

金属真空管 MB-850

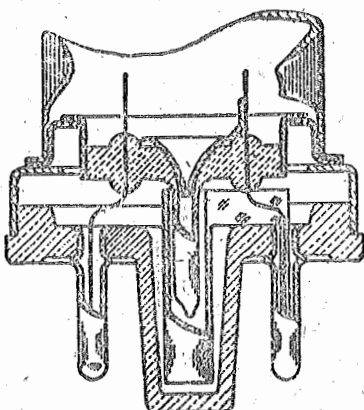
原 島 治・小 關 賢 三
川 田 武 雄・佐 薙 雪 男

硝子真空管に代る金属真空管が、なぜ生れねばならなかったか。また如何にしてつくり得るようになったかを明かにし、現在我國唯一の金属真空管製造所の製造技術の紹介と金属管の特性性能に關する解説を述べたものである。

全金属真空管が小型であること、堅牢であること、静電遮蔽が完全なこと、管壁の電荷の悪影響がないこと、またボタシステムを使用しているため、口出線が短く、従つてそのインピーダンスが小さいことなどの性能上の利點と、製造工程に於いて、熔接機を使用して、電極を組立てたシステムと、管球に相當する純鐵製のシエルとの封じ加工を $1/10$ 秒前後の短時間の局部加熱により完了するため、電極部の酸化が皆無に近い特徴があり、金属管が初めて發表せられた當時、劃期的なものとして小型管の全面的金属化が豫想せられた。我が國に於いても、日本電氣及び東芝に於いて、早くからこの技術を導入して實際に生産も行ったが、種々の困難、特に真空不良の事故に遭遇して、見るべき成果が得られず、終戦後は設備の戦災なども原因して、金属管の製作を行つてゐるのは現在のところ、日本電氣のみで、しかも限られた品種しか製作していない。

また金属管の濫觴である米國に於いても、戦後知り得た状況より推察して、小型管の全面的金属化ということは、行われていないようである。その發展を阻害した原因が何にある

かは明確ではないが、ともかくも、金属管が既述のように著しい特徴があり、特に高相互コンダクタンスの高周波用増幅管としては捨て難い性能上の利點があり

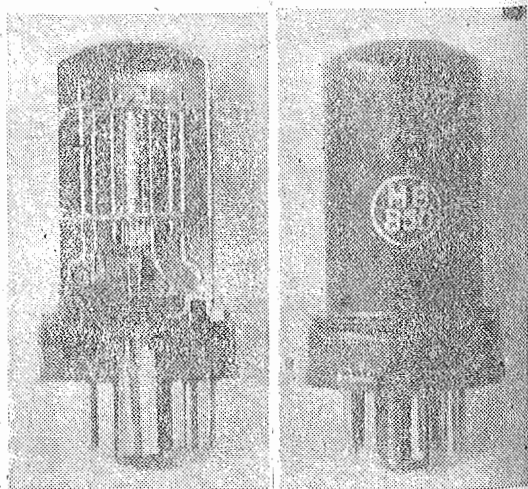


第 1 圖 金属管下部斷面圖

この見地より日本電氣に於いて製作せられている五極管 MB-850 に就いて、その製造技術上の諸問題と諸特性を述べて見る。

製造技術上の諸問題

金属真空管の構造に就いては、既に二三の紹介文献(岡部、信學誌、昭和15-9、小原、電學誌、62, 645, 昭和17-4)もあり、周知のことと思うが、参考のために、構造的に最も特徴あるシステムと、シエルの接合部分を特に明かにした金属管下部斷面圖を第1圖に示し、また MB-850 の外觀及び内部電極構造を示すための斷面圖を第2圖に示す。これにより明かなように、MB-850 では



