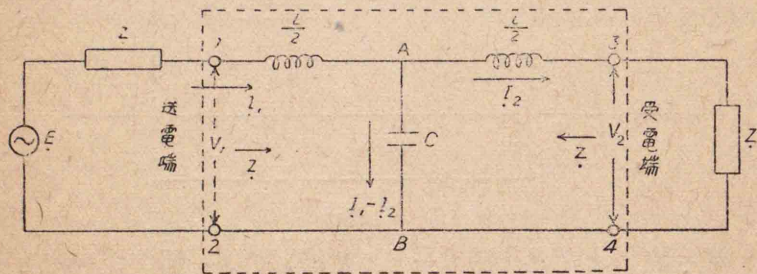
濾波器ハ上ノ如ク  $L, C$  ノ相反スル特性ヲ利用シタルニ過ギザ  
ルモノニシテ, ソノ連結ノ仕方ニヨリ種々ノ型アリ. ココデハ25  
圖ノ如ク「インピーダンス」ヲ T 型又ハ  $\pi$  型ニ連結セル一対稱型  
(一般ニ數箇結合ス)ニ就キ説明セン.



25 圖

1. 低域濾波器 (Low pass filter)

26圖ハ對稱 T 型ニシテ24圖ト同様低周波域ヲ傳送域トスルコ  
ト勿論ナリ.

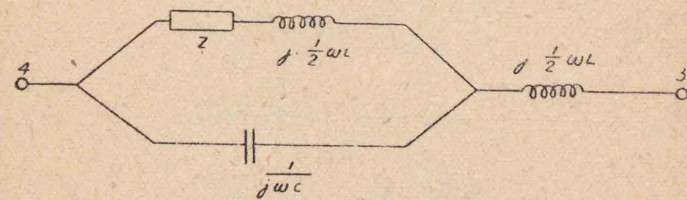


26 圖

今電源  $E$  ニハ「インピーダンス」無キモノトシテ, 兩端ニ連結  
セル「インピーダンス」 $Z$  ハ次ノ如キ性質ヲ有スルモノナリ. 即  
チ 3—4 端子ヨリ左方ヲ望ミタル (送電端ヲ望ミタル)「インピー  
ダンス」モ亦  $Z$  ニ等シカルベキモノトス. 從ツテ對稱ノ考ヨリ  
1—2 端子ヨリ受電端 (右) ヲ望ム「インピーダンス」モ  $Z$  ニ等シカ

ルベシ. カクノ如ク各端子ニ於テ影像ノ如キ關係アルヲ以テ, 兩  
端ニ接続セル「インピーダンス」ヲ影像「インピーダンス」(Image  
impedance) ト稱シ, コノ回路ニ特有ナル値ヲ有ス. 今濾波器ニカ  
カル影像「インピーダンス」ヲ接続シタリトシ, コノ値ヲ求メン.

受電端 (3—4端子) ヨリ左方ヲ望ミタル「インピーダンス」ハ27圖  
ノ連結ト同ジ.



27 圖

コレガ 3—4 端子ニ連結セル  $Z$  ト等シカルベキ故次ノ式成立  
ス.

$$\frac{(Z + j \cdot \frac{1}{2} \omega L) \cdot \frac{1}{j \omega C}}{(Z + j \cdot \frac{1}{2} \omega L) + \frac{1}{j \omega C}} + j \cdot \frac{1}{2} \omega L = Z$$

分母ヲ拂ヒテ

$$Z + j \cdot \frac{1}{2} \omega L - \omega C Z \cdot \frac{1}{2} \omega L - j \cdot \frac{1}{4} \omega^3 L^2 C + j \cdot \frac{1}{2} \omega L$$

$$= Z^2 \times j \omega C - Z \cdot \frac{1}{2} \omega^2 L C + Z$$

$$\therefore Z^2 = \frac{L}{C} - \frac{1}{4} \omega L^2 \tag{A}$$

「キルヒホッフ」ノ法則 (25') ヲ26圖 (AB4Z3A) ノ回路ニ適用シ

$$I_2 (Z + j \cdot \frac{1}{2} \omega L) = (I_1 - I_2) \cdot \frac{1}{j \omega C}$$

$$\therefore \dot{I}_1 = \dot{I}_2 \left( 1 - \frac{1}{2} \omega^2 LC + jZ\omega C \right) \quad (a)$$

送電端 (1-2端子) ヨリ右方ヲ望ミタル「インピーダンス」モ  $Z$ ニ等シキ故、コノ端子間ノ電壓ヲ  $V_1$  トスレバ

$$V_1 = \dot{I}_1 Z \quad (b)$$

又受電端 (3-4端子) 間ノ電壓ヲ  $V_2$  トセバ

$$V_2 = \dot{I}_2 Z \quad (c)$$

(a), (b) 及ビ (c) ヨリ

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = 1 - \frac{1}{2} \omega^2 LC + jZ\omega C \quad (B)$$

(i)  $\omega \leq \frac{2}{\sqrt{LC}}$  (即チ (A) ノ右邊  $\geq 0$ ) ノトキ

$Z$  ハコノ場合抵抗ヲ表ハシ、(影像抵抗ト稱ス) (B) ノ右邊 = (A) ヲ代入セバ

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_2} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} &= \left( 1 - \frac{1}{2} \omega^2 LC \right) + j\omega \sqrt{LC \left( 1 - \frac{\omega^2 LC}{4} \right)} \\ &= \sqrt{\left( 1 - \frac{1}{2} \omega^2 LC \right)^2 + LC \left( 1 - \frac{\omega^2 LC}{4} \right)} \cdot \omega_2 \times e^{j\beta} = e^{j\beta} \quad (d) \end{aligned}$$

$$\text{但シ} \quad \tan \beta = \frac{\omega \sqrt{LC \left( 1 - \frac{1}{4} \omega^2 LC \right)}}{1 - \frac{1}{2} \omega^2 LC} \quad (e)$$

(e) ニ於テ  $\omega=0$  ヨリ  $\omega = \frac{2}{\sqrt{LC}}$  迄變化スル間ニハ  $\beta$  ハ  $0$  ヨリ  $\pi$  ニ變ズ、(d) ニ於テ (21) ヲ参照スレバ

$$|\dot{I}_1| = |\dot{I}_2| \quad (\text{或ハ} \quad |V_1| = |V_2|)$$

ナレバ、コノ周波數範圍ノ電流 (或ハ電壓) ハ減衰スルコトナシ、即チ傳送域ナリ。

(ii)  $\omega > \frac{2}{\sqrt{LC}}$  ((A) ノ右邊  $< 0$ ) ノトキ

$$Z = j \sqrt{\frac{1}{4} \omega^2 L - \frac{L}{C}}$$

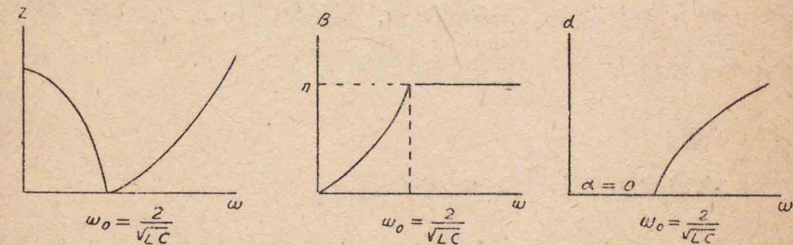
即チ  $Z$  ハ「リアクタンス」ニシテ、コノ場合 (B) ヨリ

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = 1 - \frac{1}{2} \omega^2 LC - \omega \sqrt{\left( \frac{1}{4} \omega^2 LC - 1 \right) LC} (< 0)$$

$$\therefore = \left\{ \frac{1}{2} \omega^2 LC + \omega \sqrt{\left( \frac{1}{4} \omega^2 LC - 1 \right) LC} - 1 \right\} e^{j\pi}$$

ト置キ得。即チ  $\beta = \pi$  (const) ニシテ、 $\left| \frac{V_1}{V_2} \right| = \left| \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} \right|$  ハ  $\omega$  大ナルト共ニ大、換言スレバ減衰大ナリ。阻止域ナリ。

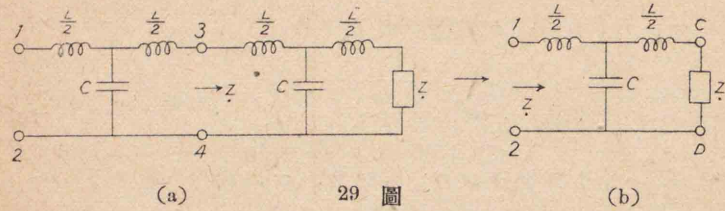
28圖ハ影像「インピーダンス」 $Z$ 、位相差  $\beta$  及ビ減衰度合  $\alpha$  ノ  $\omega$  ニ對スル變化狀態ヲ示ス。但シ  $\alpha = \log \left| \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} \right|$



28 圖

傳送域ト阻止域トノ境界周波數  $\omega_0$  ヲ遮斷周波數ト稱ス。

然シテ26圖 (1 3 4 2) ノ如キ素子ヲ  $n$  箇並ベテ連結セルトキ、例ヘバ29圖 (a) ニ於テ 3, 4 ヨリ右方ヲ望ム「インピーダンス」 $Z$  ナレバ、29圖 (b)



二等シク、1,2ヨリ右方ヲ見タル「インピーダンス」モ亦 Zナリ。  
即チ傳送域ニ於テハ

$$\frac{V_1}{V_2} = e^{j\beta}$$

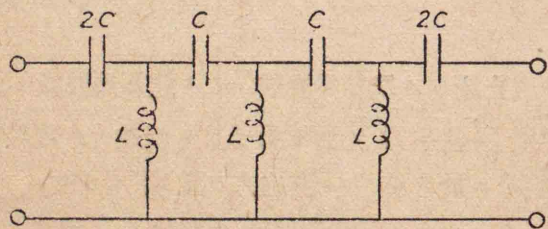
$$\frac{V_2}{V_3} = e^{j\beta}$$

$$\therefore \frac{V_1}{V_3} = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{V_2}{V_3} = e^{j \cdot 2\beta}$$

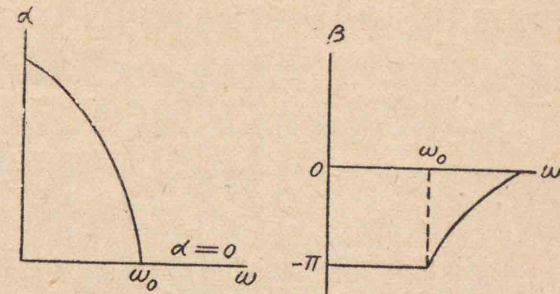
カクノ如ク電流(電壓)ハ減衰ナク、又位相差ハ  $\beta$ ノ  $n$ (素子數)倍トナルベシ。

【參考】

(2) 高域濾波器 (High pass filter)



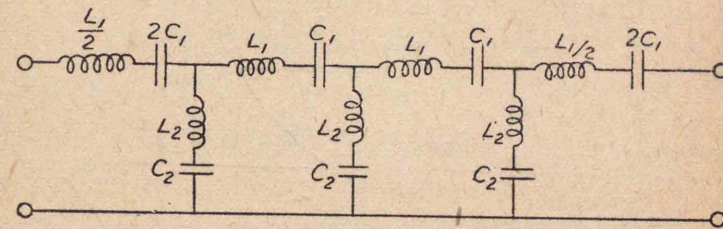
30 圖 (a)



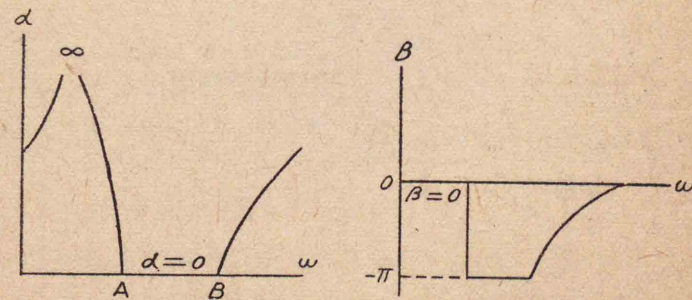
30 圖 (b)

30圖(a)ノ如キ回路ハ(1)ト反對ニアル周波數以上ハ通過シ得ルモ、低域ノ方ハ減衰大ナリ。 $\alpha-\omega, \beta-\omega$  曲線ハ同圖(b)ノ如シ。

(3) 帶域通過濾波器 (band pass filter)



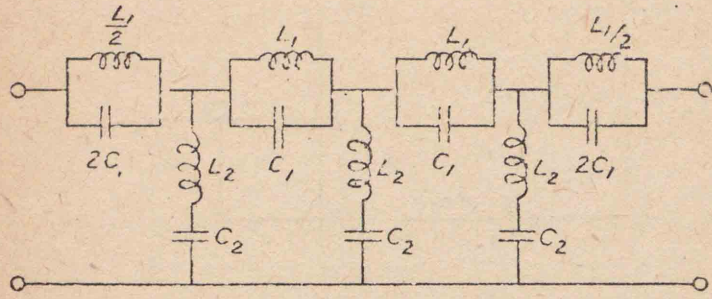
31 圖 (a)



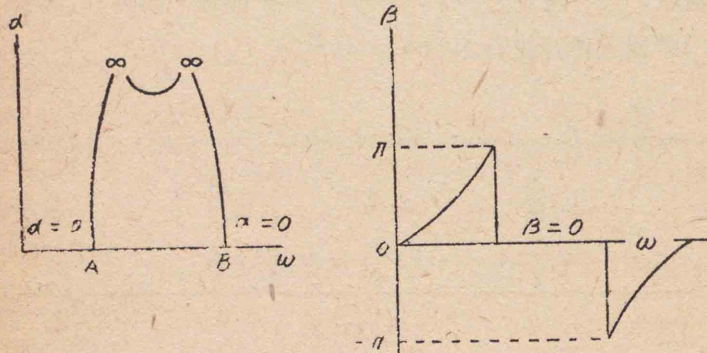
31 圖 (b)

31圖(a)ノ如キ回路ハアル一定周波數範圍((b)ノ AB間)ノモノノミ傳送シ、其他ハ減衰大ナリ。(第八節直列共振參照)

(4) 帶域阻止濾波器 (band elimination filter)



32 圖 (a)



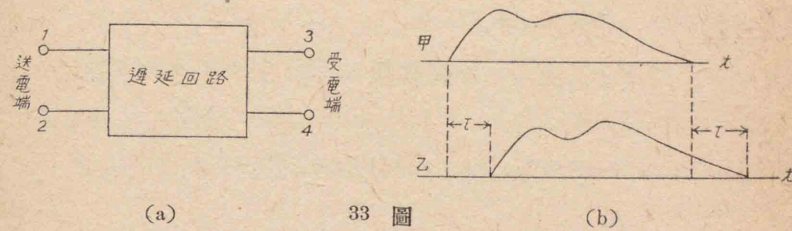
32 圖 (b)

32圖 (a)ノ如キ連結ニテハ、一定周波數範圍内ノモノガ減衰大ナリ。(第八節並列共振參照) 即チ AB 間ハ阻止域ニシテ、他ハ傳送域ナリ。(b)圖】

15. 遲延回路網

現在起リツツアル電氣的現象ヲ何等カノ方法ニヨリ若干ノ時間ノ後ニ之ヲアル一定ノ場所ニ再現セシムルヲ要スル場合アリ。一

般ニ任意ノ回路ニ於テ送電端ニアル任意ノ波形ノ電壓ヲ與ヘタ場合、受電端ニ現レル電壓或ハ電流ノ波形ガ送電端ノ電壓或ハ電流ノ波形ト相似ニシテ、單ニ或時間遲レテ受電端ニ現レル如キ回路ヲ、遲延回路網 (Retardation network or Delay network) ト稱ス。



(a)

33 圖

(b)

32圖 (a)ノ如キ回路ノ送電端 1—2 ニ同圖 (b) 甲ノ如キ波形ノ電流ガ流レタルトキ、受電端 3—4 ニハ之ト相似ナル乙ノ如キ波形ノ電流ガ流レ、唯乙ハ甲ヨリ T 秒後ニ流レ始メル如キモノナリ。

或回路ガ必要ナ周波數範圍ニ於テ遲延回路ナルタメノ必要ニシテ且十分ナル條件ハ

- (i) 電壓或ハ電流ノ減衰度ガ周波數ニ無關係ナル定數ナルコト。

注意スベキハ波形ノ相似ニシテ、波形ノ相似トハ電壓(電流)ノ減衰ナキコトヲ意味スルニ非ズシテ、如何ニ小トナルトモ相似ヲ保ツナラバ可ナリ。然レドモ、勿論利用ノ上カラハ減衰少キコトノ望マシキコトハ言フ迄モナシ。

- (ii) 受電端ノ送電端ニ對スル電壓或ハ電流ノ位相ノ遲レヲ  $\beta$  トスレバ、アラユル角速度  $\omega$  ニツキ遲延時間 T ガ一定ナルコト

$$T = \frac{\beta}{\omega} = \text{一定}$$

第14節26圖ハ一ノ低域遲延回路トシテ採用セラル。何トナレバ



28圖ヨリ  $I_2$  ハ  $I_1$  ヨリ位相  $\beta$  ダケ遅レ、 $\omega$  ノ小ナル範圍ニテハ  $\beta-\omega$  曲線ハ原點ヲ通ル直線ニ近ケレバ、 $\beta/\omega=T$  ハ略定數ニシテ(ii)ノ條件ヲ充シ、且傳送域ナル故(i)ノ條件ヲ充セバナリ。即チ遅延ニ必要ナ周波數範圍ガ低周波域ナラバ、遅延回路トシテ採用可能ナリ。今例ヘバ  $L=80$  「ミリヘンリ」 $C=0.02$  「マイクロアラッド」又使用スル周波數ガ1000「サイクル」附近ナラバ、

$$\omega^2 LC = (2\pi n)^2 LC = 4\pi^2 \times 1000^2 \times 80 \times 10^{-3} \times 0.02 \times 10^{-6}$$

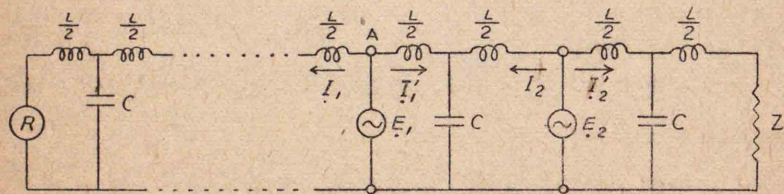
$$\approx \frac{6}{100}$$

ナレバ、第14節(e)式ニ於テ、 $\frac{1}{2}\omega^2 LC, \frac{1}{4}\omega^2 LC$  ヲ1ニ對シ無視スレバ、(e)式ハ

$$\omega\sqrt{LC} = \tan\beta \approx \beta$$

故ニ遅延時間  $T = \beta/\omega = \sqrt{LC} = \sqrt{80 \times 10^{-3} \times 0.02 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^{-5}$  (秒)50箇ノ素子ヲ連結スルトキハ、2000マイクロ秒=0.002秒トナルベシ。

水中聽音器遅延回路一例



34 圖

圖ハ低周波遅延回路ヲ連結シタルモノニシテ、右端ノ  $Z$  ハ影像抵抗、左端ノ  $R$  ハ受聽器ナリ。今  $A-B$  及ビ  $C-D$  端子ニ夫々電壓  $E_1$  及ビ  $E_2$  ヲ加フ。但シ周波數ハ同一トシ、 $E_2$  ハ  $E_1$  ヨ

リ  $\varphi$  ダケ位相進メルモノトス。  $A$  及ビ  $C$  點ニ於テ、左右ヘ分レル電流ヲ夫々  $I_1, I_1'$  及ビ  $I_2, I_2'$  トセバ、左ヘ流レル電流  $I_1, I_2$  ハ

$$I_1 = I_1 e^{j\omega t} \quad (I_1 = I_{1m} \sin \omega t) \quad (a)$$

$$I_2 = I_2 e^{j(\omega t + \varphi)} \quad (I_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \varphi)) \quad (b)$$

ノ形ナルベシ。  $A-B$  端子ヨリ受聽器  $R$  迄ノ素子數ヲ  $n$  トシ、一素子當リノ位相ノ遅レヲ  $\beta$  トスレバ第14節ニ述べタル如ク、 $I_1$  ニ應ズル電流ハ受聽器ニ於テハ (a) ノ位相ヨリ  $n\beta$  ダケ遅レ、位相

$$\omega t - n\beta$$

ニシテ、 $I_2$  ニ相當スルモノハ、受聽器ニ於テハ位相

$$(\omega t + \varphi) - (n+1)\beta$$

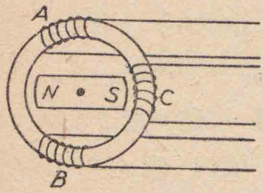
ナリ。故ニ  $\varphi = \beta$  ノトキハ、兩者ノ位相同一ニシテ振幅重疊ス。 $E_1, E_2$  ノ位相差變化スルトキ、コノ關係ガ成立スレバ受聽器ニ最大音ヲ發スベシ。

又  $A$  點、 $C$  點ヨリ右方ヘ流レル電流  $I_1', I_2'$  ハ右端ノ影像抵抗ニ達ス。然ルニ影像抵抗ニ於テハ電流ノ減少ナク (第14節)、從ツテ反射ヲ生ゼザルガ故ニコレラノ電流ハ受聽器  $R$  ニ達スルトナシ。

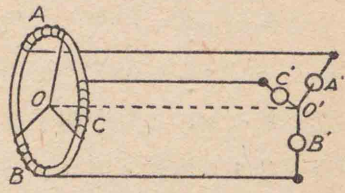
### 16. 多 相 交 流

35圖ニ示ス如ク三線輪  $A, B, C$  ヲ一鐵環ニ等距離ニ捲キ、之ニ環軸ノ周リニ廻轉スル磁石ヲ作用セシムレバ、各線輪ニ順次位相ガ  $\frac{2\pi}{3}$  ツツ異ナル同周波數ノ交番電動力ヲ生ズ。カカル三組ノ交

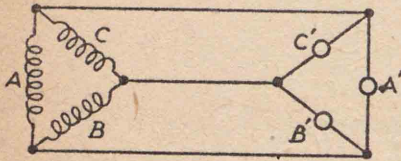
流ヲ三相交流ト名ヅク。二相，四相其他ノ交流モ同様ナル意味ノモノナリ。コレヲハ位相差アル數組ノ單相交流ト同様ナルモ，次ニ述ブル如ク，ソノ連結ノ仕方ニヨリテ送電線ノ經濟トナル等ノ



35 圖



36 圖



37 圖

便アリ。

發電機ヨリ三相交流ヲ或負荷  $A', B', C'$  ニ送ルニ36圖 a(即チb)ノ如ク連結セバ，負荷  $A', B', C'$  ガ相等シキトキハ， $O, O'$  間ノ電壓  $E_0$  ハ，各回路ノ電壓ノ最大值ヲ  $E$  トセバ，

$$E_0 = E \sin \omega t + E \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) + E \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right)$$

$$= 0$$

トナル。即チ此ノ部分ニハ電壓ナク從ヒテ電流モ存在セズ。故ニ  $OO'$  ノ間ハ導線ヲ省キ得ベシ。此ノ連結法ヲ星形連結又ハ  $Y$  連結ト名ヅク。

又37圖ノ如キ連結法ヲ三角連結又ハ「デルタ」連結ト名ヅク。

### 要 項 (第八章)

電流ハ定常電流，變化スル直流及ビ交流ニ分タル。

交流ハ電流トシテ見ルトキ交流ニシテ，電壓ニツキテ見ルトキ交壓作用スルモノナリ。

$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$  ナル交流ニツキテ

$$I_2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = \frac{1}{2} I_m^2$$

ナル如キ値  $I$  ヲ考へ，此ノ  $I$  ヲ交流ノ實効値ト稱ス。即チ

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m.$$

同様ニ， $e = E_m \sin(\omega t - \varphi)$  ナル交壓ニツキテ

$$E^2 = \frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt = \frac{1}{2} E_m^2$$

ナル如キ値  $E$  ヲ考へ，此ノ  $E$  ヲ交壓ノ實効値ト稱ス。即チ，

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m.$$

交流ノ電氣計器ニハ，電壓計(「ボルトメーター」)，電流計(「アンペアメーター」)，積算電流計(「アンペア」時計)，電力計(「ワットメーター」)，積算電力計(「ワット」時計)等アリ。此等計器ガ示ス電流，電壓ノ値ハソレレノ實効値ナリ。

正弦的變化量ノ和及ビ差ヲ圖ニヨリテ求ムル方法アリ。此ノ圖ヲ「ベクトル」圖ト稱ス。交流ヲ扱フ際ニ有用ナルモノナリ。

$C, L, R$  ガ直列ニ連ナル回路ニ於テ, 電壓  $e$

$$e = E_m \sin \omega t$$

ト, 電流  $i$

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

トノ間ニハ次ノ關係アリ.

