

真空管電力計に就いて

富士電機 研究部 澤田 明信
 富士通信機 研究部 櫻井 正夫

内容梗概 前半に於て従来提案された種々の真空管電力計の諸検討を行ひ、後半に於て筆者が考案した新真空管電力計に就いて説明してゐる。

I 緒 言

数ワット以下の微小電力、又は商用サイクル以外の場合の電力の測定には真空管電力計に依るのが比較的簡単である。弊社に於て最近電気鐵板の研究途上、少量の鐵板を用ひて種々の周波數に對する鐵損を測定する必要から若干真空管電力計の研究を行つた。以下は其の真空管電力計の種々の検討並新考案の真空管電力計に就いて記述したものである。

II 真空管電力計の種々の検討

真空管電力計の基本回路は陽極電流對格子電壓特性曲線の自乗特性を利用する Turner^{1), 2)} 回路と多極管の特殊な特性を利用する Pierce³⁾ 回路とである。(第1圖及び第2圖参照) Turner 回

路電壓を E_{g1} とすれば其の陽極電流 I_1 は

$$I_1 = a_0 + a_1 E_{g1} + a_2 E_{g1}^2$$

$$E_{g1} = e_1 + e_2 + E_g$$

此の時間的平均を採れば交流分は消失し平均値 \bar{I}_1 は次式にて表はされる。

$$\bar{I}_1 = a_0 + a_1 E_g + 2a_2 e_1 e_2 + a_2 E_g^2$$

同様に第2真空管 V_2 に對しては其の格子電壓 E_{g2} とすれば $E_{g2} = e_1 - e_2 + E_g$ であるから、

$$\bar{I}_2 = a_0 + a_1 E_g - 2a_2 e_1 e_2 + a_2 E_g^2$$

従つて $\bar{I}_1 - \bar{I}_2$ 即ちマイクロ電流計 μA の電流は

$$\bar{I}_1 - \bar{I}_2 = 4a_2 e_1 e_2$$

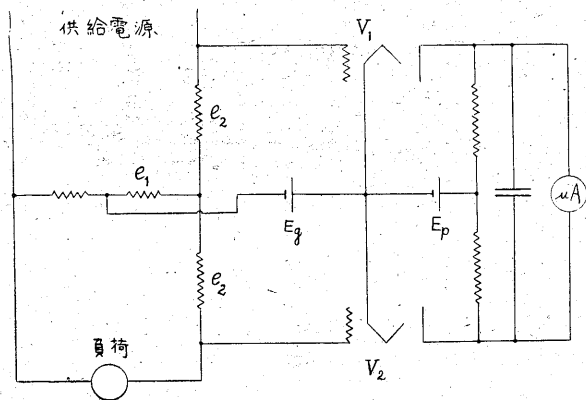
となつて電力に比例することゝなる。

又 Pierce 回路は元來多極真空管 Ut

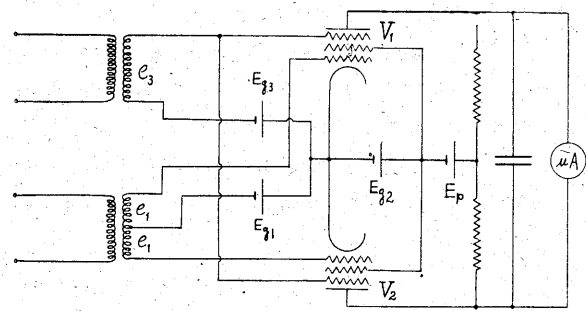
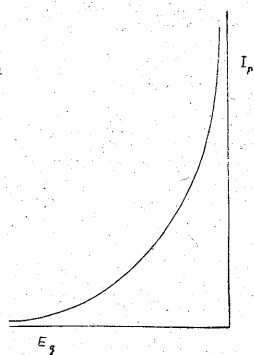
2A7 の特性を利用したものであるが、第2圖には便宜上之と同様な東北帝大永井教授の考案なる UZ-77 の回路を示した。但し e_1, e_3, V_1, V_2 は夫々第1圖回路の e_1, e_2, V_1, V_2 に相應するものとする。何れの場合も適當に動作点を定めると真空管の陽極電流 I_p が $E_{g1} \times E_{g3}$ に比例する。即ち E_{g1} をパラメーターとして E_{g3} に對して採つた I_p の曲線群が或る範圍に於ては1點から放射する直線群の如き關係をなすことを利用したものである。従つて e_1, e_3 に夫々適當な電壓を採れば第2圖の回路が電力計として動作することは説明を要しないと思はれる。