第 2 圖 金属真空管 MB-850

制御格子もシステム側に出した一方口出型である。

金属管が構造的に見て最も特徴ある點は、その名稱の如く真空容器が殆ど金属(主として純鐵)で出来てゐることで、硝子は第1圖よりも明かなように、僅にシステム部分に局部的に使用せられてゐるに過ぎない。また製造技術的に特徴ある部分は、第1圖に於いてシステムの硝子と、金属との接合部に、クロム鐵の内輪と稱する絞る金具の輪を使用している點、またこのクロム鐵の内輪と、外輪と稱する純鐵の輪とを熔接によつて接着している點、更にこの外輪と管球に相當する純鐵のシエルとを同じく熔接によつて接着している點などである。

また排氣工程に於いて内部電極の瓦斯出しのための加熱操作を、高周波の誘導電流を電極に流して行うことが鐵製シエルの高周波遮蔽作用のために行い得ない點、また同様の理由により、ゲッタを高周波の誘導電流により加熱して飛ばすことの出来ない點である。

従つて金屬管が全硝子管に比べて、製造技術的問題にするとすれば、以上の特徴ある部分の工程實施に於ける技術的問題にあるので、即ち金屬の絞り加工物を主體とした場合の真空容器としての完全さを實現するための努力が、最も大なるものである。その他の點では、全硝子球と本質的には何等異らない。

以下に先ず真空容器として完全にするための諸問題をステム製作と熔接加工とに別け、次に排氣工程に於ける特徴ある技術を簡単に述べて見る。

(1) 真空容器

(a) ステム製作：真空管に於いてステムの製作は、真空容器の構成要素として最も重要な部分であり、その製作には細心の注意を要する。金屬管のステムは、口出線として8本のデューメット線を具備したボタンステムで、硝子部の外周にクロム鐵の内輪が熔着せられ、更にこのクロム鐵内輪に純鐵製の外輪が熔接せられていることは既に述べたところであるが、工程順に従つて製作要領を述べると、先ず厚さ0.4~0.6mmの純鐵板を絞り加工によつて輪状にし、これにニッケル及び銅鍍金を行う。この鍍金操作は、後に述べる熔接の條件に著しい影響を及ぼすので、慎重に行わなければならない。次にステム硝子と熱膨脹係数の略等しい厚さ0.25mmのクロム鐵合金板を絞つて内輪を作り、これを沸騰濃硫酸で處理した後、上述の鍍金操作を終つた外輪と大容量の抵抗熔接機を使用して熔接を行う。熔接加工に就いては次項に述べる。

以上の加工が終つた後、水素爐に入れて加熱處理を行うと、クロム鐵の内輪に硝子となじみ易い濃綠色のクロムの酸化層が出来る。但し既述の濃硫酸處理後の洗ひ及び水素爐の溫度、加熱時間などを適當にしないと、良好なクロムの酸化膜が得られず、硝子との熔着加工後熔着部より剥れを生ずるので注意しなければならない。

水素處理が終つた後にこの部品と、直径16mm、高さ8mm、肉厚1mm程度の硝子管、及び8本のデューメット線、並に排氣管用の直径4mmの硝子細管などを、同一小型つぼ型の電氣爐に入れて加熱し、硝子管が充分軟化した時に、鐵製の押型で押すと、ボタンステムが得られる。このステム加工に於ける電氣爐の使用は日本電氣の新しい試みで、(小關、信學誌、281、昭和22—10)均等加熱が理想的に行い得ること、熱源が安定なために容易に均等な製品が得られるなどの特徴がある。この加工に於いて外輪は、前述の如くに、環め鍍金を施してある

が、電氣爐内で加熱されている間に、黒く酸化する。但し内輪の方は全く變化しない。外輪が如きように酸化した儘では、後にシエルとの熔接加工が困難になるから、水素爐で還元する必要があるが、この水素爐としては單に還元作用だけでなく、更にステムに壓縮歪を與えて、シエルとの熔接加工の際に發生する可能性のある張力歪とある程度相殺させる必要があるため、高周波の線輪をボビンに卷いた構造のものを使用し、ステムに於ける外周の金屬部のみを高周波の誘導電流で加熱し、還元操作を行うと共に、ステムを常溫に取出した際に、金屬部が撓