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \text{ 即チ, } E_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

但シ,  $I_m, E_m$  ハ電流及ビ電壓ノ實効値ニシテ,  $\varphi$  ハ電流ト電壓トノ位相差ナリ.

特ニ,  $C$  ガナク ( $C = \infty$ ),  $L, R$  ノミナラバ

$$e = E_m \sin \omega t, \quad i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

ニ於テ,

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}, \text{ 即チ, } E_m = I_m \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2},$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L}{R}.$$

ニシテ, 電流ハ電壓ヨリモ位相遅レ,

又,  $L$  ガナク ( $L = 0$ ),  $C, R$  ノミナラバ

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \text{ 即チ, } E_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

$$\tan \varphi = \frac{1}{R\omega C}$$

ニシテ, 電流ハ電壓ヨリモ位相進ム.

$C, L, R$  ノ直列回路ニ  $e = E_m \sin \omega t$  ナル電壓ヲ加フルトキ,

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0, \text{ 即チ, } \omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}$$

ナル關係アルトキハ,

$$i = \frac{E_m}{R} \sin \omega t, \quad \tan \varphi = 0$$

ニシテ電流最大トナル. 此ノ場合電路ハ共振セリトイフ.

$C_1, L_1, R_1$  及ビ  $C_2, L_2, R_2$  ヲ直列ニ有スル兩電路ヲ直列ニ連結セルトキハ

$$R = R_1 + R_2, \quad L = L_1 + L_2, \quad C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} \text{ ナレバ,}$$

全「インピーダンス」ハ

$$\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

ニシテ, 並列ニ連結セルトキハ全「インピーダンス」ハ

$$\frac{\sqrt{R_1^2 + X_1^2} \sqrt{R_2^2 + X_2^2}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

但シ  $X_1 = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}$

$$X_2 = \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}$$

ナリ.

特ニ,  $C$  ト  $L$  トノミガ並列ニ連結セラルル回路ハ

$$\omega C = \frac{1}{\omega L}, \text{ 即チ, } \omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}$$

ナルトキ, 交流  $i = 0$  ナラシム. (コノ時ニモ共振セリトイフ),

交流ノ電力  $P$  ハコレヲ

$$P = EI \cos \varphi$$

ニテ定ム。但シ、 $E, I$  ハ交壓及ビ交流ノ實効値ニシテ、 $\varphi$  ハ交流、交壓ノ位相差ナリ。  $EI$  ヲ皮相電力、 $\cos \varphi$  ヲ力率ト稱ス。

$L$  ハ交流ヲ阻止スル性質アリ。此ノ目的ニ作ラレタル線輪ヲ塞流線輪ト稱ス。交流ノ振動數(周波數)大ナル程  $L$  ノ効果大ナリ。線輪ノ  $L$  ヲ大トナスニハ鐵心ヲ用フ。

相互誘導ニヨリテ一回路ノ電流ヲ他ノ回路ニ傳フル装置ヲ變壓器ト稱ス。變壓器ノ一次回路  $P$  ト二次回路  $S$  トノ電壓ハ兩者ノ捲線比(變壓比)ニ比例シテ増減ス。即チ

$$\frac{E_s}{E_p} = \frac{n_s}{n_p} = \text{捲線比.}$$

又、兩回路ノ電流ト電壓トハ逆比例ス。即チ

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{E_p}{E_s} = \frac{n_p}{n_s}.$$

變壓器ニ於テハ鐵損、銅損及ビ磁氣漏洩アリテ上述ヨリ多少異ナル。

變壓器ノ温度上昇ニヨリテ使用ノ限度アリ。此ノ限度ヲ定格ト稱シ、ソノ場合ノ出力、電壓、電流ヲ夫々定格出力、定格電壓、定格電流ト稱ス。變壓器ノ能率ハ 96~99% ニ及ブ。

周波數大ナル交流ハ導線ノ中心部ヲ流レルコト少ナク、多クハ表皮ヲ流レルモノナリ。此ノ現象ヲ表皮効果ト稱ス。

入力側ガ多數ノ周波數ヨリナルトキ、出力側ニ現レル電流(電壓)ヲシテ或區劃内ノモノノミヲ通過サセ、他ノ區劃内ノモノハ

之ヲ阻止スル如キ回路ヲ濾波回路トイフ。 $L, C$  ノ特性ヲ利用ス。

入力側ニ任意ノ波形ノ電壓ヲ與ヘタルトキ、出力側ノ電壓(電流)ガ入力側ノソレト相似ニシテ且或時間遲レテ出現スル如キ回路ヲ遅延回路ト稱ス。 $L, C$  ノ効果ニヨリ出力端ニオケル位相ノ遲レヲ利用ス。

交流ニハ單相交流、多相交流アリ。普通送電セラルルモノハ多ク三相交流ナリ。

交流量ハ「ベクトル」ニヨリテ表示セラレ、「ベクトル」ハ複素數ニヨリテ表示セラルルモノナレバ、交流量ノ計算ヲ複素數ノ計算法ニヨリテ簡單ニナシ得ルナリ。

第九章 電氣振動

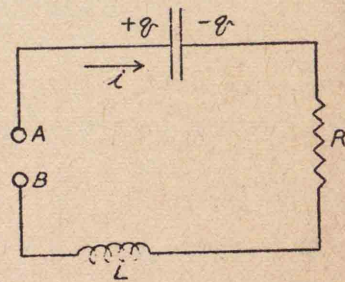
1. 振動性放電 (自由振動)

高キ電位差ニ帶電セル蓄電器  $C$  ノ兩極ニ夫々導線ヲ接續シ (1 圖), ソノ導線ノ他端  $A, B$  ヲ近接セシムレバ,  $A, B$  間ノ空氣ヲ通ジテ火花放電ヲ起シ電流流ル. コノ火花ハ一見唯一本ノ火花トシテ見ユルモ, コレヲ廻轉鏡ニヨリ撮影セバ, 2 圖ノ如ク一本ノ線ニ非ズシテ  $A$  及ビ  $B$  ヨリ交互ニ, 規則正シク一定時間毎ニ出ヅル若干本ノ火花ヨリナルヲ見ルベシ. 即チ一回ノ火花ハ實ハ若干回起ル電氣的振動ナルヲ知ル. コレヲ最初ニ實證シタルハ「フェツダーゼン」(Feddersen 獨 1858年) ナリ.

今回路ノ蓄電器ノ容量  $C$ , 全抵抗  $R$ , 自己誘導  $L$ ,  $C$  ノ兩極ニアル電荷ヲ (時々刻々變化ス)  $+q, -q$ , 振動スル電流ヲ  $i$  ( $i$  ノ正ノ向ヲ 1 圖ノ如クトル.) トセバ

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + Ri + \frac{q}{C} = 0 \quad (1)$$

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$



1 圖



2 圖

(2)ヲ (1)ニ代入シ

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = 0 \quad (3)$$

更ニ

$$\frac{R}{L} \equiv 2a \quad \frac{1}{CL} \equiv \omega^2 \quad (4)$$

トオカバ, (3) 式ハ

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2a \frac{dq}{dt} + \omega^2 q = 0 \quad (5)$$

トナル. コレ質點ノ自由振動ノ場合ト同一ナル微分方程式ナリ. ソレトコレトノ間ニ次ノ如キ對應關係アルコトヲ知ル.

質點ノ自由振動

電氣回路ノ自由振動

$y$ : 質點ノ變位

$q$ : 蓄電器ノ電荷

$v = \frac{dy}{dt}$ : 質點ノ速度

$i = \frac{dq}{dt}$ : 回路ノ電流

$m$ : 質點ノ質量

$L$ : 回路ノ自己誘導率

$r$ : 抵抗係數

$R$ : 回路ノ電氣抵抗

$\frac{1}{C}$ : (彈力係數ノ逆數)

$C$ : 回路ノ電氣容量

(3) 又ハ (5) 式ノ解ハ

i)  $a^2 < \omega^2$ . 即チ  $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{CL}$ . 電氣抵抗小ナル場合電氣振動起ル.

$$q = Ae^{-at} \sin(\beta t + \varphi) \quad (6)$$

ココニ  $A, \varphi$  ハ積分常數ニシテ, 始原條件ヨリ定メラレ

$$\left. \begin{aligned} a &\equiv \frac{R}{2L} \\ \beta &\equiv \sqrt{\omega^2 - a^2} = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ナリ. 始原條件トシテ  $t=0$  ノトキ  $q=C_0, i = \frac{dq}{dt} = 0$  トセバ,

即チ蓄電器ガ荷電サレ今正ニ放電セントスル時ヲトラバ、(6)式ヨリ

$$\tan \varphi = \frac{\beta}{\alpha}, \quad A = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} q_0 \quad (8)$$

ヲ得。故ニ(6)ハ

$$q = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} q_0 e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi) \quad (9)$$

トナル。

次ニ回路ノ電流ハ(9)ヨリ

$$\begin{aligned} i &= \frac{dq}{dt} = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} q_0 \{-\alpha e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi) + \beta e^{-\alpha t} \cos(\beta t + \varphi)\} \\ &= -\frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} q_0 \frac{\alpha}{\cos \varphi} e^{-\alpha t} \sin \beta t \\ &= -\frac{\alpha^2 + \beta^2}{\beta} q_0 e^{-\alpha t} \sin \beta t \\ &= -I_0 e^{-\alpha t} \sin \beta t \\ \therefore i &= I_0 e^{-\alpha t} \sin(\beta t - \pi) \\ I_0 &= \frac{\alpha^2 + \beta^2}{\beta} q_0 \quad (10) \end{aligned}$$

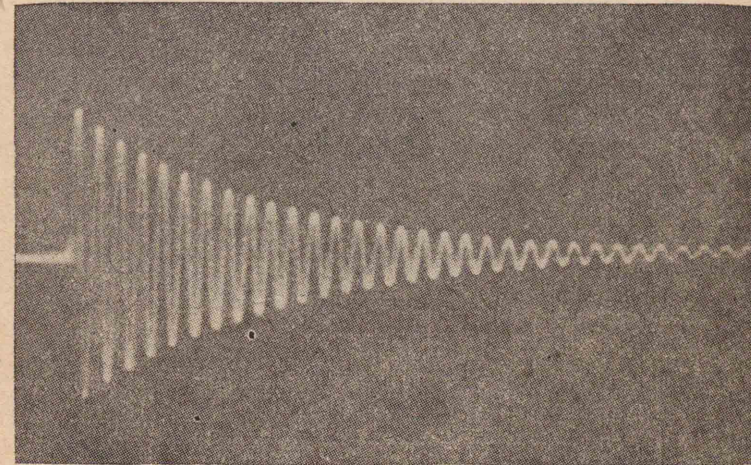
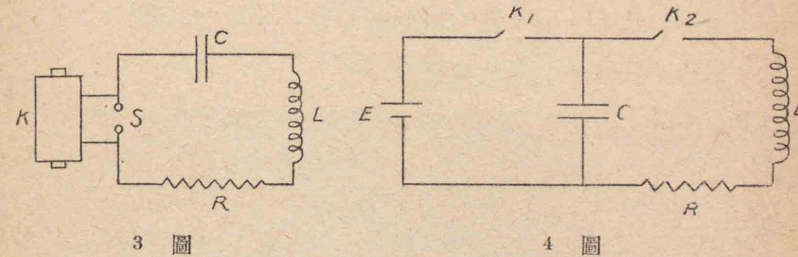
即チ電荷及ビ電路ノ電流ハ、交々正負ニ變化増減シツツ次第ニ衰滅スルヲ知ル。即チ衰滅振動ナリ。コノ  $\alpha$  ヲ衰滅因子ト呼ビ、 $\alpha$  ノ大ナル程衰滅急ナリ。

コノ場合ノ振動數(回路ノ固有振動數)  $n$  ハ

$$\begin{aligned} n &= \frac{\beta}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (11) \\ &= \frac{1}{T} \end{aligned}$$

ナリ。例ヘバ3圖ノ如ク感應「コイル」ニヨリテ火花放電ヲ起スト

キ、感應「コイル」ノ一次線ノ斷續ハ每秒數百回行ハレ、毎回火花放電ガ起ル。此ノ毎回ノ火花放電ノ電流ノ振動状態ハ、恰モ4圖ノ如キ回路ニ於テ、蓄電器ヲ荷電シタル後放電シタル状況ト類似スルモノニシテ、(i)ノ條件充サルルトキハ、回路ノ放電ノ有様ヲ陰極線「オツシログラフ」ニテ撮影シタルモノハ5圖ノ如シ。



5 圖

特ニ  $R=0$  ノトキハ(10)ハ

$$i = \frac{q_0}{\omega CL} \sin(\omega t - \pi) \quad (12)$$

トナリ、不衰滅振動電流ヲ表ハス。

通常ノ電路ニ於テハ抵抗比較的小ニシテ

$$\frac{R_2}{4L_2} \ll \frac{1}{CL}$$

ナレバ

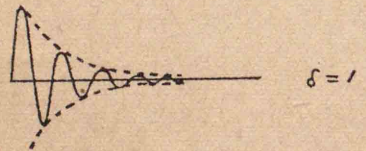
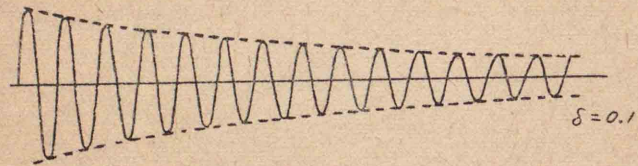
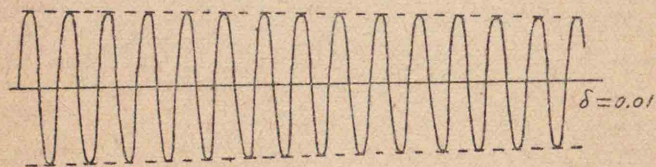
$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}} \quad (13)$$

トシテヨク、故ニコレヲ固有振動數トシテトリ得ベシ。

此ノ場合ノ振動ノ對數減衰度  $\delta$  ハ

$$\begin{aligned} \delta &= aT \\ &= a \cdot \frac{2\pi}{\beta} = a \cdot \frac{2\pi}{\omega} = \frac{R}{2L} \cdot \frac{2\pi}{\omega} = \pi \frac{R}{\omega L} = \frac{R}{2nL} \\ &= \pi R \sqrt{\frac{C}{L}} \end{aligned} \quad (14)$$

ナリ。後 (§4) ニ示ス如ク  $\delta$  ハ共振ノ尖鋭度ト逆比例ス。



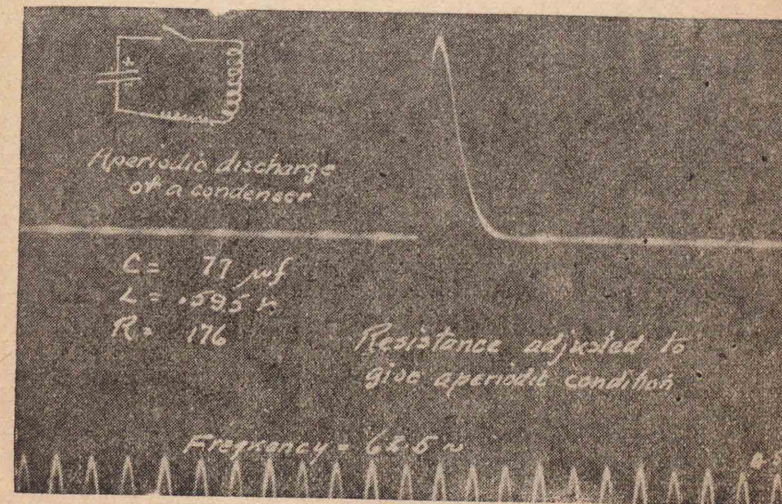
6 圖

尙ホ、對數減衰度ノ種々ノ値ニ對スル電氣振動ノ有様ヲ示サバ  
6 圖ノ如シ。

(ii)  $a^2 > \omega^2$  即チ  $\frac{R^2}{4L^2} > \frac{1}{CL}$  及ビ

(iii)  $a^2 = \omega^2$  即チ  $\frac{R^2}{4L^2} = \frac{1}{CL}$  ナル場合ニハ、振動ハ起リ得ズシ

テ、コノ回路ニハ放電ガ行ハルモノナリ。カカル場合ノ「オツシ  
シログラフ」寫眞ヲ示サバ7圖ノ如シ。



7 圖

### 問 題

1. 電氣容量  $0.333 \mu F$  ノ蓄電器ヲ  $100$ 「ボルト」ニ荷電シタル後、  
イ  $0.145$ 「オーム」ノ抵抗ヲ有スル  $0.013$ 「ヘンリー」ノ自己誘導「コイル」ヲ通ジテ放電スルトキ、  
ロ  $300000$ 「オーム」ノ抵抗ヲ有スル  $10$ 「ミリヘンリー」ノ自己誘導ノ「コイル」ヲ通ジテ放電スルトキ、

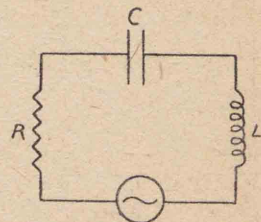
ソレゾレ振動的ナルヤ否ヤヲ檢シ, 振動的ナラバソレノ週期,  $I_0$  及ビ對數減衰度ヲ求メヨ.

答

$$I \quad T = 4.13 \times 10^{-4} \text{秒}, \quad i_m = 0.55 \text{「アンペア」}, \quad \delta = 0.0023.$$

## 2. 強制振動及ビ共振

本章第2節ニ述ベシ如ク, 電氣ノ自由振動ト質點ノ自由振動トハ互ニ相似シ, 自己誘導率ハ質量ニ, 電氣容量ハ彈力係數ノ逆數ニ, 電氣抵抗ハ抵抗係數ニソレゾレ對應シ, 數式關係モ同型ナリ. 質點ノ場合ニ外圍ヨリ週期的外力作用スルトキ強制振動ヲ起スト同様ニ, 電氣回路ノ場合(8圖)ニ於テモ, 外圍ヨリ電氣の外力即チ起電力作用セバ, 強制電氣振動ヲ起スコト亦豫メ推定シ得ベシ.



$$e = E_m \sin \omega t$$

8 圖

今外圍ヨリ加ハル電氣的週期力(交番電壓)ヲ

$$e = E_m \sin \omega t$$

トセバ, 第1節(3)式ノ右邊ヲ  $e$  ニ等シト置キ得. 即チ

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{q}{C} = E_m \sin \omega t \quad (15)$$

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (16)$$

但シ, 蓄電器ノ電荷ガ増加スル場合ノ電流ノ向ヲ正トセリ. 故ニ

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2a \frac{dq}{dt} + \omega^2 q = \frac{E_m}{L} \sin \omega t \quad (17)$$

ヲ得. ココニ

$$a \equiv \frac{R}{2L},$$

$$\omega^2 \equiv \frac{1}{CL}$$

ト置キタリ. コノ式ハ力學的強制振動ノ式ト同型ナリ. 従ツテ同様ニ電氣強制振動始マリテヨリ相當長時間ノ後ニハ, 外部ノ電壓ト同週期ノ非減衰振動ノミガ殘ル. 即チ

$$q = \frac{E_m/L}{\sqrt{(\omega^2 - \omega'^2)^2 + 4a^2\omega'^2}} \sin(\omega't - \delta), \quad (18)$$

$$\tan \delta = \frac{2a\omega'}{\omega^2 - \omega'^2}.$$

コレヨリ電流ハ

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{E_m \omega'/L}{\sqrt{(\omega^2 - \omega'^2)^2 + 4a^2\omega'^2}} \cos(\omega't - \delta)$$

$$= \frac{E_m \omega'/L}{\sqrt{(\omega^2 - \omega'^2)^2 + 4a^2\omega'^2}} \sin\left(\omega't - \delta + \frac{\pi}{2}\right).$$

$$\therefore i = \frac{E_m \omega'/L}{\sqrt{(\omega^2 - \omega'^2)^2 + 4a^2\omega'^2}} \sin(\omega't - \varphi) \equiv I \sin(\omega't - \varphi). \quad (19)$$

但シ  $\varphi \equiv \delta - \frac{\pi}{2}$  ト置ク.

$I_0$  ト  $\omega'$  トノ關係ヲ圖示セバ9圖ノ如シ. カカル曲線ヲ共振曲線ト名ヅク.