然るに以上の基本回路を實用化するに當つて次の様な困難が現れる。

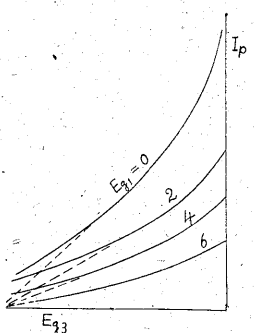
- (1) 電力に比例する有効直流分比べて打消す可き無効直流分が大きい爲、計器を長時間安定に保持することが困難なこと。
- (2) 2 箇の真空管を特性の同一なものに選ぶことが困難なこと。



第 1 圖



第 2 圖



路では第一真空管 V_1 の格子電極には負荷電流に比例する電壓 e_2 と電壓降下に比例する電壓 e_1 との和が加はるから真空管 V_1 の格

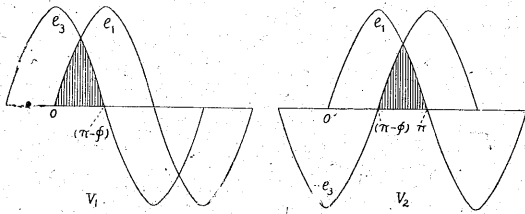
先づ第1の點に就いては前記永井教授⁴⁾が改良を試みられた。即ち真空管として Ut 2A7 よりも有効範圍の大なる UZ-77 を

使用し、動作点を $I_p=0$ の點に置くことに依り、(Pierce は特性曲線の中央に動作点を置いた) 電力に比例する有効直流分を増大させた。UZ-77 に於て $E_p=250V$, $E_{sg}=100V$ ならば $E_{g1}=-5.5V$, $E_{g3}=-55V$ が適當な偏倚電壓であつて此の場合の I_p は

$$I_p = ae_1e_3 \dots \dots \dots e_1, e_3 \text{ 共に正なる時。}$$

$$I_p = 0 \dots \dots \dots \text{何れか、又は何れも負なる時。}$$

即ち陽極電流は e_1, e_3 が共に正なる時のみ流れ得るのである。そこで次の様な交流電壓を加へると、 V_1, V_2 の I_p の時間的平均値は第3圖を参照して次の如くなる。



第 3 圖

$$e_1 = E_1 \sin \omega t, \quad e_3 = E_3 \sin(\omega t + \phi)$$

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi-\phi} a E_1 E_3 \sin \omega t \sin(\omega t + \phi) d\omega t$$

$$= \frac{a}{4\pi} E_1 E_3 (\pi \cos \phi - \phi \cos \phi + \sin \phi)$$

$$\bar{I}_2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi-\phi}^{\pi} a E_1 E_3 \sin \omega t \sin(\omega t + \phi) d\omega t$$