第3圖 金屬真空管熔接機

縮まつて、硝子部に自然に壓縮歪が這入るように工夫せられている。壓縮歪が適量しかも均等に這入っているか否かは、光學的検査器で検査する。

(b) 熔接作業：熔接機は一次電壓220V、容量200KVAの大容量のもので、その外觀は第3圖の通りである。

本熔接機は、壓縮空氣で被熔接體に壓力を加え、サイラトロン制御のタイマーでイグナイトロンを併用し、 $1/10$ 秒前後の短時間に大電流を流して熔接を行う。金屬管に於ける熔接作業の必要條件は、單に熔接部に於ける機械的強度を充分にするだけでなく、完全な氣密性を保有させなければならない。そのため輪狀の被熔接部に均等の壓力が加わり、且つ熔接機の電極をはじめ、被熔接體の各の面が完全に密着し、また表面の電氣傳導度が全

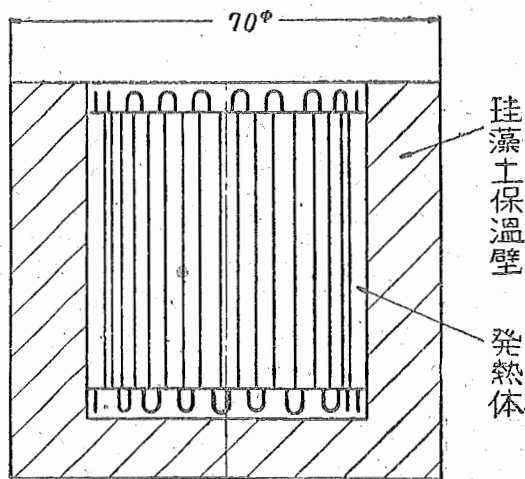
周辺に對して一様になつていないと、局部的に大電流が流れて、氣密性を完全に保有させた熔接が行われないし更に(a)項に述べた方法で製作したステムとシエルとの熔接の場合は、たとえ強めステム硝子に均等な適値の壓縮歪が這入つていても、熔接の際に外輪の周辺に一様な電流が流れない場合は、局部的に異状な發熱膨脹を生じ硝子に不均一な張力がかかり、ステム硝子に亀裂事故を發生する恐れがある。

なお熔接要件を充分満足させるためには、被熔接體に加える壓力値、電流値及び通電の時間などの適値を決定して置かなければならないが、これ等は被熔接體の面の状態及び絞り加工を行つた部品の機械的精度、また熔接機の電極の構造、精度などにも關係し、極めて複雑であり金屬管の眞空容器としての完全さを達成するために、最も努力を拂わなければならないところである。

(2) 排 氣 法

排氣工程に於いて、通常の小型管と異なるところは、既述の通り内部電極の瓦斯出しのための高周波誘導加熱操作が不適當で、特殊な手法を適用しなければならないこと、及びゲツタに特別のものを使用しなければならないことである。

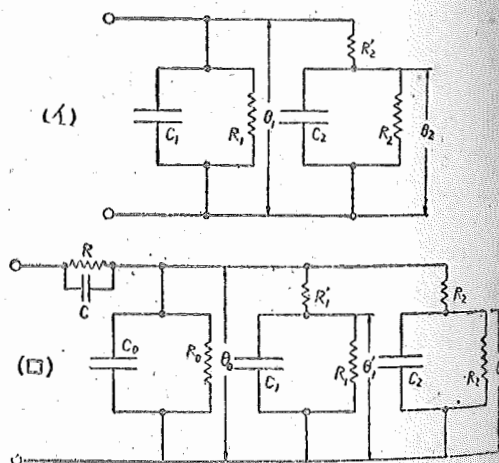
(a) 加熱法：高周波の線輪を排氣中の金屬管に同軸に挿入すれば、その誘導電流により、外圍器の金屬部は容易に、短時間に、高温になり、瓦斯出しの目的を達し得るが、この際高周波の場合は、除熱が比較的困難なために、ステムの硝子部と、金屬部との間の温度差が大となり、ステム亀裂の事故を起し易く、従つて通常ステム部分に壓縮空氣を噴射して冷却しつつ加熱操作を行うような、極めて複雑なしかも不安定な方法が行われている。或はまた高周波の誘導電流の代りに、瓦斯焰で外圍器金屬を直接加熱する方法もあるが、この場合の缺點も