力學的強制振動ニ於ケル共振ノ條件(變位  $y$  ノ振幅最大)ハ, 電氣振動ニ於ケル電氣量  $q$  ノ振幅[(18式)]ノ最大ナル如キ條件ニ對應ス. 然レドモ, 電氣振動ニ於テハ, 電流ノ振幅ガ最大トナル如



キ條件ヲ回路ノ共振(同調トモ云フ)ノ條件トシテ取ルモノナレバ, 速度ノ振幅  $v_m$  ガ最大ナル如キ(「エネルギー」ガ最大ナル)共振ノ條件ニ對應ス。

從ツテ, 力學的強制振動ト全ク同様ニシテ, 上ノ(19)式ヨリ回路ガ共振スル條件トシテ

$$\omega' = \omega, \tan \varphi = 0 \quad (20)$$

ヲ得。(9圖参照)

即チ, 強制電壓ノ週期ガ, 抵抗ナキ( $C, L$ ノミノ)回路ノ自由振動ノ週期ト一致スルトキ, 電流  $i$ ノ振幅  $I_0$ ガ最大トナル。又コノトキ  $i$ ノ位相ハ強制電壓ノソレト一致ス。

(17)ノ次ノ式ヲ(19)式ニ代入セバ, 電流  $i$ ハ

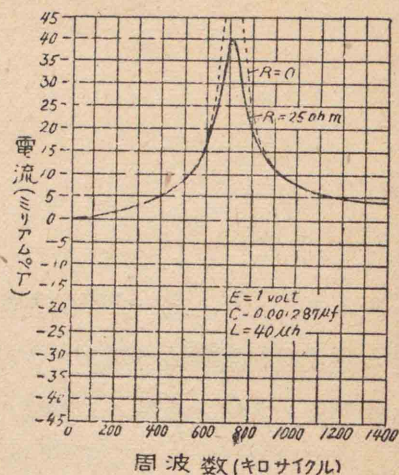
$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega' L - \frac{1}{\omega' C}\right)^2}} \sin(\omega' t - \varphi) \quad (21)$$

$$\tan \varphi = -\cot \delta = \frac{\omega' L - \frac{1}{\omega' C}}{R}$$

トナリ, 共振ノ條件(20)ハ

$$\omega' = \omega = \frac{1}{\sqrt{CL}} \quad \text{從ツテ} \quad \tan \varphi = \frac{\omega' L - \frac{1}{\omega' C}}{R} = 0 \quad \therefore \varphi = 0 \quad (22)$$

トナル。



9 圖

コレ前章ニ述ベシ關係式ト同一ナルコト勿論ナリ。

即チ強制電壓ノ週期  $T'$

$$= \text{抵抗ナキトキノ回路ノ固有週期} \quad T_0 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{CL}.$$

又

強制電壓ノ振動數  $n'$

$$= \text{抵抗ナキトキノ回路ノ固有振動數} \quad n_0$$

$$= \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}.$$

### 3. 共振ノ尖銳度

前節末尾ニ述ベシ如ク共振ノ條件ハ振動電路ノ  $L, C$  及ビ作用動電力ノ周波數  $n' = \frac{\omega'}{2\pi}$ ノ間ニ

$$n' = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

ナル關係成立スルコトナリ。  $n', C, L$  三者ノウチニツヲ不變ニ保チ, 他ノ一ツヲ變ジテ, 共振狀態ヨリ漸次外レシメ, ソレト電流ノ値トノ關係ヲ知ルコトヲ得。10圖ハ電源ノ周波數  $n'$ ヲ一定ニ保チ, 電路ノ電氣容量  $C$ ノミヲ漸次變化セシムルトキノ一例ナリ。但シ縦軸ニハ電流ノ實効値  $I$ ノ代リニ便宜ノタメ  $I^2$ ヲ取レリ。  $A, B, C$ ノ三曲線ハ電路ノ電氣抵抗ガソレゾレ 4.4, 9.4, 14.4, 「オーム」ノモノヲ示セリ。カカル曲線ヲモ共振曲線トイフ。

共振曲線ガ共振點ニ於テ尖銳ナルカ鈍ナルカラ示スモノヲ尖銳度トイヒ,  $Q = \frac{\omega L_0}{R}$ ヲ以テ定義ス。即チ

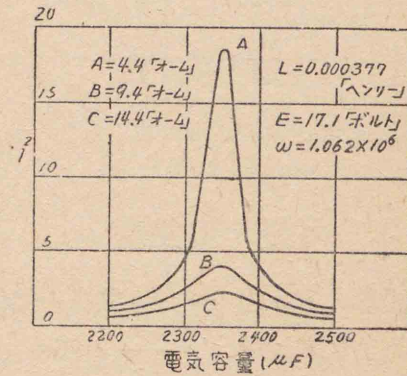
$$Q = \frac{\omega L_0}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \frac{\pi}{\delta}, \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{C_0 L_0}} \quad (23)$$

$\delta$ : 對數減衰度

ナリ。ココニ  $L_0, C_0$  ハ共振状態ノ電氣容量及ビ自己誘導率ナリ。即チ尖鋭度ハ  $\delta$  ニ逆比例ス。換言セバ  $\delta$  ノ小ナルトキ共振ハ尖鋭ナリ。電路ノ自己誘導率  $L$  ハ一般ニ固定セル場合多キヲ以テ、 $\delta$  ノ小ナルコトハ一般ニ抵抗ノ小ナルコトヲ意味ス。

同調ニヨリ受波スル無線電信電話ニ於テ最モ留意スベキハ共振ノ鋭鈍ナリ。何トナレバ平鈍ナレバ混信ノ患ヲ免ガレザレバナリ。

次ニ共振ノ尖鋭度トシテ  $\frac{\omega L_0}{R}$  ヲ選ブ理由ヲ説明スベシ。



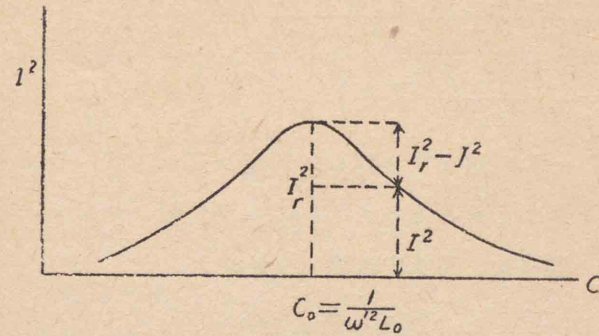
10 圖

實際ニ多ク出會フ場合ハ外部ヨリノ起電力ノ周波數  $\frac{\omega'}{2\pi}$  モ電路ノ  $L$  モ一定ナルトキ、可變蓄電器ニヨリテ電氣容量  $C$  ヲ變化セシメテ同調ヲ得ントスルモノナリ。故ニ10圖ノ共振曲線ニ就キテ考察スベシ。

共振ノ尖鋭度ハ11圖ニ於テ見ラルル如ク

$$\frac{I_r^2 - I^2}{I^2}, \quad \begin{array}{l} I_r: \text{共振電流ノ實効値,} \\ I: \text{共振ヨリ外レシ電流ノ實効値} \end{array}$$

ヲ以テ目安トナスコトヲ得ベシ。即チコレハ共振ヨリ外レシトキノ電流ノ減少ノ割合ヲ示ス。換言セバ、共振曲線ノ共振點ノ附近



11 圖

ノ勾配ガ急ナルカ緩ナルカノ割合ヲ示スモノナレバナリ。

今電流  $I$  ナルトキノ電氣容量ヲ  $C$ 、自己誘導ハ固定シテ常ニ  $L_0$ 、共振ノトキ  $\frac{1}{C_0 L_0} = \omega^2$  トオク。外部ヨリノ起電力即チ強制電壓ノ實効値ヲ  $E$  トシ、ソノ角周波數ヲ  $\omega'$  トセバ、「インピーダンス」ハ  $\sqrt{R^2 + \left(\omega' L - \frac{1}{\omega' C}\right)^2}$  ナル故

$$I_r = \frac{E}{R}, \quad I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega' L_0 - \frac{1}{\omega' C}\right)^2}}$$

ニシテ、

$$\begin{aligned} \frac{I_r^2 - I^2}{I^2} &= \frac{I_r^2}{I^2} - 1 \\ &= \frac{R^2 + \left(\omega' L_0 - \frac{1}{\omega' C}\right)^2}{R^2} - 1 \\ &= \frac{1}{R^2} \left(\omega' L_0 - \frac{1}{\omega' C}\right)^2. \end{aligned}$$

共振セルトキハ  $\omega' = \omega = \frac{1}{\sqrt{C_0 L_0}}$  ナレバ、

$$\begin{aligned} \frac{I_r^2 - I^2}{I} &= \frac{1}{R^2} \left( \frac{1}{\omega C_0} - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \\ &= \frac{1}{R^2 \omega^2 C_0^2} \left( \frac{C - C_0}{C} \right)^2 \end{aligned} \quad (24)$$

$(C - C_0)/C$  は共振點ヨリノ外レノ程度ヲ示スト考ヘラルル故ニ、コレヲ等シクトリタルトキノ  $\frac{I_r^2 - I^2}{I^2}$  ヲ比較スルコトニヨリテ尖銳度ヲ定メ得ベシ。即チ尖銳度  $Q$  トシテ

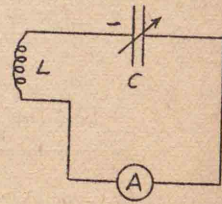
$$Q = \frac{1}{R\omega C_0} = \frac{\omega L_0}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \frac{\pi}{\delta}$$

ヲ選ブテ適當ナリトシ得ベシ。

$L$  及ビ  $C$  ヲ一定ニ保チ、 $\omega'$  ヲ變化スルトキモ、尖銳度  $Q$  トシテ、同ジク  $\frac{\omega L_0}{R}$  ヲ選ブコトトス。

#### 4. 測波器(波長計)

電氣振動ノ周波數ヲ定ムルニハ測波器(波長計)ヲ用フ。測波器ト稱スル所以ハ、次章ニ述ブル如ク電氣振動ニヨリ電磁波ヲ生ズルヲ以テ、結局電氣振動ノ周波數ヲ定ムルコトハ、ソレニヨル電波ノ波長ヲ測定スルコトトナルガ故ナリ。測波器ノ簡單ナルモノハ、固定自己誘導  $L$ 、可變蓄電器  $C$  ヲ有スル振動電路ニ適當ナル檢流計(例ヘバ高周波用「ミリ・アンメーター」)ヲ裝置セルモノナリ。(12圖)



12 圖

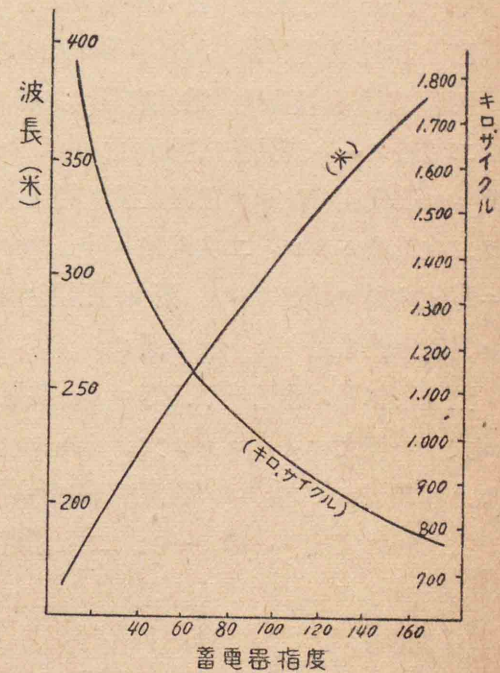
今  $L$  ニ外部ヨリ起電力(強制電壓)ノ作用セルトキ、 $C$  ヲ適當

ニ變化シテ「メーター」 $A$  ノフレヲ最大ナラシムレバ、コレ共振ナレバ、ソノトキノ  $L$  及ビ  $C$  ノ値ヨリ外部ヨリノ起電力ノ周波數  $n'$  ヲ知り得ルナリ。

即チ

$$n' = n = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

尙計算スル代リニ豫メ波長計ノ電氣容量  $C$  ノ値ト波長計ノ固有振動數  $n$ 、又ハ電氣振動ノ  $n$  ニ相當スル周波數  $n$  ヲモツ電磁波ノ波長  $\lambda$  ト  $C$  ノ關係曲線(13圖)ヲ書キ置キテ、コレヲ使用スルコトヲ得。但シ真空中ノ電磁波ノ傳播速度ハ  $c = 3 \times 10^{10} \text{cm/}$  秒ニシテ  $c = n\lambda$  ナル關係アレバコレヲ使用ス。



13 圖

尙ホ三極真空管ヲ使用シ、唸リ受信法ヲ應用セル測波器アリ。ソノ原理ハ無線理論ニ於テ知ルベシ。

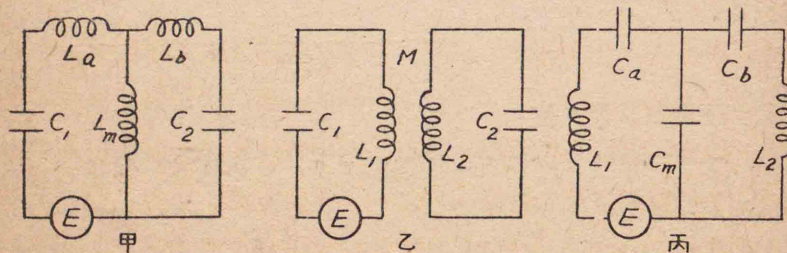
### 5. 聯 接 電 路

二ツノ振動電路ガソレノ一部ヲ共通ニ有スルカ、或ハ磁場又ハ電場ニヨリテ連結セララルトキハ、コノ二電路ハ聯接又ハ結合セリトイフ。聯接ノ仕方ニ種々アリ。次ニ最モ普通ナル二三ノ例ヲ示サン(14圖)。

- 甲 直接(誘導)聯接 自己誘導ヲ共有ス。
- 乙 (相互)誘導聯接 相互誘導ヲ及ボス。
- 丙 (直接)容量聯接 電氣容量ヲ共有ス。

二電路ノ一ニ高周波交番動電力  $E$  ヲ作用セシムレバ、他ノ電路ニモ高周波交流即チ電氣振動ヲ誘起ス。前ヲ一次電路、後ヲ二次電路トイフ。二次電路ニ誘起サレシ電流ハ更ニ復一次電路ニ電氣振動ヲ誘起スベク、兩々相作用スル結果、實際、各電路ニ生ズル電流ハ他電路ナキトキト同ジカラズ。コレ聯接電路ノ特性ナリ。

兩電路相互ノ作用ハ甲丙等ニテハ共通部分ノ「インピーダンス」が大ナル程大ナリ。コレが大ナルトキハ密聯接トイヒ、小ナルトキハ疎聯接トイフ。コノ程度ヲ示スニ聯接係數ヲ用フ。聯接係數ヲ次ノ如ク定義ス。即チ一次、二次兩電路ガ共通ノ「インピーダ



14 圖

ンス」 $Z_m$  ニヨリテ結合セラレタリトセバ、兩電路ニ共通ナル「リ

アクタンス」 $X_m$  (即チ  $Z_m$  中ニ含マルル「リアクタンス」 $X_m$ ) ニ對スル、 $X_m$  ト同性ナル兩回路ノ全「リアクタンス」(即チ一次電路ニテハ  $X_1 + X_m$ 、二次電路ニテハ  $X_2 + X_m$ ) ノ幾何平均ノ比ヲ聯接係數又ハ結合度ト呼ブ。即チ

$$k = \frac{X_m}{\sqrt{(X_1 + X_m)(X_2 + X_m)}} \quad (25)$$

但シ  $X_1, X_2$  ハ夫々一次及ビ二次電路ノミニアル (兩電路ニ共通ナラザル)「リアクタンス」ヲ表ハスモノトス。14 圖甲乙丙ニ對スル聯接係數ハ次ノ如シ。

$$\text{甲} \quad k = \frac{L_m}{\sqrt{(L_a + L_m)(L_b + L_m)}}, \quad (26)$$

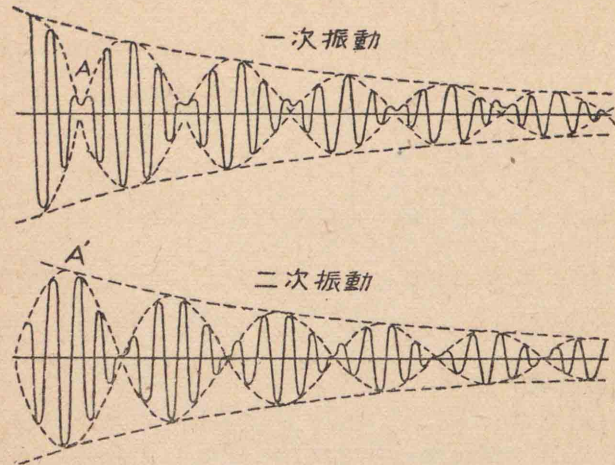
$$\text{乙} \quad k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}, \quad (27)$$

$$\text{丙} \quad k = \sqrt{\frac{C_a C_b}{(C_a + C_m)(C_b + C_m)}}. \quad (28)$$

〔注意〕 (25) ノ定義ニヨリテ明カナル如ク  $k$  ハ 0 ヨリ 1 ノ間ニ變化ス。而シテ  $k$  小ナラバ聯接ハ疎ニ、大ナラバ密ナリ。

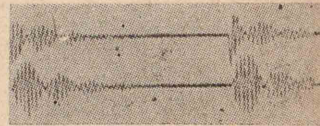
### 6. 聯 接 電 路 ノ 自 由 振 動

誘導聯接又ハ直接聯接ノ場合、一方ノ電路ニ振動電流アルトキハ、二次電路ニ振動電流ヲ誘起シ、コレガ復一次電路ニ振動ヲ誘起スル結果、兩電路ガ單獨ニ存在セシ場合ト異ナル振動週期ヲ有スル二ツノ振動電流ヲ發生シ、結局 唸リ電流トナル。而シテソレラノ位相差ハ  $90^\circ$  ニシテ、一方ノ唸リ電流ガ最大トナリシトキハ、他方ハ零トナル。尙抵抗アルトキハ唸リノ振幅ハ次第ニ減ジ



15 圖 (a)

漸次衰滅ス。コレ聯接電路ノ自由振動ナリ。15圖 a ハソノ振動ハ略圖ヲ、15圖 b ハ「オッシログラフ」ニヨリテ撮リタル圖ヲ示ス。



15 圖 (b)

今特ニ兩電路ノ固有週期 (單獨ニ存在スルトキノ) ガ相等シキトキハ唸リヲ生ズルニツノ振動ノ週期ハ次ノ如シ。

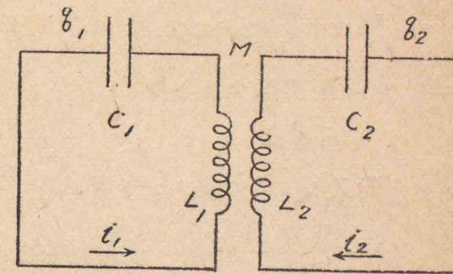
$$T' = T_0 \sqrt{1+k}, \tag{29}$$

$$T'' = T_0 \sqrt{1-k}.$$

$T_0$  ハ單獨電路ノ固有週期ニシテ、 $k$  ハ聯接係數ナリ。コノ  $T'$ 、 $T''$  ヲカカル聯接電路ノ固有週期トス。

聯接ヲ次第ニ疎トナストキハ、 $T'$  ト  $T''$  トハ次第ニ接近シ、遂ニ  $k=0$  ニ於テ  $T'=T''=T_0$  トナル。又聯接次第ニ密トナリ、 $k=1$  トナラバ  $T'=\sqrt{2}T_0$  トナリ、 $T''=0$  トナル。コノニツノ場合ニハ兩電路ニハ唯一種ノ振動ノミ起ル。

次ニ、聯接セル兩電路ノ何レニモ、一般ニ、二種ノ振動數即チ二種ノ週期ノ振動アルコトヲ示サントス。



16 圖

16圖ノ如キ聯接電路アリトス。抵抗ハ無視シ得

ルモノトセバ、各電路ニ對スル電壓ノ關係式ハ次ノ如シ。

$$\left. \begin{aligned} L_1 \frac{di_1}{dt} + \frac{q_1}{C_1} + M \frac{di_2}{dt} &= 0, \quad i_1 = \frac{dq_1}{dt} \\ L_2 \frac{di_2}{dt} + \frac{q_2}{C_2} + M \frac{di_1}{dt} &= 0, \quad i_2 = \frac{dq_2}{dt} \end{aligned} \right\} \tag{30}$$

$M$  ハ相互誘導率ナリ。又一次(又ハ二次)電路ニ對シテハ二次(又ハ一次)電路ノ電流ノ變化ノ割合ニ比例スル動電力ガ作用スルナリ。上式ヲ變形セバ

$$L_1 \frac{d^2 q_1}{dt^2} + \frac{q_1}{C_1} + M \frac{d^2 q_2}{dt^2} = 0. \tag{a}$$

$$L_2 \frac{d^2 q_2}{dt^2} + \frac{q_2}{C_2} + M \frac{d^2 q_1}{dt^2} = 0. \tag{b}$$

コノ聯立方程式ヲ解クニハ、例ヘバ  $q_2$  ヲ消去シテ  $q_1$  ノミニ關スル式トス。先ヅ (a)  $\times L_2 - (b) \times M$  ヲ  $L_1 L_2$  ニテ除セバ

$$\frac{d^2 q_1}{dt^2} \left( 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} \right) + \frac{1}{C_1 L_1} q_1 - \frac{M}{L_1 L_2 C_2} q_2 = 0.$$

コレヲ二度微分セバ

$$\frac{d^4 q_1}{dt^4} \left( 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} \right) + \frac{1}{C_1 L_1} \frac{d^2 q_1}{dt^2} - \frac{M}{L_1 L_2 C_2} \frac{d^2 q_2}{dt^2} = 0.$$

コノ最後ノ項ニ (a) 式ヲ代入シテヲ消去セバ

$$\frac{d^4 q_1}{dt^4} \left(1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}\right) + \frac{d^2 q_1}{dt^2} \left(\frac{1}{C_1 L_1} + \frac{1}{C_2 L_2}\right) + \frac{1}{C_1 L_1 C_2 L_2} q_1 = 0.$$

コノ  $q_1$  ハ振動的ナリトシ

$$q_1 = q_0 \sin \omega t$$

トシテ代入シ  $\omega$  ヲ求メントス.

$$\frac{d^2 q_1}{dt^2} = -\omega^2 q_1, \quad \frac{d^4 q_1}{dt^4} = \omega^4 q_1$$

ナル故

$$\omega^4 \left(1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}\right) - \omega^2 \left(\frac{1}{C_1 L_1} + \frac{1}{C_2 L_2}\right) + \frac{1}{C_1 L_1 C_2 L_2} = 0.$$

$$\text{然ルニ } \omega = 2\pi \frac{1}{T}, \quad \frac{1}{C_1 L_1} = \omega_1^2 = 4\pi^2 \frac{1}{T_1^2}, \quad \frac{1}{C_2 L_2} = 4\pi^2 \frac{1}{T_2^2}.$$

ソレ故次ノ如ク變形ス.

$$(1 - k^2) - T^2 \left(\frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2}\right) + T^4 \frac{1}{T_1^2 T_2^2} = 0.$$

$$\text{即チ } T^4 - T^2(T_1^2 + T_2^2) + (1 - k^2)T_1^2 T_2^2 = 0.$$

$$\text{故ニ } T_2 = \frac{1}{2} \left[ (T_1^2 + T_2^2) \pm \sqrt{(T_1^2 - T_2^2)^2 + 4k^2 T_1^2 T_2^2} \right].$$

$$\left. \begin{aligned} \text{故ニ } T' &= \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{T_1^2 + T_2^2} + \sqrt{(T_1^2 - T_2^2)^2 + 4k^2 T_1^2 T_2^2}} \\ T'' &= \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{T_1^2 + T_2^2} - \sqrt{(T_1^2 - T_2^2)^2 + 4k^2 T_1^2 T_2^2}} \end{aligned} \right\} (31)$$

$T_1 = T_2 = T_0$  ナル場合多キヲ以テソノ場合ヲ考フレバ

$$\left. \begin{aligned} T' &= T_0 \sqrt{1+k} \\ T'' &= T_0 \sqrt{1-k} \end{aligned} \right\} (29)$$

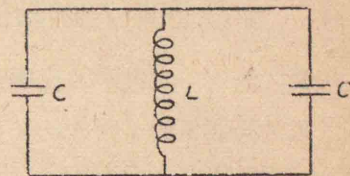
同様ニシテ  $q_2$  ニ對シテ解クモ (31) 式ト同一ノ結果ヲ得ベシ.

### 問題

1. 17圖ノ電路ハ  $C_1 = C_2, L_1 = L_2$

$= M$  ナル場合ナリ. コレヨリ直

$$\text{接ニ } T' = \sqrt{2} T, \quad \frac{1}{T'} = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$



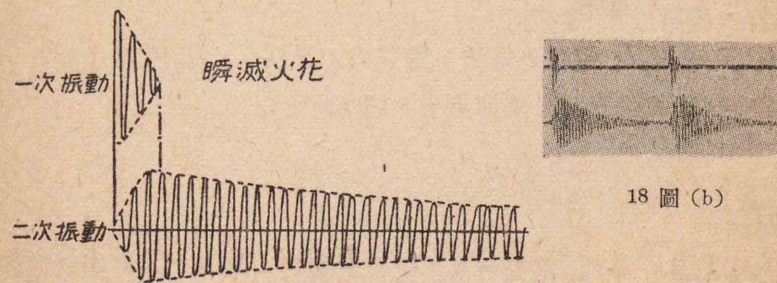
17 圖

ナルコトヲ求メヨ.