$$= \frac{a}{4\pi} E_1 E_3 (-\phi \cos \phi + \sin \phi)$$

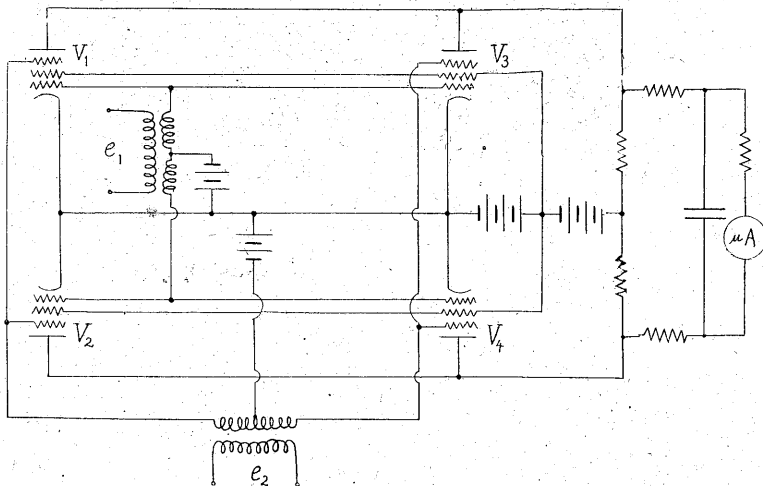
従つて計器電流は

$$\bar{I}_1 - \bar{I}_2 = \frac{a}{4} E_1 E_3 \cos \phi$$

となつて電力に比例する。之で電流計に約 $200 \mu A$ 流すことが出来た由である。此の方法は極めて巧妙な方法であるけれども鐵損測定の様高調波を含む場合は誤差を生ずる恐れがある。

例へば

$$e_1 = E_0 \sin \omega t$$



第 4 圖

$$e_3 = \sum_{n=1}^{\infty} E_n \sin(n\omega t + \phi_n)$$

とすると計器電流は

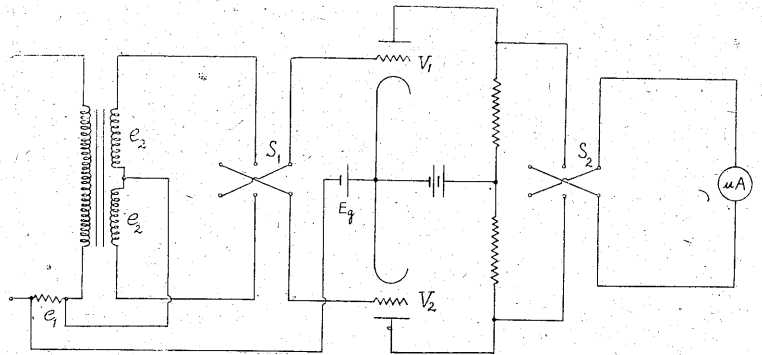
$$\bar{I}_1 - \bar{I}_2 = -\frac{a}{4} E_0 E_1 \cos \phi_1$$

$$- \frac{a E_0}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{E_{2m} \sin \phi_{2m}}{4m^2 - 1}$$

となつて第2項の誤差を生ずる。之は第2圖の回路が見掛上は平衡型となつて居るけれども、真空管の動作点を $I_p=0$ の點に選んだ爲 e_1, e_3 が共に正の時のみ I_p が流れ得るので實は半波のみを處理して居るに過ぎないことに基づくのである。故に之は第4圖の如く更に2個の真空管を補つて全波に亘つて動作する様にするれば簡単に防止し得ると思はれる。

併し乍ら之は次に述べる真空管の特性の不同を考へると簡敷を増すことは得策ではないと思はれる。

次に真空管の特性の不同に對する対策は種々考案されて居る。例へば Turner 回路の改良とも見られるもの一例に東北帝大の松平教授の考案⁵⁾を東京芝浦電機會社の和田氏⁶⁾が實用化されたものがある。之は第5圖の如く切替スイッチ S_1, S_2 に依つて2個の真空管の役目を切替へて2回の讀みの平均を採ることに依り真空管の特性の不同に依る誤差を巧みに避けて居る。



第 5 圖

即ち I_1, I_2 を真空管の陽極電流とすれば、(定常項は省略してある)

$$I_1 = a_0 + a_1(e_1 + e_2) + a_2(e_1 + e_2)^2$$

$$I_2 = b_0 + b_1(e_1 - e_2) + b_2(e_1 - e_2)^2$$

$$e_1 = E_{11} \cos(\omega t + \phi_{11}) + E_{12} \cos(2\omega t + \phi_{12}) + \dots$$

$$e_2 = E_{21} \cos(\omega t + \phi_{21}) + E_{22} \cos(2\omega t + \phi_{22}) + \dots$$

$$\bar{I}_1 - \bar{I}_2 = (a_0 - b_0) + \frac{1}{2}(a_2 - b_2) \times \{E_{11}^2 + E_{21}^2 + E_{12}^2 + E_{22}^2 + \dots\}$$