第 4 圖 金屬管加熱用電氣爐

上述の高周波利用の場合と同様で、更に熱源としての瓦斯焰の不安定のために、作業には一層の注意を拂わねと、亀裂事故が多くなる。

そこで筆者等は第 4 圖に示したような、簡単なタイプのニクロム線を發熱體とした電氣爐を使用し、この爐の中に金屬管が全長の多少程度這入るようにし、且つステム部分が室温中にあるようにして、爐の發熱體よりの放射熱で外圍器を熱するようにすると、高周波誘導電流利用の場合に比して極めて安定に除熱が行われ、熱源が安定で装置そのものも簡単であり、また取扱いが容易であるため、ステムの亀裂事故は殆んど皆無に近い好成績を得た。また内部電極の加熱に對しても、熱源の容熱量が次に述べる熱系の等價回路の考察よりも容易に想像せられるように、充分大であるために、高周波法に比して、



第 5 圖 熱系の等價回路

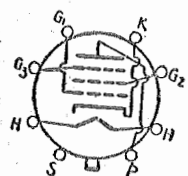
- C : 電熱線の熱容量
- R : 電熱線の熱抵抗
- C₀ : 爐體の熱容量
- R₀ : 爐體外面よりの熱放散に對する抵抗
- θ_1 : 高周波加熱に於ける金屬管外圍器の温度
- θ_2 : 高周波加熱に於ける金屬管内部電極温度
- θ_0 : 低周波加熱の際の爐體温度
- θ'_1 : 低周波加熱の際の金屬管外圍器の温度
- θ'_2 : 低周波加熱の際の金屬管内部電極の温度
- C : 金屬管外圍器の熱容量
- R₁ : 金屬管外圍器の熱放散に對する抵抗
- C₂ : 金屬管内部電極の熱容量
- R₂ : 金屬管内部電極よりの熱放散に對する抵抗
- R'₁ : 電氣爐發熱體と金屬管外圍器表面との間の相互輻射に對する抵抗
- R'₂ : 金屬管外圍器内面と金屬管内部電極の表面との間の相互輻射に對する抵抗

著しく良く焼け、瓦斯出しの目的を充分達成することが出来た。

高周波の誘導電流を利用して加熱する場合と、既述のように低周波の傳導電流を利用したるつぼ型電氣爐を利用して加熱する場合との比較を、等價回路を以つて考察すると、前者の場合は第5圖(イ)のように、また後者の場合は、同圖(ロ)のように考えられる。即ち高周波誘導方式の場合は、内部電極を加熱するための熱源は、金屬管の外圍器そのものであるが、るつぼ型の傳導電流を利用した電氣爐を使用する場合は、電氣爐と金屬管外圍器とを合成したもので、従つてその熱容量は後者の方が著しく大である。また圖に於ける R'_1 、 R'_2 などは、輻射係數に關係ある非直線的熱抵抗であつて、發熱體と被熱體との間に溫度差がある場合は、著しく大なる値を示すもので、従つて第5圖(イ)の場合は、 R'_1 に相當する抵抗分がないために、金屬管の外圍器の溫度 θ_1 は、急激に上昇するに反し、(ロ)の場合は R'_1 の存在により、外圍器の溫度 θ'_1 は、(イ)の場合程急激には上昇しない。そのためシステムの亀裂事故に對しては、著しく有利になる。