解 電路ハ  $L$  ト  $2C$  トノ單一電路ニ考ヘ直シ得ル故.

$$\frac{1}{T'} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2CL}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{T}. \quad \text{故ニ } T' = \sqrt{2} T \text{ ヲ得.}$$

2. 15圖 a へ於テ二次電流一次電流ノ消長スルハ一次ヨリ二次へ、次ニハ二次ヨリ一次へ「エネルギー」ガ移轉スルタメナリ. 然ラバ一度一次ヨリ二次へ「エネルギー」移リタル後、二次ヨリ一次へ戻ラザル如ク一次電路ヲ瞬間的ニ斷ツトキハ如何ナル模様トナルカ想像セヨ. コノ方法ハ稍永續スル振動電流ヲ要求スルトキ用フ. 瞬滅火花法ハソレノ例ニシテ測深儀ニ用ヒアリ. (無線理論參照)



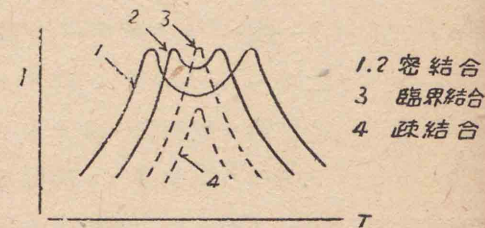
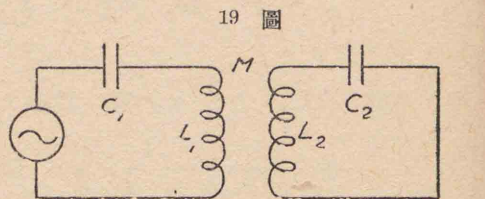
18 圖 (a)

ソノ電氣振動ノ狀況ハ 18 圖ノ如シ. ソノ a ハ略圖ヲ, b ハ「オシログラフ」寫真ヲ示ス.

7. 聯接電路ノ強制振動

19圖ノ如ク一次電路ニ交番動力作用セバ、コノ聯接電路全體ハ電氣的強制振動ヲ受ク。ソレノ周波數ハ勿論原動力ノ周波數ニ等シ。聯接電路ノ自由

振動週期ハ前節ニ述べシ如ク  $T'$ ,  $T''$  ノニアリ。故ニ原動力ノ週期ヲ變化シツツ電流ヲ見ルニ二度極大トナル。ソノ週期ハ  $T'$ ,  $T''$  ナリ。コレ即チ聯接電路ノ共振ナリ。聯接ヲ疎トナサバ共振點ハ一ヶ所トナル。20圖ハ



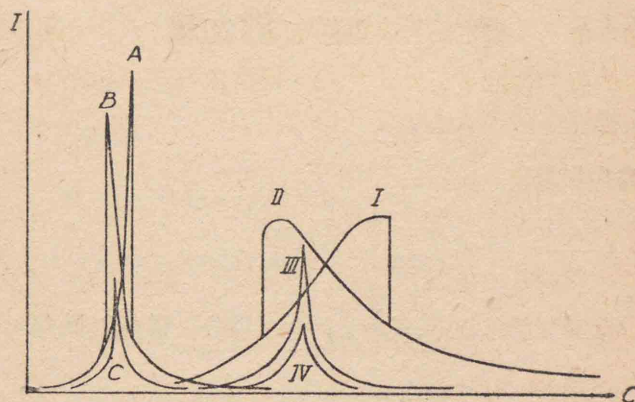
20 圖

$C_1L_1$  又ハ  $C_2L_2$  電路ノ電流ト動力ノ週期トノ關係ヲ示ス。コノ場合ノ數式的説明ハ難解ナルヲ以テ省ク。

[注意]

上述ノ理ニヨリ、共振ニヨル波長計使用ニ際シテハ原振動電路ト波長計トヲアマリ接近スベカラズ。

波長計ノ線輪ト原振動電路ノ線輪トヲ種々ノ距離ニ置キテレハ共振曲線ヲ示サバ21圖ノ如シ (I, II, III, IV ハ番號順ニ兩線輪ノ距離大ナリ。A, B ハ C ヨリモ兩線輪ノ聯接密ナリ)。故ニコノ波長測定ニ於テハ適當ナル疎結合トナスヲ要スルコトヲ知り得ベ



21 圖

## 要 項 (第九章)

## 電氣振動

## [i] 自由振動

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{q}{C} = 0, \quad i = \frac{dq}{dt}.$$

(i)  $\alpha^2 < \omega^2$ , 即チ,  $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{CL}$  ナル場合. 電氣振動起ル.

$$q = Ae^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi),$$

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \beta = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

始原條件トシテ  $t=0$ ,  $q=c_0$ ,  $i = \frac{dq}{dt} = 0$  トセバ, 電荷ハ,

$$q = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} q_0 e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi), \quad \tan \varphi = \frac{\beta}{\alpha}.$$

電流ハ,

$$i = \frac{\alpha^2 + \beta^2}{\beta} q_0 e^{-\alpha t} \sin(\beta t - \pi).$$

振動數(周波數)ハ

$$n = \frac{\beta}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}} = \frac{1}{T}.$$

$$\frac{R^2}{4L^2} \ll \frac{1}{CL} \text{ノトキ} \quad n \doteq \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

對數減衰度ハ

$$\delta = \alpha T = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

(ii)  $\alpha^2 > \omega^2$ , 即チ,  $\frac{R^2}{4L^2} > \frac{1}{CL}$  及ビ

(iii)  $\alpha^2 = \omega^2$ , 即チ,  $\frac{R^2}{4L^2} = \frac{1}{CL}$  ナルトキニハ電氣振動起ラ

ズシテ, 放電行ハル.

## [ii] 強制振動

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{q}{C} = E_m \sin \omega' t, \quad i = \frac{dq}{dt},$$

振動始マリテ相當長時間ノ後ニハ, 電荷ハ,

$$q = \frac{E_m L}{\sqrt{(\omega^2 - \omega'^2)^2 + 4\alpha^2 \omega'^2}} \sin(\omega' t - \delta),$$

$$\tan \delta = \frac{2\alpha \omega'}{\omega^2 - \omega'^2}.$$

電流ハ,

$$i = \frac{E_m \omega' / L}{\sqrt{(\omega^2 - \omega'^2)^2 + 4\alpha^2 \omega'^2}} \sin(\omega' t - \varphi),$$

$$\varphi = \delta - \frac{\pi}{2}.$$

共振 ( $i$  ガ最大トナル) ノ條件ハ

$$\omega' = \omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}, \quad \tan \varphi = 0.$$

$C, L, R$  ガ直列ニアル回路ノ共振ノ尖鋭度  $Q$  ハ

$$Q = \frac{\omega L_0}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \frac{\pi}{\delta}$$

ヲ以テ定義セラル.

共振其ノ他ノ現象ヲ利用シテ, 電氣振動ノ周波數ヲ定ムル装置ヲ波長計(測波器又ハ鑑査器)ト稱ス.



聯接電路ノ聯接ノ度合ヲ示スニ聯接係數  $k$  ヲ用フ。  $k$  ハ次ノ如ク定義ス。即チ、

$$k = \frac{X_m}{\sqrt{(X_1 + X_m)(X_2 + X_m)}}$$

但シ、  $X_m$  ハ共通ナル「リアクタンス」ニシテ、  $X_1, X_2$  ハ夫々一次及ビ二次電路ノミニアリ、而モ  $X_m$  ト同種類ナル「リアクタンス」(共通ノモノヲ除ク)ナリ。

固有週期  $T_1, T_2$  ナル兩電路ガ聯接シテ自由振動ヲナストキハ、各電路ニ夫々二種ノ週期  $T', T''$  ナル振動、即チ、唸リヲ生ズ。

$$T', T'' = \sqrt{\frac{1}{2}} \sqrt{T_1^2 + T_2^2 \pm \sqrt{(T_1^2 - T_2^2)^2 + 4k^2 T_1^2 T_2^2}}$$

特ニ、  $T_1 = T_2 = T_0$  ナルトキハ

$$T' = T_0 \sqrt{1+k},$$

$$T'' = T_0 \sqrt{1-k}.$$

聯接電路ノ一ニ振動動電力ヲ與ヘテ他ニ強制振動ヲ起シ、結局聯接電路ガ強制振動スルトキ、兩者ノ聯接ガ密ナルトキハ兩回路ニ夫々二種ノ振動數(周波數)、從ヒテ、二種ノ週期ニ對シテ共振ス。コレ波長計ニヨル周波數測定ニ於テ注意スベキ事項ナリ。

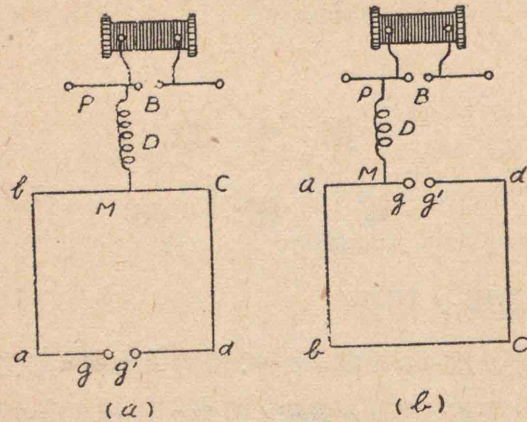
## 第十 章

### 電 磁 波

#### 1. 電磁場ノ傳播

前章迄ニ於テ述ベタル處ニテハ、電流ガ如何ニ變化スルモ、一續キノ導線ノ各部ニ於ケル電流ノ強サハ同一時刻ニ於テ同一ナリトシ、又或時刻ニ於ケル電場ノ分布ハ、常ニ其ノ時刻ニ於ケル電荷ノ分布ヨリ定マルモノト考ヘタリ。コレヲ換言スレバ、電氣作用ガ無限大ノ速サニテ傳播ス(即チ電場ノ傳播ニハ時間ヲ要セズ)ト假定シタルナリ。然レドモ、「フェラデー」ノ考ヘニ從ヒテ電磁場ヲ恰カモ歪ミヲ受ケタル彈性媒質ニ類似スルモノト考フレバ、電場モ亦歪カト同様ニ或ル一定ノ速サニテ傳播スト推測シ得ベシ。而シテ、事實、次ノ如キ實驗ニヨリテ電磁場ノ變化ガ傳達スルニ時間ヲ要スルコトヲ證明シ得ベシ。

火花間隙  $gg'$  ヲ有スル大ナル矩形回路 ( $gabcg'$ ) ヲ作り此ノ回路中ノ一點  $M$  ト、振動シアル「ヘルツ」(Hertz) ノ振動器ノ一點  $P$  トヲ接續ス。コノ際點  $M$  ガ 1 圖 (a) ノ如ク  $g$  及ビ  $g'$  ヲリ導線ニ沿ヒテ等距離ニアラバ  $gg'$  ニハ火花ヲ生ゼズ。コレニ對シ、1 圖 (b) ノ如ク  $M$  ノ  $g$  及ビ  $g'$  ヲリノ距離ガ甚シク異ナルトキハ強キ火花  $gg'$  間ニ生ズ。コレハ電場ガ傳ルニ要スル時間ガ有限ナリト考フレバ説明シ得ベシ。即チ、(a) ノ場合ハ  $P$  點ノ電位ガ導線中ヲ  $g, g'$  迄傳達スルニ要スル時間ガ相等シク、從ヒテ  $g, g$



1 圖

間ニ電位差ヲ生ゼザルモ、(b)ノ場合ニハ P 點ノ電位ガ g, g' ニ傳達スル迄ノ時間ニ差異アリ、而モ P 點ノ電位ハ極メテ速カニ變化シアル爲、g, g' 間ノ電位ガ異ナル故ニ火花生ズ。

導體ノ各部分ノ電流ハソノ部分ノ電場ニヨルト考ヘラルレバ、上ノ實驗ノ如ク、速カニ變化スル電場ノ場合ニハ、同一時刻ニ於ケル各部分ノ電流ノ強サ異ナリ。コレニ對シ、前章迄ニ述ベシ如キ電流ノ場合ニハ電場ノ變化餘リ速カナラズ、從ヒテ、一續キノ導線各部ノ電流ノ強サハ同時刻ニ於テ同一強サヲ有スト考ヘラル。カカル場合ニソノ電流ヲ準定常電流ト名ヅク。

電場ガ傳播スルニ時間ヲ要スルト同様ニシテ、磁場ノ傳播モ亦有限ノ速サニテ行ハルルコトヲ想像シ得ベシ。

## 2. 變位電流

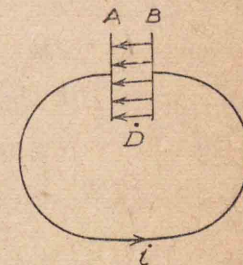
媒質内ノ電場ノ傳播ハ「マクスウェル」(James Clerk Maxwell)ニ

ヨリテ導入セラレシ變位電流ナルモノヲ考フル事ニヨリテ説明シ得ラルルモノナリ。故ニ先ヅ變位電流ニツキテ述ベン。

「マクスウェル」ニ從ヒテ「ビオ・サバル」ノ法則及ビ「ファラデー」ノ電磁感應ノ法則ヲ微分方程式ノ形ニ書キ換フル時ハ、此等ノ法則ガ一般ニ成立スル爲ニハ、如何ナル場合ニモ電流ハ閉回路ヲ形ヅクルヲ必要トスルモノナリ。而シテ、コノ爲ニハ電氣變位ノ變化モ亦電流ト同様ニ磁場ヲ伴フト考フル必要アリ、コレヲ變位電流ト名ヅケ、變位電流ノ密度(單位直斷面ヲ通過スル電流)ハ、電氣變位  $D = KE$  ( $K$ : 電媒常數)ノ變化ノ時間ニ對スル割合ノ  $\frac{1}{4\pi}$  倍即チ  $\frac{1}{4\pi} \frac{dD}{dt}$  ニ等シト假定シ、此ノ電流ヲモ含メテ考フレバ、如何ナル場合ニモ電流ハ閉回路トナル。故ニ「マクスウェル」ハカカル變位電流ヲ假定シタルナリ。

今一例ヲトリテ次ニ變位電流ヲ説明セン(2圖)。

荷電セラレタル平行板蓄電器ノ兩極 A, B ヲ導線ニテ接續スルトキ、導線中ニハ傳導電流起リ、A, B 間ノ電媒質(真空ヲ含ム)内ノ電氣變位ノ大キサ  $D$  ハ減少シ變位電流起ル。此ノ場合、導線内ニ於テ電流ガ A ヲリ B ニ流ル、トキハ、B ノ電位ハ高クナル。從ヒテ電媒質内ノ



2 圖

電氣變位ハ  $\vec{BA}$  ノ方向ニ増加ス。即チ、上ノ假定ニヨル變位電流ハ B ヲリ A ニ流ル。蓄電器ノ荷電量ヲ  $q$ 、極板ノ面積ヲ  $S$  トセバ、導線中ノ電流ノ強サ  $i = \frac{dq}{dt}$  ニシテ、又靜電氣ノ章テ述べタル如ク  $E = \frac{4\pi\sigma}{K} = \frac{4\pi q}{KS} \therefore D = \frac{4\pi q}{S}$  即チ  $q = \frac{SD}{4\pi}$  ナレ

バ,

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{S}{4\pi} \frac{dD}{dt} \quad (1)$$

ナリ。而シテ電媒質内ノ變位電流ノ強サ  $i'$  ハ (上ノ假定)

$$i' = \frac{S}{4\pi} \frac{dD}{dt} \quad (2)$$

ナレバ,

$$i = i'. \quad (3)$$

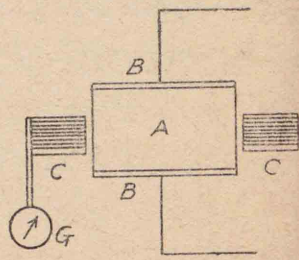
即チ、導線中ノ電流ノ強サ  $i$  ト電媒質内ノ變位電流ノ強サ  $i'$  ハ相等シク、兩者ハ一續キノ閉回路ヲ形ヅクル。

電媒質体内ノ電氣變位ノ變化ガ磁場ヲ伴フ事ハ次ノ實驗ニヨリテ證明セラル。

平行板蓄電器ノ電媒質  $A$  ヲ鐵環  $C, C$  ニテ圍ミ (3圖), 極板  $B, B$  ニ高壓ニシテ高周波數ナル交番電壓ヲ加フレバ, 鐵環  $C, C$  ニ捲ケル線輪ニ接続セル電流計  $G$  ニ振レヲ生ズ。コノ振レノ大キサハ  $A$  ノ電媒常數  $k$  ガ大ナル

程大ニシテ,  $A$  ガ空氣ナルトキモ僅カナガラ振レハ起ル。而モコノ振レハ電媒質内ニ考ヘタル變位電流ニ伴フ磁場ノ磁氣感應線ガ主トシテ鐵環  $C, C$  内ヲ通過シ, ソノ變化ニヨリテ線輪中ニ電流ガ起ルコトニヨルト考ヘラル。而モ尙ホ此ノ振レノ大キサヨリ調ブレバ, 變位電流トソレニ伴フ磁場ノ強サトノ關係ハ傳導電流ノ場合ト同様ナルコト知ラルルナリ。

カクシテ, 一般ニ電流ハ傳導電流ト變位電流トヨリナルト考ヘラル。而シテ絶縁体内ニテハ變位電流ノミガ存在シ, 導體内ニテ



3 圖

ハ傳導電流ノミガ存在スト考ヘラルルナリ。

### 3. 電磁波説

「ファラデー」ノ媒質説ガ正鵠ヲ得テキルナラバ, 電氣振動ガ行ハレル場合ニハ導線ニ沿フテ交流スル電氣其物ニ重要性アルニ非ズ, 周圍ノ媒質中ニ電力線ニ沿フテ生ズル所ノ電氣ノ歪ノ状態ガ急速ニ動搖シ攪亂ヲ受クベキナリ。又電流ノ周圍ニハ磁場ヲ生ズルヲ以テ電氣振動ニ伴ヒ磁力線ニ沿フ磁氣ノ歪ノ攪亂モ考ヘ得ラルベシ。彼ノ發見セシ電磁感應ノ現象ノ如キモ實ニ斯ル媒質ノ重要性ヲ背景ニ置カズバ首肯シ得ザル所ナリ。

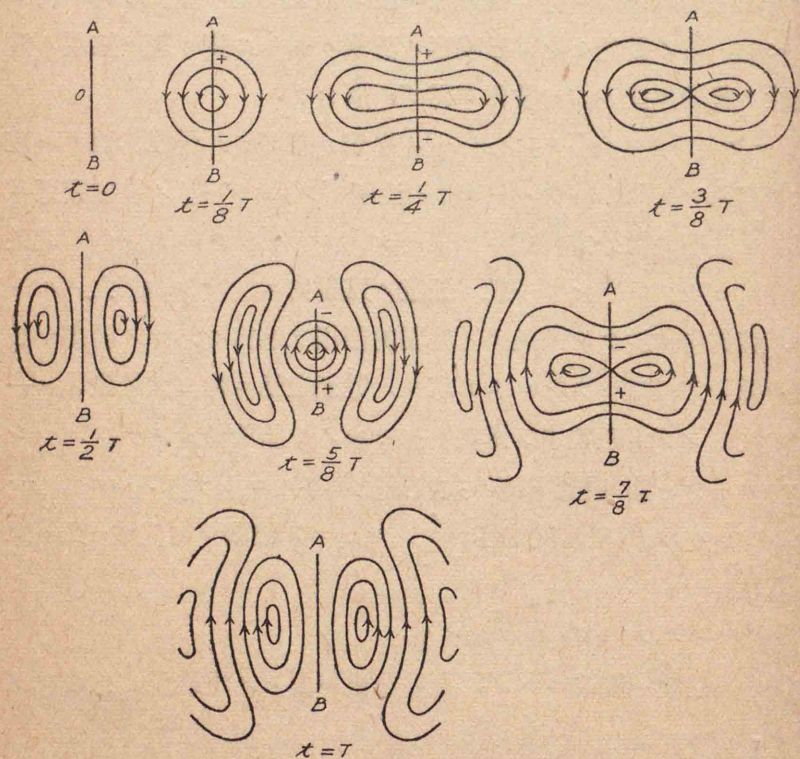
「マクスウェル」ハ「ファラデー」ノ思想ニ基ヅキ, 變位電流ナル概念ヲ導入シテ「ビオ・サバル」ノ法則, 「ファラデー」ノ電磁感應ニ關スル法則ヲ微分方程式ニテ表ハシ(コレヲ「マクスウェル」ノ電磁方程式トイフ), コレガ一般ニ任意ノ媒質内ニ於テモ成立スルトシ, 媒質内ニ於ケル電磁場ノ時間的關係ヲ導出シ, ソノ結果ガ波動ノ微分方程式トナルコトヲ導キ, 電氣振動ニ伴ヒテ電磁場ハ一種ノ波トシテ電磁場中ヲ傳播スベキモノト結論シタルナリ。コレ「ファラデー」ノ感應電流ノ大發見後<sup>34</sup>年ノコトナリ。コレヲ「マクスウェル」ノ電磁波説ト名ヅケラレ, コノ波動ヲ電磁波 (又ハ單ニ電波) ト稱ス。

「マクスウェル」ノ結論ニヨレバ,

(i) 電磁波ハ横波ニシテ, 互ニ垂直ニ偏レル電波及ビ磁波ヨリナル。

「今電氣振動ニ伴ヒテ電磁波ノ發生セラルベキ姿態ヲ模型的ニ

表現スレバ4圖ノ如シ。圖ハ直線狀導線  $AB$  = 電氣振動ヲ生ズル  
 場合ニシテ最初  $t=0$  ニテ電場無キガ次第ニ電場ヲ生ジ、ソノ歪  
 ノ状態ガ周圍ノ媒質中ヲ傳ハルニ時間ヲ要スル故、 $t=\frac{1}{8}T$ ノ時  
 刻迄ニ電力線ハ圖ノ如キ位置迄擴ガレリ。放電が進メバ、導線上  
 ノ電荷ノ移動ニ伴ヒソノ部ノ電力線ハ  $t=\frac{1}{4}T, t=\frac{3}{8}T$ ノ圖ノ  
 形態ニ變化スルガ、同時ニ周邊部ハ更ニ擴大シ行ク故、半週期後  
 ( $t=\frac{1}{2}T$ )ニ於テハ圖ノ如ク電場ニ環狀的歪ミガ殘ルニ至ル。次  
 ノ瞬間ニハ  $B$ ノ方ガ高電位トナリ逆向キヲ有スル電力線ガ同様

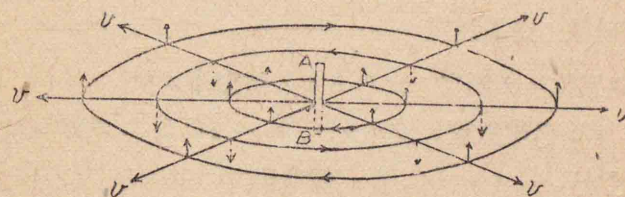


4 圖

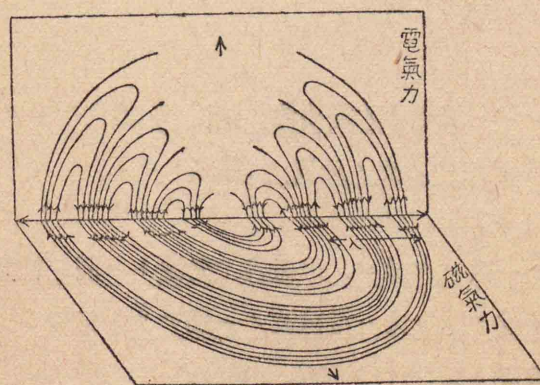
ニ生ジ、前ニ生ジタ環狀歪ハ次第ニ外方ニ傳達サル。カクテ一週  
 期後第二ノ環狀力線ガ遊離ヲナス。