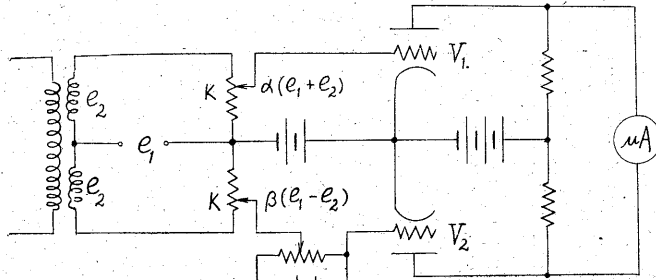
$$+ (a_2 + b_2) \{E_{11} E_{21} \cos(\phi_{11} - \phi_{21}) + E_{12} E_{22} \cos(\phi_{12} - \phi_{22}) + \dots\}$$

次に S_1, S_2 を切替へて同様に $\bar{I}_2' - \bar{I}_1'$ を作り、讀みの平均を採れば

$$\frac{1}{2} \{ \bar{I}_1 - \bar{I}_2 + \bar{I}_2' - \bar{I}_1' \} = (a_2 + b_2) \times \{ E_{11} E_{21} \cos(\phi_{11} - \phi_{21}) + \dots \}$$

となつて正確に電力が測定される。

和田氏が之に依つて試作された小型エプスタイン装置は巾1cm,長さ10cm,厚さ0.35mmの電気鉄板40枚重量約100gで測定が可能であつた。従來の標準エプスタイン装置の試料約10kgに比し實に100分の1ですむのであるから、電気鉄板の商用試験



第 6 圖

としては別問題であるが鐵板自身の研究等に就ては非常な便宜が得られたわけである。

更に阪大の藤本氏⁸⁾は同様の目的で電橋型回路に依る置換零位法を提案されて居る。

III 新考案に依る真空管電力計

次に弊社に於ける新真空管電力計に就いて述べるが之も矢張りTurner回路の變形であつて自乗特性の係数 a_0 及び a_2 が真空管に依つて異なる夫々の原因を考へて之が對策を與へた點を主眼としたものである。即ち第6圖に示す如く2個の真空管の格子偏倚電壓を夫々調節することにより先づ a_0 の項を略同一として無影響ならしめ、次に計算に示す如く一方の格子電極に加ふる交流電壓を他方と適當な比例關係に置き以て a_2 の不同の影響を避けたものである。

$$I_1 = a_0 + a_1\alpha(e_1 + e_2) + a_2\alpha^2(e_1 + e_2)^2$$

$$I_2 = b_0 + b_1\beta(e_1 - e_2) + b_2\beta^2(e_1 - e_2)^2$$

$$\frac{I_1 - I_2}{2} = (a_0 - b_0) + \frac{1}{2}(a_2\alpha - b_2\beta^2)$$

$$\times \{E_{11}^2 + E_{12}^2 + \dots + E_{21}^2 + E_0^2 + \dots\}$$

$$+ (a_2\alpha^2 + b_2\beta^2) \{E_{11}E_{21}\cos(\phi_{11} - \phi_{21})$$

$$+ E_{12}E_{22}\cos(\phi_{12} - \phi_{22}) + \dots\}$$

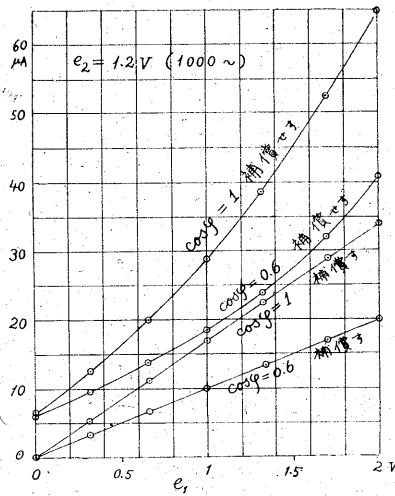
依つて先づ格子偏倚電壓の調節で $a_0 - b_0 = 0$ とし、更にポテンシヨメータ K を調節して $a_2\alpha^2 - b_2\beta^2 = 0$ 、即ち $\alpha = \beta(b_2/a_2)^{1/2}$ とすれば