斯ル電力線ノ變動ト同時ニ振動電流ニ伴フ磁力線ノ變化ガ  $AB$   
 ニ垂直ナル平面内ニ起リ半週期毎ニ向ヲ變ヘ次第ニ遠方ニ傳播  
 ス。」

$AB$  附近ノ空間ニ於テアル時刻ニ於ケル電氣力(上下方向)及  
 ビ磁氣力(水平方向)ノ分布状態ハ5圖ノ如ク電力線及ビ磁力線ノ圖  
 ハ6圖ノ如シ。



5 圖

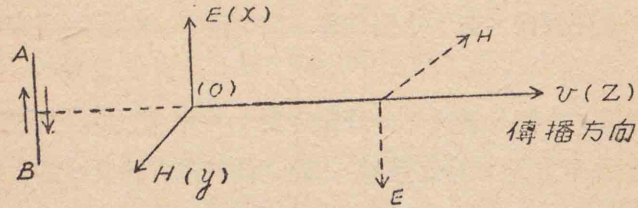


電磁波の傳播状態

6 圖

電波及ビ磁波ハ且ツ同位相ニ相伴ヒテ傳播シ、電波、磁波ノ振

動方向ト電磁波ノ進行方向ハ各互ニ垂直ニシテ夫々右手系坐標軸ノ  $x, y, z$  ニ對應スルコト7圖ニ示ス如シ。



7 圖

ii) 電磁波ノ傳播速度  $v$  ハ  $v = \frac{c}{\sqrt{\mu k}}$  ナリ。ココニ  $\mu$  ハ C.G.S 電磁單位ニテ測定シタルトキノ透磁率ノ値、 $k$  ハ C.G.S 靜電單位ニヨル電媒常數ノ値ニシテ、 $c$  ハ 1 C.G.S. 電磁單位ノ電氣量(又ハ電流)ニ對スル 1 C.G.S. 靜電單位ノ電氣量(又ハ電流)ノ比ニシテ速度ノ元ヲ有ス。實測ニヨレバ

$$c = 2.9979 \times 10^{10} \text{ cm/sec} \quad (5)$$

ナリ。

コレニヨレバ、真空中ノ電磁波ノ速度ハ(真空中ニテハ  $k=1, \mu=1$  ナレバ) 真空中ノ光ノ速度  $c$  (實測ニヨル)

$$c = 2.99796 \times 10^{10} \text{ cm/sec} \quad (6)$$

ト極メテヨク一致スル故ニ、電磁波ト光波トハ同一種類ノモノナリトシ、更ニ進ミテ、光ハ電磁波ノ一種ナリト結論シタリ。コレヲ光ノ電磁波説ト云フ(1865年)。

上ノ假定ニ基ツキテ、種々ノ媒質ノ屈折率(真空中ノ傳播速度トソノ媒質内ノ傳播速度トノ比)ヲ理論的ニ求ムレバ、ソノ値ハ實測ニヨル光ノ屈折率ト相當ニヨク一致ス。コレ亦上ノ理論ヲ正

シトナシ得ルノ事實ナリ。

其ノ後「ヘルツ」(Hertz 1888年)ニヨリテ、電磁波ハ光ト全ク同様ニシテ直進シ、反射、屈折ノ法則ニ從ヒ、又偏リノ現象アルコ

| 種 別  | 周波数      | 波長          | 名稱又は用途 |  |         |
|------|----------|-------------|--------|--|---------|
|      | $10^x$ 秒 | $10^y$ CM   |        |  |         |
| 電氣振動 | ↑ 低周波 ↓  | x           | y      |  |         |
|      |          | 1           | 10     | 電燈電力用  |         |
|      |          | 2           | 9      |  |         |
|      |          | 3           | 8      | 電話用  |         |
|      |          | 4           | 7      |  |         |
|      |          | ↑ 高周波(電波) ↓ | 5      | 6  | 長波      |
|      |          |             | 6      | 5  |         |
|      |          |             | 7      | 4  | 中波      |
|      |          |             | 8      | 3  |         |
|      |          |             | 9      | 2  | 短波      |
|      | 10       |             | 1      |  |         |
|      | 11       |             | 0      |  |         |
|      | 12       |             | -1     | } $3.03 \times 10^{-2}$ CM ルーベンス波                            |         |
|      | 13       |             | -2     |  |         |
|      | 光波       |             | 14     | -3   | 赤外線(熱波) |
|      |          | 15          | -4     |  |         |
|      |          | 16          | -5     | } $7.67 \times 10^{-5}$ CM 赤色<br>$3.97 \times 10^{-5}$ CM 紫色 |         |
|      |          | 17          | -6     |  |         |
|      |          | 18          | -7     | } $10^{-6}$ CM シューマン波  |         |
|      |          | 19          | -8     |  |         |
| 20   |          | -9          |        |  |         |
|      |          | -10         |        |  |         |

8 圖

ト實驗的ニ確カメラレ、「マクスウェル」ノ電磁波説ガ確定セラレタルナリ。

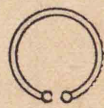
カクシテ今日ニ於テハ低周波ノ電氣振動ニヨル電磁波ヨリ赤外線、可視光線、紫外線、更ニ X 線、 $\gamma$  線ニ至ル迄一系ノ電磁波ナルコト明カトナレリ。コレヲ表示セバ8圖ノ如シ。

### 4. 電磁波ノ存在ヲ證明スルヘルツノ實驗

「マクスウェル」ノ電磁波説ニ決定的ノ支持ヲ與ヘタルハ「ヘルツ」ノ實驗ナリ。1888年ヨリ引續キテ「ヘルツ」ハ電氣振動器ニヨリテ高振動數ノ電磁波ヲ作り、ソノ波ガ光ト全ク同様ニシテ、直進シ、反射、屈折ノ法則ニ從ヒ、且ツ偏光ノ現象モ存在スルコトヲ確メタリ。

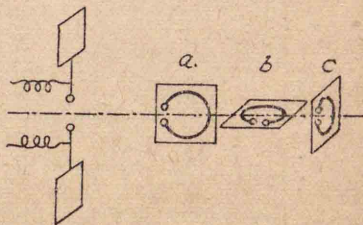
電磁波ノ存在ヲ檢スルタメ、電氣振動器ト等シキ振動數ヲ有スル電氣回路ナル共鳴子ヲ用ヒタリ。ソレハ

9 圖ノ如キ形ヲ有スルモノニシテ、太キ銅線ヲ直徑 35 cm ノ圓形ニ曲ゲ、ソレニ火花間隙ノ兩端ニアル小球間ノ距離ヲ調整シ



9 圖

テソノ間ノ電氣容量ヲ變へ、從ヒテソレノ固有振動數ヲ變ジ得ベシ。若シ10圖 aノ如ク、電磁波ノ進行方向ト電場ノ方向トヲ含ム平面内ニコノ共鳴子ノ回路ノ面ガアルトキハ、コノ回路ヲ



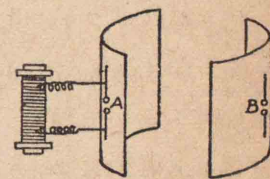
10 圖

貫ク磁氣感應線ノ數ガ最大トナリ、從ヒテ共鳴子ニ起ル感應動電

力モ最大トナリ、火花間隙ニ火花ノ飛ブヲ見ル。aノ位置ヨリ次第ニ廻轉シテ bノ如ク、ソノ面ガ進行方向ト磁力線ノ方向トヲ含ム面ト一致スルニ致ラバ、感應動電力ハ無クナリ、火花ハ止ム。cノ位置ニ於テハ火花間隙ノ軸ガ發振器ノ軸ト平行ナル場合ニ限り多少火花放電ガ起ル。又電磁波ノ振幅ガ最大ナル場處ニテハ共鳴子中ノ感應動電力ガ最大ニシテ、火花ノ放電ガ盛ントナル。故ニコノ共鳴子ニヨリテ電磁波ノ方向ヲ知り、又ソノ強弱ヲ比較シ得ベシ。

電磁波ノ直進性及ビ反射ノ法則ニ從フコトハ次ノ如クシテ證明セラレタリ。斷面ガ拋物線ナル金屬筒ヲ二個作り(11圖)、ソレヲ圖

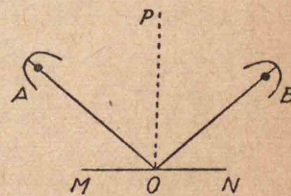
ノ如ク對置シ、ソノ一ツノ焦線ニ振動器ヲ置キ(振動電流ノ方向ガ筒軸ト平行ナル如ク)、電磁波ヲ發セシムレバ、他ノ焦線 Bニアル共鳴子ノ火花放電最モ盛ンニシテ、焦線ヲ外ルレバ火花放電ハ弱



11 圖

シ。又此ノ二ツノ反射鏡ノ中間ニ木材、「アスファルト」等ノ不良導體ノ衝立ヲ置クトモ共鳴子ニ火花放電ハ起ル。然レドモ、金屬製ノ衝立ヲ置クトキハ、火花放電ヲ生ゼズ、即チ電磁波ハ遮ラルルナリ。

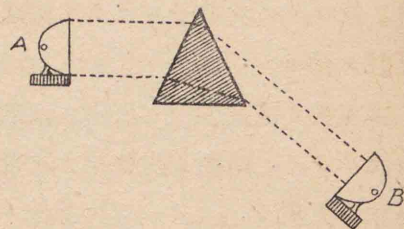
次ニ12圖ノ如ク此ノ二ツノ金屬筒ノ拋物線ノ軸ガ相會スル所ニ平面金屬板 MNヲ置ク。若シ反射ノ法則ニ從ハバ、Aヨリ出デシ電磁波ガ拋物鏡ニヨリテ平面波トナリ、金屬板ニ於テ反射シ、他ノ鏡ノ焦線 Bニ達スル如クス。此



12 圖

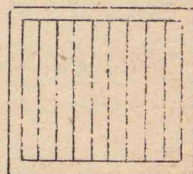
ノ場合、此ノ二軸ガ平面ヘノ垂線  $OP$  ト同一平面内ニアリテ、而モ垂線トノ間ノ角度ガ相等シキトキ共鳴子ニ火花認めラレ、光ト全ク同様ニ反射ノ法則ニ從フコトヲ知ルナリ。

次ニ屈折ニツキテ見ル。A ヨリ出デ抛物鏡ニテ反射サレテ平面波トナレル電磁波ヲ「アスフェルト」又ハ「パラフィン」製ノ大ナル「プリズム」ヲ通過セシメ(13圖)、ソレヲ共鳴子ニヨリテ檢セバ屈折ノ現象ヲ見ル。而モ入射面ノ或値ニ對シテ、光波ノ如ク偏角ガ極小トナル事認めラルルナリ。



13 圖

更ニ偏リニツキテ見ル。枠ニ數十本ノ針金ヲ平行等距離ニ並ベテ張レル格子ヲ作り(14圖)、コレヲ相對向セル振動器ト共鳴子トノ中間ニ置キ、電波ヲ發生セシムルトキ、針金ノ方向ガ振動電流ニ直角ナ



14 圖

ルトキ共鳴子ニ火花放電ヲ起シ、平行ナルトキハ放電ヲ起サズ。コレハ電磁波ガ一ノ平面ニ偏レル波ナルコトヲ示ス。即チ、格子ノ針金ガ電場ニ平行ナルトキハ針金ニ電流ガ起リ、波動ノ「エネルギー」ガ吸收サレ、針金中ニ於テ「ジュール」熱ニ變化、タメニ電磁波ハ格子ヲ透過セズ。格子ノ針金ガ電場ニ垂直ナルトキハ電流小ナレバ、「エネルギー」ノ吸收モ少ク、タメニ電磁波ハ透過ス。

更ニ、抛物鏡ノ焦線ヨリ射出サレ抛物面ノ反射ニヨリテ平面波トナレル電磁波ヲ金屬平面ニ垂直ニ投射セシメ、振動子 A ト金屬

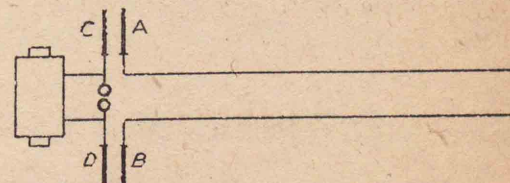
平面トノ距離ヲ適當ニ遲プトキハ、ソノ間ニ定常波ヲ生ズベシ。コレハ、波ノ進行方向ニ沿ヒテ共鳴子ヲ移動セシムレバ、或點ニテハソレニ火花放電起リ、或點ニテハ全ク起ラズ。即チ、振動ノ腹ト節トヲ生ズルコトヲ示スナリ。コノトキ金屬反射面ハ電波ノ節(從ツテ磁波ノ腹)トナル。

又、腹ト節トノ距離ヨリ波長  $\lambda$  ヲ求メ、振動子ノ振動數  $n$  ヲ知ラバコレヨリ電磁波ノ傳播速度  $v = n\lambda$  ヲ知り得ベシ。カクシテ得タル  $v$  ノ値ハ  $v = 3 \times 10^{10}$  cm/sec ニシテ、コレハ光速度  $c$  ト一致スルヲ見タリ。

カクシテ電磁波ト光波トハ同一種類ナルモノナルコト實證セラレタルナリ。

次ニ導線ニ沿フ電磁波ノ傳播ヲ示ス「レツヘル」(Lecher) ノ實驗ニツキテ記ス。

二本ノ平行導線ノ兩端 A 及ビ B ニ 15圖(a)ノ如ク夫々金屬板ヲツケ、ソレヲ「ヘルツ」ノ振動器ノ兩端ノ金屬板 C 及ビ D ト



15 圖 (a)

接近シテ相對置ス(振動器ノ振動ヲ導線ニ移スベキ回路ノ結合ノ仕方 AB 及ビ CD ニヨル容量結合ノ代

リニ、夫々圓形導線ヲ用ヒタル電磁結合トナスモ同様ナルコト勿論ナリ)。「ヘルツ」ノ振動器ニ電氣振動起ルトキハ、C 及ビ D ガ交互ニ正負ニ帶電セラレ、靜電感應ニヨリテ(電磁波說ヨリ云ハバ、振動器中ノ電氣ノ流レガ D ヨリ空氣中ヲ變位電流トナリテ通過シ B ニ達シ、B ノ一部ヲ傳導電流トシテ傳ハリ、更ニ變位

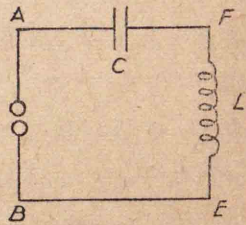
電流トシテ A ノ一部ニ入り, A 中ノ傳導電流ヲ經テ A ヨリ再  
 ビ變位電流トナリテ  $++++ \quad - - - - \quad + + + + \quad - - - -$   
 Cニ流入スルコトナ  
 リ), A 及ビ B ハ反  $- - - - \quad + + + + \quad - - - - \quad + + + +$   
 對ノ符號ニ帶電セラ

15 圖 (b)

レ導線中ノ電氣ノ分布ハ 15圖 (b)ノ如クナル. 此ノ針金ノ長サヲ  
 適當ニセバ, 導線中ニ定常波ヲ得ベシ. 此ノ定常波ハ次ノ如キ裝  
 置ニヨリテ見得ラル. 定常波ノ存在スル上ノ二ツノ導線ニ直角ニ  
 眞空放電管ヲ架シ, 線ニ沿ヒテ摺動スルトキハ, 或點ニテハ管ハ  
 最モ強ク輝キ, 或點ニテハ全ク輝カズ. 此ノ事ガ等距離ヲ隔テテ  
 行ハル. 最モ強ク輝ク點ハ眞空管ノ兩端ノ電位差ノ最モ大ナル部  
 分ニシテ, 振動ノ腹部ヲ示シ, 輝キナキ點ハ振動ノ節部ト考ヘラ  
 ル. 此ノ二ツノ點ノ距離ヨリ波長 $\lambda$ ヲ, 又振動器ノ構造ヨリ振動  
 數 $n$ ヲ知ラバ, 傳播速度 $v$ ヲ求メ得ベシ. カクシテ「レッヘル」  
 ハ實驗ニヨリテ導線中ニ定常波ガ起ルコトヲ見, ソノ波ノ速度ガ  
 $3 \times 10^{10}$ cm/sec ナルコトヲ確メタルナリ.

### 4. 地絡空中線ヨリ輻射スル電波

電磁波ヲ發生スル方法ハ畢竟或電路ニ電氣振動ヲ生成スルニア  
 リ. ソレノ一方法ハ, 16圖(a)ノ如キ振動回  
 路ニ蓄電器ヲ高電壓ニ荷電シ火花間隙ヲ通  
 ジテ放電セシムルニアルコト前述ノ如シ.  
 然レドモ斯ノ如キ閉電路ニ於テハ, ABト  
 EF及ビAFトBEニオケル電流ノ方向



16 圖 (a)

ハ常ニ相反スルヲ以テ, ソレヲヨリ同時ニ  
 發スル波ノ電氣力及ビ磁氣力ハ互ニ反對ノ方向ヲ有シ, コレヲハ  
 互ニ干涉スルガ故ニ, 電磁波ノ發生極メテ弱シ. 例ヘバ電路平面  
 ニ垂直ナル方向ニ於テハ相殺作用行ハレ殆ンド波ヲ發生セズ. 他  
 ノ方向ニ於テハ, ソノ場所ト電路ノ各部分トノ距離ノ差ニ相當ス  
 ル位相差ノ振動ヲ受ケ, ソレヲノ合成振動ヲ生ズルコトトナリ,  
 一般ニソレノ振幅ハ電路ノ平面内ニ於テ最モ大トナルベシ.

16圖(b)ハ蓄電器ノ兩基板ヲ遠ク離シタルモノニ外ナ  
 ラザレバ, コレ亦同理ニヨリ電氣振動發生シ, 實驗ニ  
 ヨルニ電磁波ノ輻射ハ閉電路ノ場合ヨリ遙ニ良好トナ  
 ル. カクノ如キ電路ヲ振動開電路ト稱ス. 一般ニ電磁  
 波ヲ發生輻射セシメ又ハコレヲ吸收スルタメ空中ニ立  
 ツル電路ヲ空中線ト稱シ, 通常ノ空中線ハ, 16圖(b)ノ  
 下端ノ基板ハ大地ニシテ, 上端ノ基板ハ水平又ハ斜ニ  
 張リタル導線ヨリ成ルモノナリ.



16圖(b)

「ヘルツ」ノ實驗ノ際發生スル電波ハ, 第三節4,5,6圖ニテ表ハサ  
 ル. 無限ニ廣キ平面(地表面ハコレニ近似ス)上ニ垂直ニ立テル直  
 線導線(17圖)ニ電氣振動ヲ起ストキ發生スル電波ハ, 18圖ノ如ク,  
 前ノ半バニ等シ. カクノ如キ空中線ヲ地絡空中線ト稱ス.

空間ニ向ヒテ傳播スル電磁波ヲ空間波トイヒ, 18圖ノ如ク地球  
 ノ表面ニ沿ヒテ傳播スル電磁波ヲ地表波トイフ. 地表波ノ傳播ハ  
 主トシテ地表ノ狀況ニヨリテ支配セラレ, 空間波ノ傳播ハ主トシ  
 テ大氣ノ狀況ニ支配セラル.

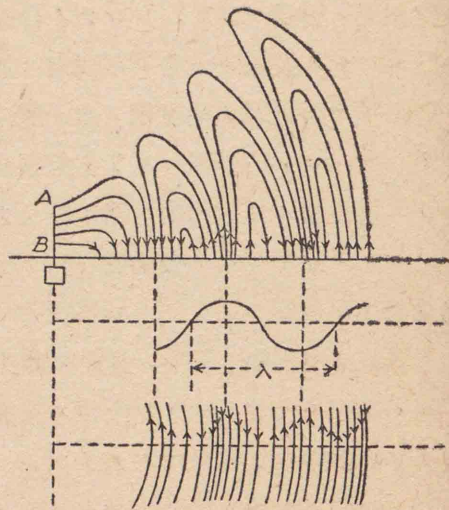
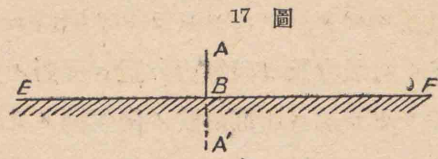
地表波ニツキテ更ニ説明スベシ.

19圖ノ如ク無限ニ廣キ平面導體 ABノ上方 P點ニ陽電荷 +q

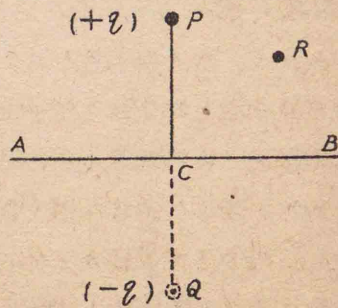


アリトセバ、感應ニヨリ導體ノ全面ニ陰電荷ヲ生ジ、ソレノ總量ハ  $-q$  ナリ。然ラバ任意ノ  $R$  點ニ於ケル電場ノ強サハ  $P$  點ニアル  $+q$  ト導體面上ノ陰電荷トニ起因スルモノヲ合成セシモノナリ。然ルニ  $AB$  面ノ下方ニ  $PC$  ニ等シク  $CQ$  ヲ取り、 $Q$  點ニ  $-q$  ノ電荷ヲ置カバ、感應ニヨリ平面  $AB$  上ニ生ズル電荷ハ前ト反對ニ陽電荷ナル

モ、ソレノ分布ノ有様ハ前ト全ク同様ナルベシ、故ニ平面導體ハ電荷ヲ有セザルコトトナル。從ツテ  $AB$  面上ノ陰電荷ノ  $R$  點ニ及ボス作用ハ、 $Q$  點ニアル  $-q$  ガ平面導體ナキトキニ  $R$  點ニ及ボス作用ニ等シカルベシ。即チ平面導體アリテ  $P$  點ニ  $+q$  アル場合ノ  $AB$



18 圖



19 圖

面ヨリ上方ノ電場ハ、平面  $AB$  ナクシテ  $P$  點ニ  $+q$  アリ、 $Q$  點ニ  $-q$  アリテ平面導體ナキ場合ノ電場ノ  $AB$  ヨリ上ノ半部ト全ク同様ナリ。 $Q$  點ニ想像セル  $-q$  ヲ  $P$  點ニ於ケル  $+q$  ノ電像トイフ。即チ平面完全導體ノ面ハ電場ニ關シ恰カモ光ニ對スル平面鏡ノ如キ作用ヲナスト考ヘラル。コノ考ヘヲ推シ擴ムレバ、上記ノ地絡空中線(地球ヲ完全導體ト考ヘテ)ヨリノ電波ノ作ル電場ガ、空中線ノ地面ニヨル電像ト、ソレトノ和ナル二倍ノ空中線ガ空間ニ存在スル場合ニ輻射スル電波ノ電場ノ半部ニ等シキコトヲ推察シ得ベシ。

### 6. 平面導體ニ沿ヒテ進ム電波

直線空中線ガ完全導體(電媒常數  $k = \infty$ , 比傳導度  $\alpha = \infty$ )ノ表面ニ直立スル場合ニ、導體ノ表面ニ沿ヒテ進ム電波ノ傳播スル状態ハ、前節ニ述ベシ如ク電像ノ理ニヨリテ知ルヲ得ベシ。コノ場合導體面ノ電氣力ハ到ル處導體面ニ垂直ニシテ、導體内ニハ少シモ電氣力存在セズ。換言スレバ電波ガ完全導體面ニ投射スルトキハ全部反射セラルルモノナリ。

然ルニ、地表面ハ砂、岩、濕土、海水等ヨリ成リ、場所ニヨリテ電媒常數及ビ比傳導度ヲ異ニシ、トモカク完全導體ニ非ズ。故ニ電波ノ一部ハ地表内ニ侵入シ吸收セラルベシ。

故ニ地表波ノ通達距離ハソノ波長及ビ勢力ニ關係スルト共ニ、ソレガ沿ヒテ進ム地表ノ性質ニヨリ左右セラルルモノナリ。

地表面ヲ完全導體ト考ヘ一平面ト見做シタル場合、或地點ニテ發射サレタル地表波ノ送信局ヨリ  $r$  km ニ於ケル電場ノ強サ即チ

電界強度  $E$  ハ、計算ニ依レバ

$$E = 120\pi \frac{h_e I}{\lambda r}$$

ナリ。(證明省略) コレヲヘルツノ式トイフ。

但シ  $E$ : volt/km

$I$ : 送信空中線電流 (amp)

$h_e$ : 送信空中線ノ實効高 (km) (無線理論ニ於テ詳述)

$\lambda$ : 送信電波長 (km)

然レドモ地球表面ハ完全導體ナラズ、而モ彎曲セルヲ以テ、コレヲ考慮セル通達距離ニ關スル公式數多アリ。

オースチン、コーエンノ式

$$E = 120\pi \frac{h_e I}{\lambda r} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} e^{-\frac{0.0015}{\lambda^{0.5}} r}$$

但シ  $\theta$ : 送受信間ノ距離  $r$  Km ガ地球ノ中心ニ於テナス角 (radian)

$e$ : 自然對數ノ底數

上式中  $\sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}}$  ハ地球ガ球體ナルタメニ生ズル係數ニシテ、兩點間ノ距離 2000 哩以内ニテハ略 1 ト見做サル。 $e^{-\frac{0.0015}{\lambda^{0.5}} r}$  ハ地表ノ吸收ニヨリテ生ズル係數ニシテ、波長小ナル程吸收大ニシテ  $E$  ハ小トナル。

【參 考: —

$$\text{比電氣傳導度 } \alpha (= \text{電導率}) = \frac{1}{\text{比抵抗}}$$

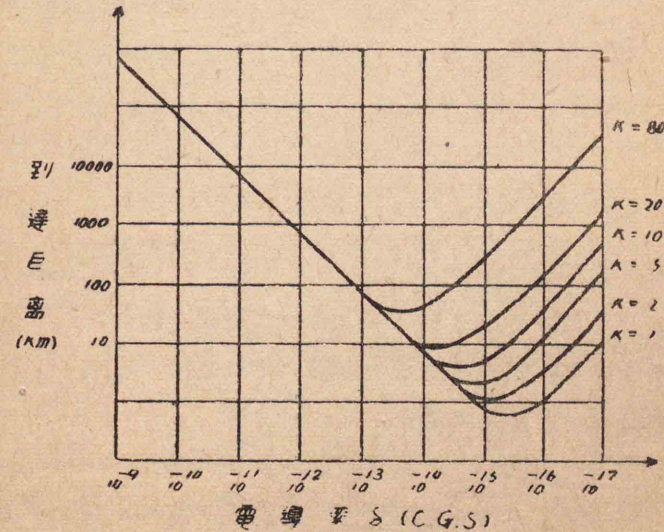
地表ヲ構成スル二三ノ物質ニツキ比傳導度及ビ電媒常數ノ凡ソノ値ヲ次ニ示ス。

比傳導度  $\alpha$  (E.M.U.) 電媒常數  $k$  (E.S.U.)

|    |                          |        |
|----|--------------------------|--------|
| 海水 | $10^{-11}$               | 80     |
| 清水 | $10^{-14}$               | 80     |
| 濕土 | $10^{-13} \sim 10^{-14}$ | 5 ~ 15 |
| 乾土 | $10^{-15}$               | 2 ~ 6  |

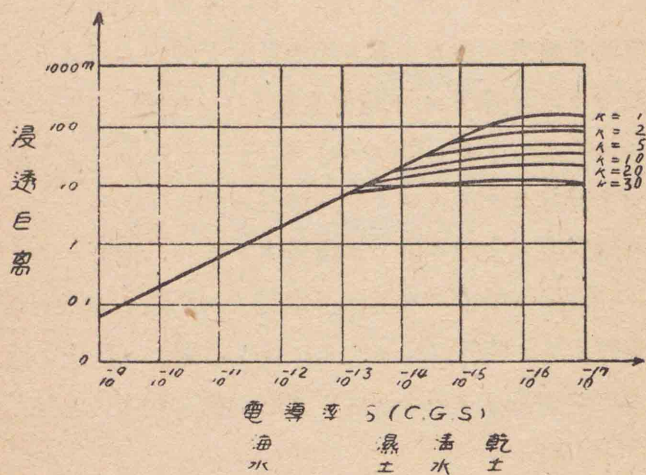
次ニ電波ガ地表ニ沿ヒテ進ム場合及ビ大地内ニ侵入セシ場合ノ振幅ノ減少ト、電導率  $\alpha$  ト電媒常數  $k$  トノ關係ヲ圖示セン(20, 21 圖)。コレハ「ゼネツク」(Zenneck) ガ「マクスウェル」ノ電磁方程式ヲ基トシテ計算セルモノニシテ、波長ハ共ニ 600m ナリ。

20 圖ハ地表波ガ大地ニ沿ヒテ傳播スルトキ、地面ニ垂直ナル電氣力ガ  $\frac{1}{e} \div \frac{1}{2.7}$  ニ減少スルマデニ進行スル距離ト地表ノ電導率  $\alpha$  ト電媒常數  $k$  トノ關係ヲ示セルモノナリ。圖ヨリ陸上ノ通達距離ガ海上ニ比シテ甚シク小ナルコトヲ察シ得ベシ。



20 圖

21圖ハ 600m ノ電波ガ地中ニ侵入シ、ソレノ振動ガ  $\frac{1}{e}$  ニ減少スルマデニ侵透スル距離ト、電導率  $\sigma$  ト電媒常數  $k$  トノ關係ヲ示セルモノナリ。圖ヨリ明カナル如ク海水ニテハ 1m、陸地ニテハ 10m 以上ニテ同程度ノ減衰ヲ示ス。



21 圖

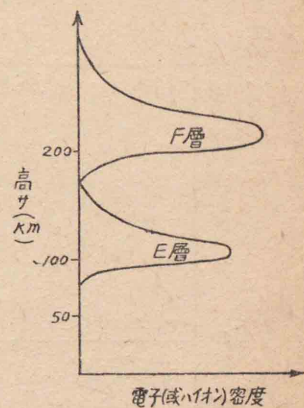
### 7. 大氣ノ構成, K-H 層.

地表ヨリ高サ約 12km ノ處マデヲ對流圈トイヒ、氣象現象ハ殆ドココニテ發生ス。コレヨリ上層ハ成層圈ト稱シ、殆ド攪亂ヲ受クルコトナシ。大氣ノ上限ハ不明ナルモ諸種ノ現象ヨリ 100km 以上マデ存在スルモノノ如シ。

大氣ノ上層ハ太陽ヨリノ紫外線等ニヨリテ電離セラレ、「イオン」及ビ電子ヲ多ク含ム電離層即チ電導性ヲ有スル層アリト考ヘラレ、コレヲ K-H 層ト呼ブ。地上 100km 附近ニアルモノヲ

E層トイヒ、200 km 附近ニアルモノヲ E層ト名ヅク。F層ハ E層ヨリモ電離度大ナリ。

22圖ハ大氣ノ構成ノ要點ノ圖示ナリ。氣球、飛行機等ノ觀測ニヨルニ、地上約 12km 以下ニ於テハ氣温ハ高サト共ニ漸次減少シ、12km ニ於テ約  $-53^\circ$  トナル。而シテコノ範圍ニ於テハ、上昇並ニ下降氣流即チ對流ガ常ニ存在シ、從ツテ大氣ハ常ニ攪拌混合セラルルタメ、何レノ場所ニ於テモ大氣ノ組成ノ割合ハ略均一ナリ。カカル空間ヲ對流圈トイフ。各種ノ氣象現象(從ツテ雲霧モ)大部分ココニ發生消滅ス。



23 圖

對流圈ヨリモ更ニ上層ニ到ラバ氣温ハ殆ド變化セズ。對流モ起ラズ。

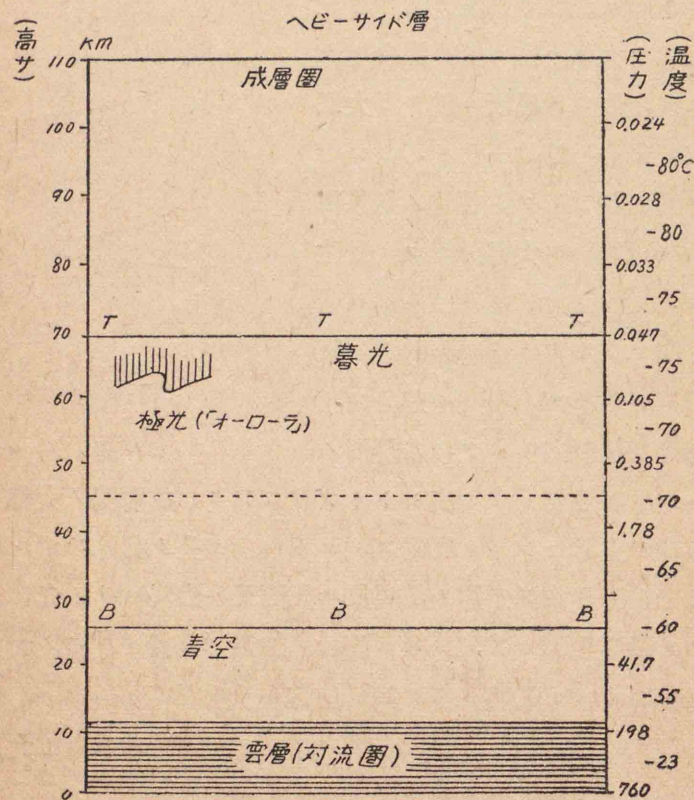
コノ部分ヲ成層圈トイフ。成層圈ノ

温度ハ却ツテ地表ヨリモ高シトイフ説モアリ。成層圈ノ大部ハ直接ニ氣球ヲ上昇セシメテ測定スルコトハ未ダ全ク行ハレザルヲ以テ、暮光、流星、極光等ノ諸現象ノ觀測又ハ太陽ヨリノ光、電波ニ關スル諸測定等ヨリ、ソレニ關スル知識ヲ獲得スルモノナリ。成層圈ヲ構成スル氣體ハ 100 km 位迄ハ大部分窒素ニシテ、200 km ニ到ラバ「ヘリウム」多ク、300 km ヲ超ユレバ水素ガ大部分ヲ占ムルモノト推定セラル。

サテ太陽ヨリノ輻射線ガ大氣ノ上層ニ到達セバ、特ニソノ中ノ紫外線等ノ作用ニヨリテ氣體ハ電離セラレ、「イオン」及ビ電子ヲ生ズ。カカル電離層ノ存在ヲ「ヘビサイド」(Heavide英)ガ1901年

始メテ提唱シタルヲ以テ、コレヲ「ヘビサイド」層トイフ。又「ケネリー」(Kennelly 米)モ亦コノ説ヲ主張セルヲ以テ、コノ層ヲ「ケネリー・ヘビサイド」層トモイフ。而シテソレノ地上ヨリノ高サハ 100 km 附近ト推定セララル。

流星



22 圖

ソノ後ノ観測ニヨレバコノ外地上 200 km 附近ニモ亦電離層存在シ、ソレノ電離度從ツテ電氣傳導度ハ上記ノモノヨリモ大ナリ

トセララル。コレヲ F 層ト稱シ、上記 100 km 附近ノモノヲ E 層ト稱ス。F 層ハ晝間ハ  $F_1, F_2$  二層ニ分ルルモ、夜間ハ  $F_1$  消失シテ  $F_2$  ニ合シ一層トナルモノナリ。

コレラノ各層ノ電子及「イオン」ノ密度ト高サトノ關係、ソレノ一日中並ニ一年中ノ變化等ヲ知ルハ重要ナリ。尙カクノ如ク E 層 F 層等ヲ生ズル理由ハ未ダ十分明カナラズ。

8. 空間波ノ傳播

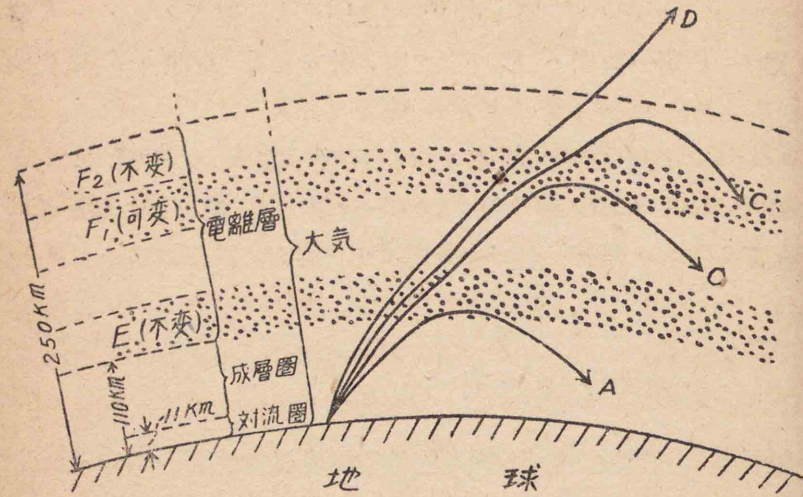
波長ニヨル電波ノ分類(國際無線資問委員會決議)ハ次ノ如シ。

|     | 振動數               | 波 長           |
|-----|-------------------|---------------|
| 長 波 | 100 kc 以下         | 3,000 m 以上    |
| 中 波 | 100 ~ 1,500 kc    | 3,000 ~ 200 m |
| 中短波 | 1,500 ~ 6,000 kc  | 200 ~ 50 m    |
| 短 波 | 6,000 ~ 30,000 kc | 50 ~ 10 m     |
| 超短波 | 30,000 kc 以上      | 10m 以下        |

尙波長 1 m 以下ノ電波ヲ普通極超短波トイフ。

長波ノ傳播ハ一般ニ地表波ニヨルヲ以テ、上空ノ電離層ニ影響セララルコト少シ。波長短クナルニ從ヒ、次第ニ空間波ヲ利用スルコト多シ。空間波ノ傳播ハ上空ノ電離層ノ状態ニヨリテ支配セラレ、波長ニヨリテ傳播狀況ヲ異ニス。

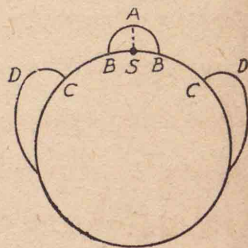
空間ニ向ヒテ發射サレタル電波ガ上空ノ電離層ニ達セバ、ソレノ進路ヲ屈曲シ、遂ニ反射セラレテ再ビ地表ニ戻リ、更ニマタ地表ニテ反射セラレテ上空ニ向フ。以下更ニ反射ガ繰返サルルモノナリ。



24 圖

電離層中ヲ電波ガ傳播スルトキハ、ソレノ 通路、速度等ハ層中ノ「イオン」及ビ電子ノ密度、電波ノ波長等ニ關係ス。24圖ハ電波ノ通路ノ概略ヲ示セルモノニシテ、A ハ中短波、C ハ短波、D ハ超短波ノ進路ナリ。

波長 50 m 以下ノ短波ニ於テハ、地表波ハ速カニ衰滅シ、空間波ハ一旦上空ニ到リ反射シテ歸來スルモノナルヲ以テ、地表波モ到達セズ、空間波モ來ラザル部分ヲ生ズ。25圖ハコノ狀況ヲ示セルモノニシテ、S ニ空中線アリ、BB マデハ地表波ガ達シ、CD ハ反射シ來レル空間波ノ來ルコトヲ示ス。空間波ノ來ラザル距離 SC ヲ跳躍距離トイヒ、地表波モ空間波モ到達セザル部分 BC ヲ不感區域ト稱ス。



25 圖

### 9. 電磁波ノ傳播ニ妨ゲトナル諸現象

〔i〕「エコー」(反響) 送信所ノ電力ガ非常ニ大ナル時ハ、不感區域内ニ於テモ完全ニ受信シ得。コレハ地球ヲ一周シテ再ビ元ニ返リシ電波ガ充分強力ナルトキ現ハルル現象ナリ。此ノ現象ガ不感區域以外ニテ現ハルルトキハ、先ヅ通常ノ電波ガ到來シタル後約  $\frac{1}{3}$  秒ヲ經テ、再ビ、地球ヲ一週シタル電波ガ到來ス。コノ現象ヲ反響ト稱ス。コノ反響ハ時ニヨリテハ一回ノミナラズ、二回三回ト到來スルコトアリ。コレハ反對方向ニ地球ヲ廻リテ到來セルモノモ受信セララルル場合ナリ。

〔ii〕「フェーディング」電波ヲ受信スル際、受信機ニ故障モナク、電源ニモ變化ナキニ拘ラズ、受信音ガ高ク又低クナルコトアリ。コノ現象ヲ「フェーディング」ト名ヅク。「フェーディング」ノ起ル原因ハ種々アルモ、ソノ主ナルモノハ、地表波ト空間波トノ干涉ニヨリテ起ルナリ。又空間波モ其ノ通路ニヨリテ電離層ニテ受クル減衰ノ度ニ差アルタメ、相互ニ干涉シテ「フェーディング」ヲ起ス。電離層ニヨル減衰ハ波長ニヨリテ異ナル故、「フェーディング」モ亦波長ニヨリテ異ナル。コレヲ選擇「フェーディング」ト呼ブ。

〔iii〕宇宙ノ諸現象。電波ノ傳播ハ電離層ノ状態ニヨリテ支配セララルルモノナレバ、電離層ニ影響スル如キ宇宙ノ諸現象ハ多少トモ電波傳播ニ影響ヲ齎スモノナリ。ソノ中最モ著シク影響ヲ與フルモノハ、太陽ノ黒點數、地球ノ磁氣嵐、極光、流星群等ナリ。氣象現象ハ多ク對流圈ニ起ルモノナレバ、大ナル影響ヲ有セザルモ、雪、雨等ハ多少ノ影響ヲ與フ。波長 20 m 以下ノ短波ニハ殆ド影響ナシ。

[iv] 空電. 混信ハ人爲的妨害ノ一ニシテ, コレハ使用周波數ヲ適當ニ選ビ, 又ハ受信機ノ選擇度ヲ増サバ除キ得ラル. 又醫療機械, 電動機, 送線電等ニ發生スル火花放電ニヨル電波ガ發生スル附近ニテハ甚シク妨害セラルルモ, 遠距離ニハ殆ド影響セズ.

自然的妨害電波ハ空電ト呼バルルモノニシテ, 主トシテ雷雲ノ放電ニヨル. 空電ニハ「クリック」ト稱スル(ガリッ)ト鳴ル不連続性ノ噪音ト, 「グラインダー」ト稱スル調子ノ高キモノトアリ, 通信ニ最モ強く妨害ヲ與フルハ「グラインダー」ナリ. 空電ノ妨害ハ長波ニ多ク, 短波ニ少シ.

[v] 「デリンジャー」現象. 米國ノ「デリンジャー」(Deringer)ガ初メテ發見シタル電波傳播ノ現象ニシテ, 短波通信ヲナス際, 晝間10分乃至1時間受信強度ガ下リ, 甚シキトキハ全然聽キ得ザル状態トナル現象ニシテ, ソノ特徴ハ受信強度ガ非常ニ急激ニ降下スルコト, 電波ノ通路ノ一部又ハ全部ガ晝間ナルコト, 約54日ノ週期ヲ有スルコト, 及ビ, 波長10 m以下ノモノニ對シテハ餘リ影響セザルコト等ニシテ, ソノ原因ハ太陽ヨリ出ヅル微粒子ガ電離層ヲ攪亂スルニヨル等ト考ヘラルルモ, 未ダ確定セズ.

[vi] 「ルクセンブルグ」効果. 或大放送局ノ附近ノ小放送局ノ電波ニ受信機ヲ同調セシメテ聽取スルトキ, 波長ノ異ナル大放送局ノ電波ガ混信シ來ル現象ニシテ, コレガ「ルクセンブルグ」放送局ノ電波ニヨリテ發見セラレタルニヨリソノ名アリ. 此ノ現象ハ, 大放送局ノ電波ガ電離層ニ到達スルトキ, ソノ電離層ニテ電波ガ減衰セシメラルル時, 電離層ヲソノ電波ガ動搖セシメ, 次ニ他ノ電波ガソノ電離層ニ當ルトキ, 上ノ電離層ノ動搖ニツレテ電波ガ減衰スル故ニ, 地上ニ到達スル電波ハ前ノ大電力ノ放送電波ト同

一變調ヲ受ケタルト同一結果トナリ, 小放送局ノ電波ニ同調シタル受信機ニモ亦大電力ノ放送ガ混入スルモノト考ヘラル.