$$I_{DC} = 2a_2\alpha^2 \{E_{11}E_{21}\cos(\phi_{11} - \phi_{21})$$

$$+ E_{12}E_{22}\cos(\phi_{12} + \phi_{22}) + \dots\}$$

となつて計器の指示は電力に比例する。實際に調節を行ふには先づ e_1, e_2 を加へない状態で計器の振れが零となる如く偏倚電壓を調節する。次に e_1, e_2 の何れか一方のみを加へてポテンシヨメータを調節し再びフレを零ならしめる。かくして數秒で調節が終了し爾後連続的に測定が可能である。又時日の経過に依つて再調節が必要となつた場合も以上の如く簡單に行へるが現在の處餘り其の必要を認めない。第7圖は $e_2 = 1.2V$ 一定とし e_1 を0~2Vの範圍で變化した場合である。

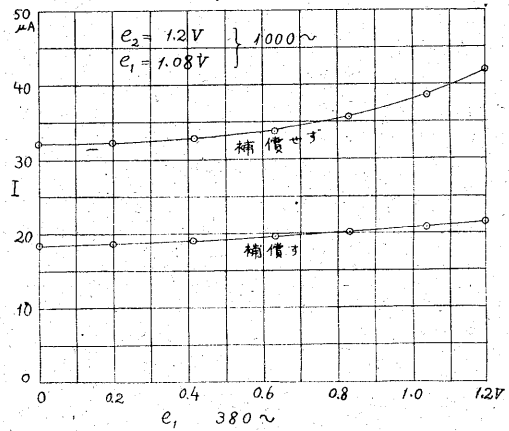
又第8圖は高調波誤差の除去されて居る狀況を示したもので100~の $e_1 = 1.08V, e_2 = 1.2V$ を一定に保持し、更に380~の e_1 を0~1.2Vの範圍で與へて讀みの變化を採つたものである。補償



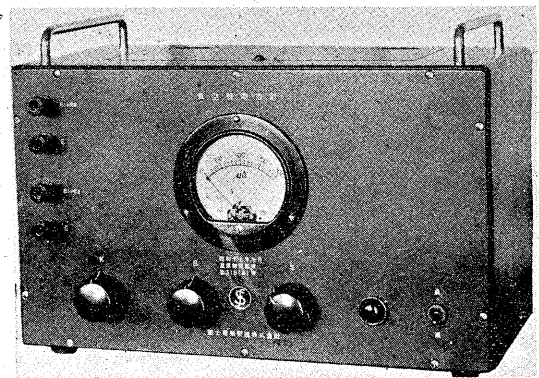
第 7 圖

を行つても尙僅かに變化するのは格子電壓の第3次以上の項の影響と思はれる。之を鐵損測定に用ひた結果は前記和田氏の結果と略同一であるから此處には省略することとする。

尙本方法はTurner回路のみならずPierce回路に用ひても有効なことは明かである。第9圖は最近製作した上記の新真空管電力計を示すものである。



第 8 圖



第 9 圖

文 献

- 1) H.M. Turner and F.T. Mc Namara; I.R.E. 18, 1743 (1930)
- 2) E.Mallet; J.I.E.E. 73, 295 (1933)
- 3) J. R. Pierce; I.R.E. 24, 577 (1936)
- 4) 永井, 植村; 第4回日本工學大會電氣部會豫稿 (52)
- 5) 松平, 福山; 第17回聯大豫稿 (55)
- 6) 和田; 第4回日本工學大會電氣部會豫稿 (65)
- 7) 和田; 芝浦レビュー 19, 91 (昭 15)
- 8) 藤本; 第18回聯大豫稿 (40)
- 9) 澤田, 櫻井; 第19回聯大豫稿 (5-4)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。