## 要 項 (第十章)

電磁場ノ傳播ニハ時間ヲ要ス。

電媒質ノ電氣偏極ガ振動的ニ行ハルル時ハ、恰モ電媒質内ニ交流アルト同様ニ、附近ニ電磁場ヲ生ズ。此ノ電媒質内ニ考ヘラレタル電流ヲ變位電流ト名ヅク。其ノ大キサハ（平行板蓄電器ニ於テハ）

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{S}{4\pi} \frac{dD}{dt}$$

即チ、蓄電器ニ續ク導線ヲ流ルル電流ト變位電流トハ一續キノ閉電流ト考ヘラレルナリ。

「マクスウェル」ハ電磁場ノ媒達スル思想ニ基ヅキ、又、變位電流ノ概念ヲ導入シテ、「ビオ・サバル」ノ法則、「ファラデー」ノ電磁感應ノ法則ヲ微分方程式ノ形ニテ表ハシ、コレガ一般ニ任意ノ媒質内ニテモ成立スルトシテ、媒質内ノ電磁場ノ時間的、空間的關係ヲ導出シ（「マクスウェル」ノ電磁方程式）、電磁波ノ存在ヲ豫言シ、又、光ノ電磁波説ヲ唱ヘタリ。

電磁波ハ横波ニシテ、電波、磁波ノ振動方向及傳播方向ハ互ニ垂直ニシテ右手系ヲナシ、ソノ傳播速度ハ

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu k}}$$

ナリ。ココニ  $\mu$  ハ透磁率（C.G.S.電磁單位）ニシテ、 $k$  ハ電媒常數（C.G.S.靜電單位）ニシテ、 $c$  ハ 1 C.G.S. 電磁單位ノ電氣量

ニ對スル 1 C.G.S. 靜電單位ノ電氣量ノ比ニシテ速度ノ元ヲ有ス。實測ニヨレバ、

$$c = 2.9979 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$$

ナリ。

「ヘルツ」ノ實驗ニヨリテ電磁波ノ存在スル事證明セラレタリ。即チ、電磁波ハ直進、反射、屈折、干涉、廻折、偏リノ現象ヲ呈スルナリ。

「レッヘル」導線ニヨリテ高周波ノ振動ノ波長（從ツテ振動數）ヲ測定シ得。

電磁波ノ通達距離ヲ大トナスタメ空中線ヲ用フ。

大氣中ノ電磁波ノ傳播ニ關シテ、成層圈内ニ  $K-H$  層ナルモノアリトセラル。  $K-H$  層ハ  $E, F$  二層ニ別タレ、 $F$  ハ更ニ  $F_1, F_2$  ニ分タル。

電磁波ハ波長〔從ツテ振動數（周波數）〕ニヨリテ、長波、中波、中短波、短波、超短波及ビ極超短波ニ分類セラル。

電波ハ地表波ノ他ニ空間波トシテモ傳播ス。地表波ハ波源ニ續ク範圍ニ、空間波ハ跳躍距離ヲ距テタル部分ヨリ始マリテ遠ク續ク範圍ニ傳達ス。跳躍距離ト地表波到達ノ最大距離トノ間ヲ不感區域ト云フ。

電磁波ノ傳播ニ妨ゲトナル、反響、「フェーディング」等ノ現象起ル。

附 錄

電磁場ノ一般的性質

次ニ述ブル所ハ電磁場ノ一般的性質、即チ「マクスウェル」ニヨリテ始メテ提唱セラレタル電磁理論ノ概要ナリ。コレハ諸子ガ既得セル物理學、殊ニ電磁氣學ノ基礎知識ヨリ容易ニ理解シ得ルモノナレバ、一讀スルヲヨシトス、カクシテ、今日ノ無線通信ノ盛果ガ實ニ此ノ理論ノ上ニ立チテ始メテ得ラレタルモノナルコトヲ了得スベシ。

第 一 章

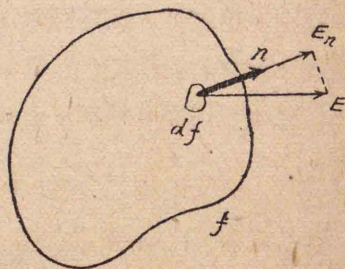
「マクスウェル」ノ電磁理論

1. 「マクスウェル」ノ電磁理論ノ基礎トナル事項

[i] 「ガウス」ノ定理

[卷ノ三]

電場(又ハ磁場)内ノ任意ノ閉曲面上ノ總電氣力束(又ハ總磁氣力束)ハ、ソノ閉曲面ニ包マレタル體積内ニアル電氣量(又ハ磁氣量)ノ和ノ4π倍ニ等シク、閉曲面外ニアル電氣量(又ハ磁氣量)ニハ無關係ナリ。即チ(1圖)。



1 圖

$$\sum_{f(\text{面上})} E_n df = 4\pi \sum_{f(\text{面内})} q, \quad (\alpha_e')$$

$$\sum_{f(\text{面上})} H_n df = 4\pi \sum_{f(\text{面内})} m. \quad (\alpha_m')$$

電氣變位(電氣感應)

$$D = kE. \quad k: \text{電媒常數(真空中ニテハ1)}$$

磁氣感應(磁氣誘導)

$$B = \mu H. \quad \mu: \text{透磁率(誘磁率)(真空中ニテハ1)}$$

「ガウス」ノ定理ハ一般ニ

$$\sum_{f(\text{面上})} D_n df = 4\pi \sum_{f(\text{面内})} q, \quad q: \text{眞電荷}. \quad (\alpha_e)$$

$$\sum_{f(\text{面上})} B_n df = 4\pi \sum_{f(\text{面内})} m. \quad (\alpha_m)$$

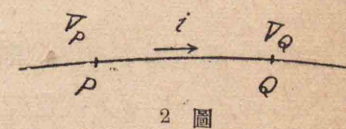
[ii] 「オーム」ノ法則

$$i' = K(V_P - V_Q) = \frac{1}{R}(V_P - V_Q). \quad (b')$$

$i'$ : 導體内ノ傳導電流(2圖),

$K$ : 電氣傳導度,

$R$ : 電氣抵抗.



2 圖

$$\therefore i_0' = -x \frac{dV}{ds} = xE, \quad (\because E = -\frac{dV}{ds}) \quad (b)$$

$i_0'$ : 電流密度(單位直斷面積ニツキテノ電流),

$x$ : 比傳導度,

$E$ : 電場ノ強サ.

[iii] 變位電流 [卷ノ四 第十章§2]

電媒質内ノ電場(帶電導體ノ表面近ク)ハ、

$$E = \frac{4\pi\sigma}{k}$$



$\sigma$  : 表面電荷密度,

$k$  : 電媒常數.

$$D = kE = 4\pi\sigma.$$

(a) = ヨリ (3圖 = 於テ)

$$\int Ddf = 4\pi \Sigma \sigma = 4\pi q.$$

從ツテ.

$$q = \int \frac{D}{4\pi} df.$$

即チ

$$\sigma = \frac{D}{4\pi}.$$

$$\text{變位電流ノ密度 } i_0'' = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{4\pi} \frac{\partial D}{\partial t}.$$

$$\text{變位電流ノ強サ } i'' = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \int \frac{D}{4\pi} df = \left[ \frac{1}{4\pi} \frac{\partial D}{\partial t} \right] df$$

.....(c)

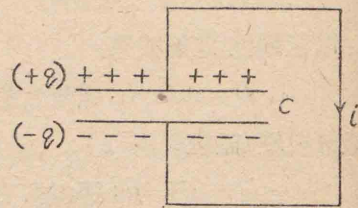
回路中ニ蓄電器ヲ插ミ、其ノ極間ヲ通ジテ放電ガ行ハルル如キ場合ハ、極板ニ存スル眞電荷  $q$  ガ時間的ニ減少スルト共ニ、電媒質内ニ於テハ必ズ電氣變位  $D$  ノ時間的變化ガ結果ス。從ツテ、コノ際ノ電流ノ強サトシテ

$$\frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \int \frac{D}{4\pi} df = \left[ \frac{1}{4\pi} \frac{\partial D}{\partial t} \right] df$$

$df$ :  $q$  ヲ包ム表面  $f$  ハ微小部分.

ヲトルトセバ、電媒質内ニ上述ノ變位電流 (c) ヲ假定スルコトニヨリテ、之 (變位電流) ガ傳導電流ト合シテ、依然トシテ閉回路ヲ作ルト見做シ得ベシ.

此事ニ基キテ「マクスウェル」ハ一般ニ變位電流ヲツノ電流ト



3 圖

(c')

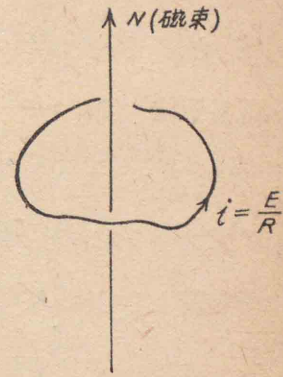
シテ理論中ニ取入レタルナリ.



4 圖

[iv] 電流  $i$  ノ周圍ニ單位磁極ガ一周スルトキノ仕事 [卷ノ四] (4圖)

$$\text{仕事 } W = 4\pi i. \quad (d)$$



5 圖

[v] 電磁感應ニ關スル「ファラデー」ノ法則

$$E = - \frac{\partial N}{\partial t}. \quad (e)$$

$E$ : 感應起電力 (5圖),

$N$ : 全磁束 (全磁氣感應束).

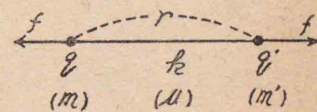
[vi] 電磁單位ト靜電單位トノ關係

電氣量  $q$  及ビ電流  $i$  ニツキテ、ソレラノ元ヲ考フ.

靜電單位ニ於テ: — 靜電氣力ハ「クーロン」ノ法則ヨリ,

$$F = \frac{1}{k} \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

$k$  ヲ元ナシト定ムレバ、 $q$  及ビ  $i$  ノ元ハ



6 圖

$$\text{電氣量 } [q] = [M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}],$$

$$\text{電 流 } [i] = [M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-2}].$$

電磁單位ニ於テ：—— 靜磁氣力ハ「クーロン」ノ法則ヨリ、

$$F = \frac{1}{\mu} \frac{m_1 m_2}{r}.$$

$\mu$  ノ元ナシト定ムレバ、 $m, H, i, q$  ノ元ハ

$$\text{磁氣量 } [m] = [M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}],$$

$$\text{磁 場 } [H] = [M^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} T^{-1}],$$

$$\text{電 流 } [i] = [M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1}],$$

$$\left[ \therefore H = \frac{2i}{d}, \text{ 即チ, } i = \frac{Hd}{2}, \quad \text{〔卷ノ四〕} \right]$$

$$\text{電氣量 } [q] = [t][T] = [M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}].$$

故ニ、電氣量  $q$  及ビ電流  $i$  ニツキテ、元ハ

$$\frac{[\text{靜電單位}]}{[\text{電磁單位}]} = [LT^{-1}]. \quad (f)$$

實測ニヨレバ、

1 電磁單位ノ電氣量(又ハ電流)

$$\approx 3 \times 10^{10} \text{ 靜電單位ノ電氣量(又ハ電流)}. \quad (f')$$

即チ、一定ノ電氣量(又ハ電流)ヲ靜電單位ニテ表ハシタル數ト、電磁單位ニテ表ハシタル數トノ比ハ  $3 \times 10^{10}$  cm/sec, 即チ、真空中ノ光速  $c$  ニ等シ。

此ノ比及ビ光速ノ實測値ハ次ノ如シ。

$$\frac{1 \text{ c.m.u.}}{1 \text{ e.s.u.}} = 2.9979 \times 10^{10} \text{ cm/sec.} \quad \text{〔「ロザ」ト「ドーゼイ」〕}$$

$$\text{光速 } c = 2.99796 \times 10^{10} \text{ cm/sec.} \quad \text{〔「マイケルソン」〕}$$

即チ、兩者ノヨク一致スルヲ見ルベシ。

## 2. 均質體中ニ於ケル基礎電磁方程式

(i) 電荷ト電場、磁荷(磁氣量)ト磁場トノ關係。「ガウス」ノ定理

電場ニツキテ、「ガウス」ノ定理、即チ、(a)式ヲ次ノ直方體ニ適用ス。

ソノタメニ、先ヅ、直方體  $AG$ (7圖)ヲ通シテ外ニ出ヅル全電氣感應束(全電氣變位束)ヲ計算ス。

$x$  軸ニ平行ナル電氣變位ノ値ヲ

$AC$  面ニ於テ  $D_x$  トセバ、

$EG$  面ニ於テハ  $D_x + \frac{\partial D_x}{\partial x} dx$  トシテ表ハサル。

從ヒテ、 $x$  軸ニ垂直ナル兩面  $AC, EG$  ヲ通過シテ外ニ出ヅル全電氣感應束ハ

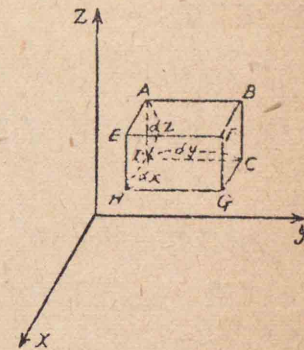
$$\left( D_x + \frac{\partial D_x}{\partial x} dx \right) dy dz - D_x dy dz = \frac{\partial D_x}{\partial x} dx dy dz.$$

$y$  軸ニ平行ナル電氣變位ノ値ヲ

$AH$  面ニ於テ  $D_y$  トセバ、

$BG$  面ニ於テハ  $D_y + \frac{\partial D_y}{\partial y} dy$  トシテ表ハサル。

從ヒテ、 $y$  軸ニ垂直ナル兩面  $AH, BG$  ヲ通過シテ外ニ出ヅル



7 圖

全電氣感應束ハ

$$\left(D_y + \frac{\partial D_y}{\partial y} dy\right) dz dx - D_y dz dx = \frac{\partial D_y}{\partial y} dx dy dz.$$

$z$  軸ニ平行ナル電氣變位ノ値ヲ

$DG$  面ニ於テ  $D_z$  トセバ,

$AF$  面ニ於テハ  $D_z + \frac{\partial D_z}{\partial z} dz$  トシテ表ハサル.

從ヒテ,  $z$  軸ニ垂直ナル兩面  $DG, AF$  ヲ通過シテ外ニ出ヅル

全電氣感應束ハ

$$\left(D_z + \frac{\partial D_z}{\partial z} dz\right) dx dy - D_z dx dy = \frac{\partial D_z}{\partial z} dx dy dz.$$

故ニ, 直方體  $AG$  (閉曲面) ヲ通過シテ外ニ出ヅル全電氣感應束ハ

$$\left(\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z}\right) dx dy dz.$$

直方體  $AG$  (閉曲面) 内ノ全電荷ハ, 電荷ノ體積密度ヲ  $\rho$  トセバ,  $\rho dx dy dz$  ナリ.

從ヒテ,  $(a_e)$  式ニヨリ

$$\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = 4\pi\rho.$$

又ハ,

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{4\pi\rho}{k}. \quad (\because D = kE) \quad (1)$$

若シ, 直方體  $AG$  内ニ電荷ヲ含マザルトキハ

$$\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = 0.$$

又ハ,

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

次ニ磁場ニツキテ, 「ガウス」ノ定理, 即チ,  $(a_m)$  式ヲ適用ス.

磁氣ハ常ニ正負相伴ヒテ存在ス. 故ニ閉曲面内ニ於テハ磁氣量ノ總和  $\Sigma m = 0$  ナリ.

從ヒテ, 電場ノ場合ト同様ノ推論ニヨリテ,  $(2)$  式ニ對應シテ, 次ノ式ヲ得.

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

或ハ

$$\frac{\partial H_x}{\partial x} + \frac{\partial H_y}{\partial y} + \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

今電位ヲ  $V$  ニテ表ハサバ,  $E = -\frac{\partial V}{\partial s}$ , 即チ,

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}.$$

ナル故ニ,  $(1), (2)$  式ハ次ノ如ク書直サル. 即チ

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{4\pi\rho}{k} \quad (\text{電荷アル場合}). \quad (4)$$

[「ポアソン」ノ方程式]

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (\text{電荷ナキ場合}). \quad (5)$$

[「ラプラス」ノ方程式]

[注意] 電氣變位ノ値ノ計算ニ於テ, 例ヘバ,  $AC$  面ニ於テ  $D_x$  トシタルモ, 更ニ詳シク考フレバ,  $AC$  面内ノ  $D$  點ニ於テ  $D_x$  トセバ,  $C$  點ニ於テハ  $D_x + \frac{\partial D_x}{\partial y} dy$  ナリ. 同様ニ  $EG$  面内ノ  $H$  點ニ於テハ  $D_x + \frac{\partial D_x}{\partial x} dx$  ニシテ,  $G$  點ニ於テハ  $\left(D_x + \frac{\partial D_x}{\partial y} dy\right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x + \frac{\partial D_x}{\partial y} dy\right) dx = D_x + \frac{\partial D_x}{\partial x} dx + \frac{\partial D_x}{\partial y} dy + \frac{\partial^2 D_x}{\partial x \partial y} dx dy = D_x$

$+\frac{\partial D_x}{\partial x}dx + \frac{\partial D_y}{\partial y}dy$ . 故ニ  $D$  點ノ電氣變位ト  $H$  點ノソレトノ差,  
及ビ,  $C$  點ノ電氣變位ト  $G$  點ノソレトノ差ハ, 何レモ  $\frac{\partial D_x}{\partial x}dx$  ト  
ナル. 從ヒテ, 夫々  $AC$  面上及ビ  $EG$  面上ノ對應スル二點ノ電  
氣變位ノ差ハ  $\frac{\partial D_x}{\partial x}dx$  トナル. 故ニ,  $AC$  面及ビ  $EG$  面ヲ通シ  
テ外ニ出ヅル電氣感應束ノ値ハ  $\frac{\partial D_x}{\partial x}dx dy dz$  トナルナリ.

[ii] 電流ト電場トノ關係, 「オーム」ノ法則, 變位電流  
「オーム」ノ法則: (b)式ニヨリ, 傳導電流ハ

$$i' = -\kappa \frac{dV}{ds} = \kappa E. \quad (6)$$

電媒質中ニオケル變位電流ハ (c) 式ニヨリ

$$i'' = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{4\pi} \frac{\partial D}{\partial t}. \quad (7)$$

一般ニ電流ハ (6), (7) 兩者ノ和ナレバ

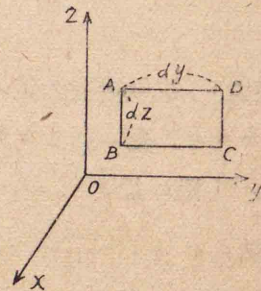
$$i = i' + i'' = \kappa E + \frac{1}{4\pi} \frac{\partial D}{\partial t} = \kappa E + \frac{k}{4\pi} \frac{\partial E}{\partial t}. \quad (8)$$

[iii] 電流ト靜的磁場トノ關係磁  
極ガ電流ヲ周回スル際ノ仕事ノ式  
(d) ヲ適用ス.

矩形ノ道  $ABCD$  ニ沿ヒテ單位  
磁極ヲ一周セシムルトキ, 磁場ガナ  
ス仕事ヲ計算ス (8圖). 但シ面  $ABC$   
 $D$  ハ  $x$  軸ニ垂直ナリ.

磁場ノ強サノ  $z$  分値ヲ

$AB$  上ニ於テ  $H_z$  トセバ



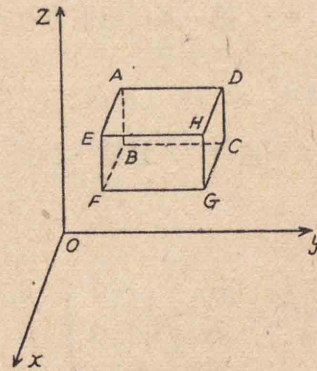
8 圖

$CD$  上ニ於テハ  $H_z + \frac{\partial H_z}{\partial y}dy$  ニテ表ハサル.

從ヒテ,  $\vec{AB}, \vec{CD}$  間ニ於テ磁場ガナス仕事ハ

$$\left(H_y + \frac{\partial H_z}{\partial y}dy\right)dz - H_z dz = \frac{\partial H_z}{\partial y}dy dz.$$

磁場ノ強サノ  $y$  分値ヲ



9 圖

$BC$  上ニ於テ  $H_y$  トセバ,

$DA$  上ニ於テハ  $H_y + \frac{\partial H_y}{\partial z}dz$  ニテ表ハサル.

從ヒテ,  $\vec{BC}, \vec{DA}$  間ニ於テ磁場ガナス仕事ハ

$$-\left(H_y + \frac{\partial H_y}{\partial z}dz\right)dy + H_y dy = -\frac{\partial H_y}{\partial z}dy dz.$$

故ニ  $ABCD$  ヲ一周スルトキ磁場ガナス仕事  $dW$  ハ

$$dW = \frac{\partial H_z}{\partial y}dy dz - \frac{\partial H_y}{\partial z}dy dz = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}\right)dy dz.$$

此ノ仕事ガ,  $ABCD$  面ヲ横切ル全電流  $i_x dy dz$  ノ  $4\pi$  倍ニ等  
シ (但シ,  $i_x$  ハ  $ABCD$  ニ垂直ナル電流ノ密度ナリ).

$$\left. \begin{aligned} \therefore 4\pi i_x &= \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \\ \text{同様ニシテ} \\ 4\pi i_y &= \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \\ 4\pi i_z &= \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

(9)式ヲ「マクスウェル」ノ第一基礎磁電方程式ト稱ス。コレハ電流ト靜磁場トノ關係ヲ示ス。

[注意] [i]ノ終リニ述ベタル注意ト同様ナル考察ヲ要スルコト勿論ナリ。

(8)ヲ(9)ニ代入シテ

$$\left. \begin{aligned} k \frac{\partial E_x}{\partial t} + 4\pi x E_x &= \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \\ k \frac{\partial E_y}{\partial t} + 4\pi x E_y &= \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \\ k \frac{\partial E_z}{\partial t} + 4\pi x E_z &= \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

此ノ式ヲ傳導電流ノナキ場所、即チ、電媒質(不導體)中ニ適用スルトキハ左邊ノ第二項ハ消失ス。

此ノ式ニ於テ、單位ハ同一單位系ナルヲ要スルコト勿論ナリ。即チ、例ヘバ、全部ガ電磁單位ナルカ、又ハ全部ガ靜電單位ナルカヲ要ス。

今、電氣量ヲ電磁單位及ビ靜電單位ニテ測定シタリトセバ

$$F = \frac{1}{k} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ニヨリテ、電媒常數  $k$  ノ値ハ電磁單位ノ場合ヲ  $k_m$ 、靜電單位ノ

場合ヲ  $k_s$  トセバ

$$k_m = \frac{1}{F} \frac{q_{1m} q_{2m}}{r^2}, \quad k_s = \frac{1}{F'} \frac{q_{1s} q_{2s}}{r^2}$$

(f), (f')式ニヨリ

$$\frac{k_m}{k_s} = \frac{q_{1m} q_{2m}}{q_{1s} q_{2s}} \left( = \frac{1}{[LT^{-1}]^2} \right) = \frac{1}{c^2}$$

$$\therefore k_s = c^2 k_m. \quad (11)$$

故ニ、(10)ニ於テ、 $x, E, H$ ヲ電磁單位ニテ測定シタル數値、 $k$ ヲ靜電單位ニテ測定シタル數値トシ、且ツ電媒質即チ不導體ノ媒質中ニ於ケル關係示ヲサバ(第二項ハナキ故)、

$$\left. \begin{aligned} \frac{k}{c^2} \frac{\partial E_x}{\partial t} &= \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \\ \frac{k}{c^2} \frac{\partial E_y}{\partial t} &= \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \\ \frac{k}{c^2} \frac{\partial E_z}{\partial t} &= \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

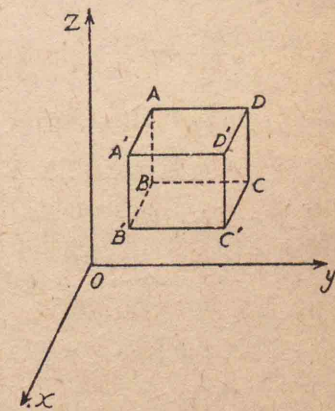
[電媒質中ニオケル電場ノ時間的變化ト磁場トノ關係]

[iv] 變化スル磁場ト電場トノ關係、「ファラデー」ノ電磁感應ノ法則

感應動電力ハ單位正電荷ヲソノ回路ニ沿ヒテ一周スルトキノ仕事ナリ。

此ノ仕事ヲ計算スベシ。

單位電荷ガ  $x$ ニ垂直ナル面内ニ  $ABCD$ ニ沿ヒテ一周スルトキ電場ガナス仕事ヲ計算ス(10圖)。



10 圖

電場ノ強サノ  $z$  分値ハ

$AB$  上ニテ  $E_z$  トセバ,

$CD$  上ニテ  $E_z + \frac{\partial E_z}{\partial y} dy$  ナリ.

$\vec{AB}$ ,  $\vec{CD}$  ノ移動ニ於テ電場ガナス仕事ハ

$$\begin{aligned} & \left( E_z + \frac{\partial E_z}{\partial y} dy \right) dz - E_z dz \\ & = \frac{\partial E_z}{\partial y} dy dz. \end{aligned}$$

電場ノ強サノ  $y$  分値ハ

$BC$  上ニテ  $E_y$  トセバ,

$DA$  上ニテ  $E_y + \frac{\partial E_y}{\partial z} dz$  ナリ.

$\vec{BC}$ ,  $\vec{DA}$  ノ間ニ電場ガナス仕事ハ

$$-\left( E_y + \frac{\partial E_y}{\partial z} dz \right) dy + E_y dy = -\frac{\partial E_y}{\partial z} dy dz.$$

故ニ  $ABCD$  ヲ一周スルトキ電場ガナス仕事 (= 此ノ回路内ノ動電力) ハ

$$\left( \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) dy dz.$$

コレガ (c) 即チ「フレデー」ノ電磁感應ノ法則ニヨリテ  $ABCD$  面ヲ横ギル全磁氣感應束, 即チ  $N = B_x dy dz$  ノ時間ニ對スル減少ノ割合ニ等シ. 即チ

$$-\frac{\partial N}{\partial t} = -\frac{\partial B_x}{\partial t} dy dz = \left( \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) dy dz.$$

$y, z$  ニ垂直ナル面ニツキテモ同様ナル關係アル故ニ,

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial B_x}{\partial t} &= \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}, \\ \frac{\partial B_y}{\partial t} &= \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}, \\ -\frac{\partial B_z}{\partial t} &= \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \end{aligned} \right\} \text{即チ} \left. \begin{aligned} -\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} &= \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}, \\ -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} &= \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}, \\ -\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \end{aligned} \right\} (13)$$

(13) ヲ「マクスウェル」ノ第二基礎電磁方程式ト云フ. コレハ磁場ノ時間的變化ト電場トノ關係ヲ示ス.

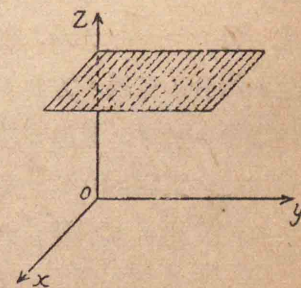
【注意】 此ノ場合ニモ前述ノ注意ト同様ナル注意ヲ要スルコト勿論ナリ.

### 3. 電磁的波動〔光ノ電磁波説〕

「マクスウェル」(1864年) ハ前節ノ結果ヨリ更ニ電氣力ト磁氣力トハ媒質中ニテ波トシテ傳達シ得, 其ノ傳播速度ハ光ノソレニ等シク, 其ノ他多クノ相似點ガ兩者ノ間ニアルコトヲ導キ. 光モ電磁波ニ外ナラズトシ, 所謂光ノ電磁説(1873年)ヲ公ニセリ. 其ノ後「ヘルツ」(1888年) ハ後ニ述ブル如ク, 導體中ノ電氣振動ニヨリテコノ電磁波ノ實在ト諸性質トヲ實證シ, 其ノ後ノ諸研究ハ光, 熱線, X線等ノ真空傳達ノ諸波ハ凡テコノ電磁波ノ一態ト見做シ得ル事ヲ裏書キシタルナリ.

以下, 電磁波ノ存在シ得ル所以ト其ノ性質トヲ, 最モ簡單ナル平面波ノ場合ヲ採リテ説明スベシ.

今, 均質電媒質(不導體)中ニテ各點



11 圖

ノ電氣力  $E$  ハ、同一時刻ニテ、各  $xy$  平面上夫々ニ於テハ總テ同一(位置的ニ)ナリトシ、磁氣力ニツキテモ同様ナリトセバ(此事ハ、 $xy$  平面ヲ波面トスル平面波ナリトイフ條件ナリ)(11圖).

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial E_x}{\partial x} = \frac{\partial E_y}{\partial x} = \frac{\partial E_z}{\partial x} = \frac{\partial E_x}{\partial y} = \frac{\partial E_y}{\partial y} = \frac{\partial E_z}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial H_x}{\partial x} = \frac{\partial H_y}{\partial x} = \frac{\partial H_z}{\partial x} = \frac{\partial H_x}{\partial y} = \frac{\partial H_y}{\partial y} = \frac{\partial H_z}{\partial y} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\alpha)$$

トナル故ニ、前節(12),(13)ノ兩式ハ次ノ如クナル.

$$\frac{k}{c^2} \frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{\partial H_y}{\partial z}, \quad \frac{k}{c^2} \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{\partial H_x}{\partial z}, \quad \frac{k}{c^2} \frac{\partial E_z}{\partial t} = 0 \quad (12')$$

$$\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{\partial E_y}{\partial z}, \quad -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{\partial E_x}{\partial z}, \quad \mu \frac{\partial H_z}{\partial t} = 0. \quad (13')$$

右端ノ二式ガ示ス如ク、 $E_z, H_z$  ハ時間的ニ變化セズ。即チ電氣磁氣力ハ  $xy$  分値ノミガ時間的ニ變化ス。又  $(\alpha)$  ト §2(2),(3)トヨリ

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial E_z}{\partial z} = -\frac{\partial E_x}{\partial x} - \frac{\partial E_y}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial H_z}{\partial z} = -\frac{\partial H_x}{\partial x} - \frac{\partial H_y}{\partial y} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (\beta)$$

即チ、 $E_z$  及ビ  $H_z$  ハ位置的ニモ不變ナリ [( $\alpha$ ), ( $\beta$ ) 兩式ヨリ]. 従ツテ、電磁波ノ進行方向ノ分値  $E_z, H_z$  ハ時間的ニモ位置的ニモ不變ナリ。即チ  $E, H$  ノ  $x, y$  分値ノミガ時間的ニモ位置的ニモ變化シ得ルコトトナル。換言スレバ電磁波ハ[横波]ナリ。

此ノ場合ノ電場ノ方向ト磁場ノ方向トノ關係ヲ求メン。假リニ、上ノ場合ニ於テ、電場ガ變化スル方向ヲ  $x$  方向ニ選ベバ[コレハ「ヘルツ」ノ實驗ニヨリテ定マルモノナルガ], 其ノ  $y$  分値ハ時間的ニモ位置的ニモ不變トナリ,

$$(12') \text{ヨリ} \quad \frac{k}{c^2} \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{\partial H_x}{\partial z} = 0,$$

$$(13') \text{ヨリ} \quad \mu \frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{\partial E_y}{\partial z} = 0$$

トナリ、磁氣力ノ  $x$  分値ハ、此ノ兩式及ビ  $(\alpha)$  ヨリ、時間的ニモ位置的ニモ不變トナル。即チ磁氣力ノ  $y$  分値ノミガ變化ス。換言スレバ電氣力ト磁氣力トノ變化スル方向ハ互ニ[垂直]ナリ。

變化スル電氣力、磁氣力間ノ關係ハ (12'), (13') ノ残りノ式ヨリ.

$$\left. \begin{aligned} (12') \text{ヨリ} \quad \frac{k}{c^2} \frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{\partial H_y}{\partial z}, \\ (13') \text{ヨリ} \quad -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{\partial E_x}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

トナル。即チ電氣力、磁氣力ハ  $yx$  面内ニテ互ニ垂直ナル方向ニ時間的ニ變化シ、又此ノ兩分値ガ  $z$  方向ニ位置的ニ變化ス。

尚ホ (1) 式ヨリ [第一式ヲ  $t$  ニツキテ微分シ 第二式ノ關係ヲ代入セバ]

$$\frac{k}{c^2} \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} = -\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial H_y}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) = \frac{1}{\mu} \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2},$$

同様ニ [第二式ヲ  $t$  ニツキテ微分シ、第一式ヲ代入セバ]

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2} &= -\frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial E_x}{\partial t} \right) = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} \left( -\frac{c^2}{k} \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) \\ &= \frac{c^2}{\mu k} \frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2}. \end{aligned}$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} &= \frac{c^2}{k\mu} \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2}, \\ \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2} &= \frac{c^2}{k\mu} \frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

此ノ (2) 式ハ波動ヲ示ス微分方程式ニシテ、例ヘバ

$$\left. \begin{aligned} E_x &= E_0 \sin \left\{ \omega \left( t - \frac{z}{v} + c_1 \right) \right\}, \\ H_y &= H_0 \sin \left\{ \omega \left( t - \frac{z}{v} + c_2 \right) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ニヨリテ満足セラル。〔第四卷 VIII, §5, (13)〕

何トナレバ, (3) 式ヲ微分セバ

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial E_x}{\partial t^2} &= \omega^2 E_0 \cos \left\{ \omega \left( t - \frac{z}{v} + c_1 \right) \right\} = -v \frac{\partial E_x}{\partial z}, \\ \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2} &= -\omega^2 H_0 \sin \left\{ \omega \left( t - \frac{z}{v} + c_2 \right) \right\} = v^2 \frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ニシテ,

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial H_y}{\partial t} &= \omega H_0 \cos \left\{ \omega \left( t - \frac{z}{v} + c_2 \right) \right\} = -v \frac{\partial H_y}{\partial z}, \\ \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2} &= -\omega^2 H_0 \sin \left\{ \omega \left( t - \frac{z}{v} + c_2 \right) \right\} = v^2 \frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

トナル, (4), (5) ト (2) トヲ比較シテ

$$v = \frac{c}{\sqrt{k\mu}} \quad (6)$$

ナリ。

(3) 式ハ速度  $v$  ヲ以テ  $z$  方向ニ進行スル波動ノ方程式ナレバ, (2) 式ノ解ハ  $v = \frac{c}{\sqrt{k\mu}}$  ナル速度ヲ以テ  $z$  方向ニ進行スル電氣力及ビ磁氣力ノ波動ノ方程式ナリ。而シテ  $E$  ハ  $x$  方向ニ振動シ,  $H$  ハ  $y$  方向ニ振動スル横波ナリ。

又 (1) 式〔(12')ヨリ〕ニヨリ  $\frac{\partial E_x}{\partial t}$  ト  $\frac{\partial H_y}{\partial z}$  トハ異符號, (5) (第一式) ニヨリ  $\frac{\partial H_y}{\partial t}$  ト  $\frac{\partial H_y}{\partial z}$  トハ異符號。故ニ  $\frac{\partial E_x}{\partial z}$  ト  $\frac{\partial H_y}{\partial t}$  トハ常ニ同符號ナリ。即チ  $E_x$  ト  $H_y$  トハ位相相等シ。

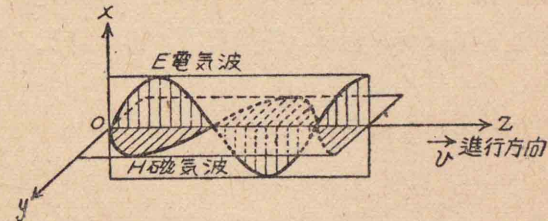
$$\therefore c_1 = c_2 = c. \quad (7)$$

故ニ (3), (4), (5) (1), (6) ヲヨリ

$$\frac{E_x}{H_y} = \frac{E_0}{H_0} = \frac{\frac{\partial E_x}{\partial t}}{\frac{\partial H_y}{\partial t}} = -v \frac{\frac{\partial E_x}{\partial z}}{-\frac{1}{\mu} \frac{\partial E_x}{\partial z}} = \mu v = \sqrt{\frac{\mu}{k}} \cdot c. \quad (8)$$

(3) (4), (5) 第一式, (7) (4) 第一式 (1) 第二式 (6)

コレヲ要スルニ, 電氣力, 磁氣力ノ時間空間的變化ハ共ニ  $z$  方向ニ  $\frac{c}{\sqrt{k\mu}}$  ナル傳播速度ニテ進ム平面波ヲナシ (平面波ナルコトハ豫メ假定ス), 振動面ハ電氣波ハ  $xz$  面内, 磁氣波ハ  $yz$  面内ニア



12 圖

リ。互ニ ( $E$  ト  $H$  トハ) 垂直ニシテ, 位相相等シク。振幅ノ比ハ  $\frac{E_x}{H_y} = \sqrt{\frac{\mu}{k}} \cdot c$  ナリ (12圖)。

特ニ真空中ニテハ  $k=1, \mu=1$  ナレバ,

真空中ノ電磁波ノ傳播速度

$$v_0 = c = \frac{1, e.m.u.}{1, e.s.u.} \quad \text{〔電氣量又ハ電流ニツキテ〕} \quad (9)$$

ナルヲ要ス。

真空中ノ光速速度

$$c = (2.99796 \pm 0.00004) \times 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

〔「マイケルソン」Michelson 1926〕。

$$\frac{1 \text{ e.m.u.}}{1 \text{ e.s.u.}} \quad \text{ノ値〔電氣量又ハ電流ニツキテ〕}$$



$$c = (2.9979 \pm 0.0001) \times 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

(「ロザ」ト「ドーゼイ」Rosa & Dorsey 1907).

兩者ハ極メテヨク一致. 故ニ光ハ電磁波ノ一種ナリト云フヲ得ベシ〔光ノ電磁波動説〕.

一般ノ媒質中ニテノ電磁波ノ傳播速度ハ (6) 式ノ如ク, 真空速度ノ  $\frac{1}{\sqrt{k\mu}}$  倍ニシテ, 電媒常數ト透磁率トノ平方根ニ逆比例ス. 又總テノ波動ニ於テ媒質 2 ノ媒質 1 ニ對スル屈折率  $n_{12}$  ハ〔第四卷 VIII, §9〕ニ述ベタル如ク, 各媒質中ノ傳播速度ノ比ニ等シ, 故ニ

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{k_2\mu_2}}{\sqrt{k_1\mu_1}} \quad (10)$$

或媒質ノ真空ニ對スル屈折率即チ絶對屈折率  $n$  ハ

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{k\mu} \quad (11)$$

強磁性體以外ノ普通ノ媒質ニテハ  $\mu$  ハ 1 ニ極メテ近ク,  $\mu=1$  ト看做サルル故ニ

$$v = \frac{c}{\sqrt{k\mu}} = \frac{c}{\sqrt{k}} \quad \therefore n = \sqrt{k} \quad (12)$$

之ガ實驗値トヨク一致スルカ否カラ確ムルノ要アリ. 而シテコレハ可成複雑ナリ.

普通電媒質ノ測定ニハ靜電場(振動數ガ零)カ或ハ極メテ低キ振動數 ( $50 \text{ sec}^{-1}$  程度) ノ電場ニ對スルモノニヨル. 然ルニ屈折率ハ光波ノ如ク高振動數〔可視光線ノ波長  $\lambda(4000 \sim 8000) \times 10^{-8} \text{ cm}$  即チ振動數  $\nu = 10^{15} \sim 10^{14} \text{ sec}^{-1}$  程度〕ノモノニ對シテ測定ス. 電媒常數  $k$  ノ値ハ測定ニ使用スル交流ノ周波數ノ大小ニヨリテ變化ス

ルモノナレバ, 普通ノ交流 (50~60「サイクル」) 又ハ電池ノ電源ニヨリテ測定シタル  $k$  ノ値ハ周波數 0 即チ波長  $\lambda = \infty$  ナルモノニ相當スト考ヘラル.

故ニ振動數ノ小ナル光波, 即チ,  $\lambda = \infty$  ニ對スル屈折率  $n_{\infty}$  ヲ求メ, コレト  $\sqrt{k}$  トヲ比較スルヲ要ス. 其ノ結果ハ次表ニ示ス如ク比較的ヨク一致スト云フヲ得ベシ.

| 物 質             | $k$      | $n^2 (\lambda = \infty)$ |
|-----------------|----------|--------------------------|
| パ ラ フ ィ ン       | 2.29     | 2.62                     |
| 石 油             | 2.07     | 2.08                     |
| 二 硫 化 炭 素       | 2.69     | 2.68                     |
| 水 晶             | 4.6      | 4.5                      |
| 空 氣             | 1.000295 | 1.000294                 |
| 炭 酸 瓦 斯         | 1.000473 | 1.000449                 |
| 水 素             | 1.000332 | 1.000340                 |
| 一 酸 化 炭 素       | 1.000345 | 1.000340                 |
| $N_2O$ (亞酸化窒素)  | 1.000497 | 1.000503                 |
| $C_2H_4$ (エチンレ) | 1.000565 | 1.000678                 |

#### 4. 電磁場ニ於ケル「エネルギー」ノ移動. 「ポインティング」ノ定理.

1884年「ポインティング」(Poynting)ハ電磁「エネルギー」ノ移動ニ關シテ次ノ定理ヲ導キ出セリ. 即チ,

電氣力ト磁氣力トガ共存スル電磁場ノ任意ノ點ニ於テ, 電氣力  $E$  ト磁氣力  $H$  トニ垂直ニ「エネルギー」ガ流レ, 單位時間ニ單位面積ヲ過リテ移ルソノ「エネルギー」ノ量  $S$  ハ,  $E, H$  間ノ角ガ  $\theta$  ナラバ

$$S = \frac{1}{4\pi} EH \sin \theta \quad (1)$$

ニシテ, ソノ流レノ向キハ,  $E, H, S$  ガ右手系ヲナス如キ向キナリ.

上ノ法則ヲ平面磁電波ノ場合ニツキテ導出スベシ.

電場ノ強サ  $E$  ナル點ニ於テ單位體積毎ノ電場ノ「エネルギー」ハ第三卷第一章第24節ニヨリテ  $\frac{kE^2}{8\pi}$ , 同様ニシテ單位體積毎ノ磁場ノ「エネルギー」ハ  $\frac{\mu H^2}{8\pi}$  ナリ. 而シテ平面電磁ニ於テハ  $E$  ト  $H$  トハ互ニ垂直ニシテ, ソノ大キサノ比ハ §3(8) ヨリ

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_m}{k_s}} \quad \begin{array}{l} \mu_m : e. m. u. \\ k_s : e. s. u. \end{array}$$

ナレバ,  $k$  ヲモ亦  $e. m. u.$  ニテ表ハストセバ

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_m}{k_m}} \quad \mu_m, k_m : e. m. u.$$

故ニ前記兩「エネルギー」ノ和ハ

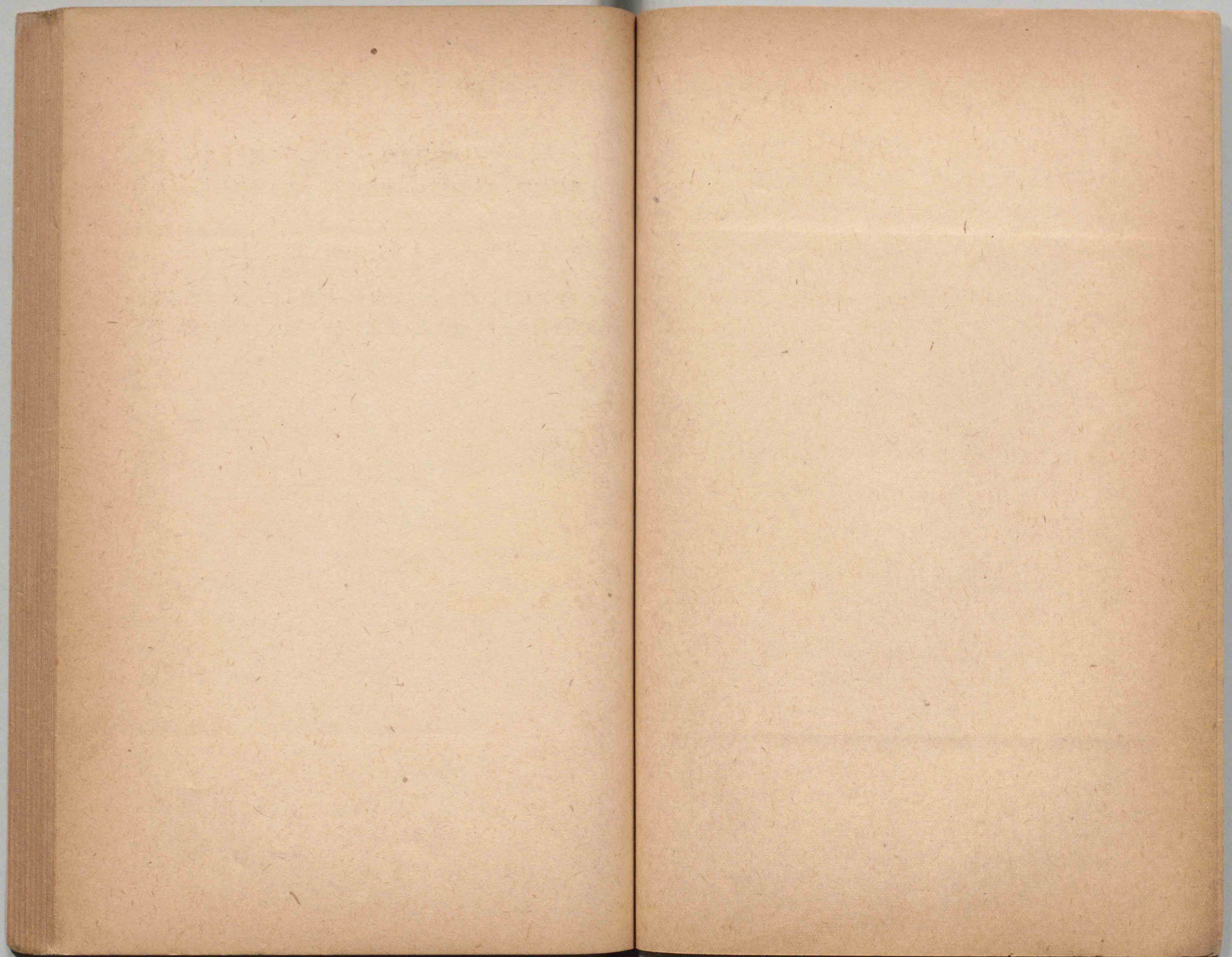
$$\frac{kE^2}{8\pi} + \frac{\mu H^2}{8\pi} = \frac{1}{8\pi} (\sqrt{k_m \mu_m} EH + \sqrt{k_m \mu_m} EH) = \frac{1}{4\pi} \sqrt{k_m \mu_m} EH.$$

コノ「エネルギー」ガ傳播速度  $v = \frac{1}{\sqrt{k_m \mu_m}}$  ニテ運バルルモノナレバ, 單位時間ニ單位面積 ( $v$ ニ垂直ナル) ヲ過リテ移ル「エネルギー」 $S$  ハ

$$S = \frac{1}{4\pi} \sqrt{k_m \mu_m} EH v = \frac{1}{4\pi} \sqrt{k_m \mu_m} EH \frac{1}{\sqrt{k_m \mu_m}} = \frac{1}{4\pi} EH \quad (2)$$

トナリ,  $E, H, S$  ( $S$ 從ヒテ  $v$ ) ノ向キハ12圖ニ示ス如ク, 右手系ヲナス如キ向キナリ. 即チ上ノ定理ト全ク一致ス. 勿論, 此ノ場合  $\theta = \frac{\pi}{2}$  ナリ.

(終)



卷之五 正誤表

48頁 (d) ノ式ヲ次ノ如ク改ム.

$$\begin{aligned} \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} &= \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \left(1 - \frac{1}{2}\omega^2 LC\right) + j\omega\sqrt{LC\left(1 - \frac{\omega^2 LC}{4}\right)} \\ &= \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2}\omega^2 LC\right)^2 + \omega^2 LC\left(1 - \frac{\omega^2 LC}{4}\right)}. \quad e^{j\theta} = e^{j\theta} \quad (d) \end{aligned}$$

49頁 上ヨリ 4行目

$$\begin{aligned} \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} &= \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = 1 - \frac{1}{2}\omega^2 LC - \omega\sqrt{\left(\frac{1}{4}\omega^2 LC - 1\right)LC} \quad (<0) \\ &= \left\{ \frac{1}{2}\omega^2 LC + \omega\sqrt{\left(\frac{1}{4}\omega^2 LC - 1\right)LC} - 1 \right\} e^{j\pi} \end{aligned}$$

=改ム.

54頁 34圖ノ  $E_1$  ノ兩端ノ  $\circ$  ノ所 = (A), B 及ビ  $E_2$  ノ兩端 = C, D  
ヲ附スベシ.