(b) ゲッタ；金屬管に於いては、純鐵製の外圍器に

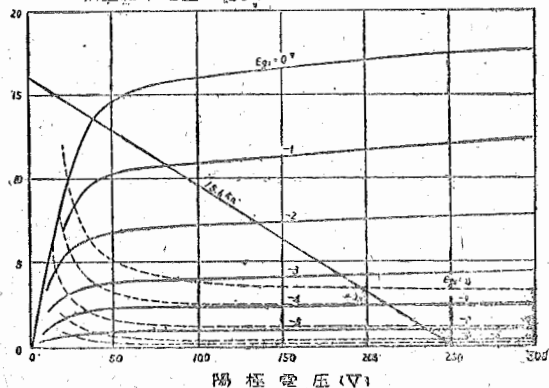
織 係 電 圧 63V、織 係 電 流 0.5A
陽 極 電 圧 250V、陽 極 電 流 80mA
第 二 格 子 電 圧 130V、第 二 格 子 電 流 1.6mA
第 一 格 子 電 圧 -2V、相 互 導 抗 40mV



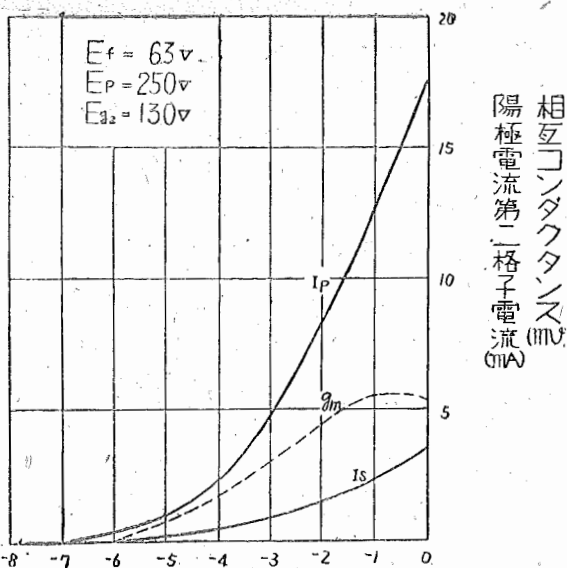
(MB-850 口金接続圖)

第 1 表 MB-850 金屬真空管定格

織 係 電 圧 63V、——陽 極 電 流 (mA)
第 二 格 子 電 圧 130V、-----第 二 格 子 電 流 (mA)



第 6 圖 MB-850 陽極電壓對陽極第二格子電流特性

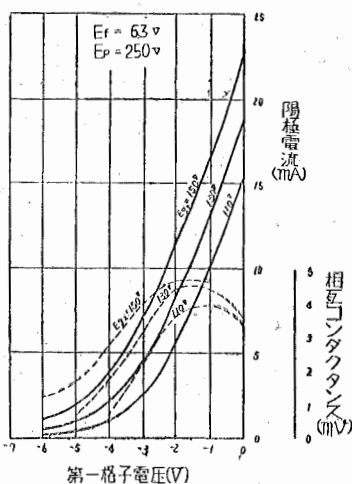


第一格子電壓(V)

第 7 圖 MB-850 第一格子特性

よる電磁的遮蔽作用のために、容器内にあるゲッタを、高周波の誘導電流により加熱して飛ばせることが出来ない。

従つてMB-850に於いては、タンタル線(直徑0.15mm)にバリウム、ストロンチウム、炭酸鹽を電着法によ



第一格子電壓(V)

第 8 圖 MB-850 第二格子特性

り被覆し、排氣終了後、タンタル線に傳導電流を流して發熱させて飛ばせる。タンタル線は、それ自身ゲッター作用を有し、以上のようなゲッターをバタラムゲッターと稱して優秀なゲッターであるが、その飛び具合を金屬管の場合は外部より透視して觀察することが出来ないの

金屬真空管MB-850の諸特性

(a) 定格；MB-850 は五極管であつて、定格は第1表に示す通りで、なお同表には接續圖も記入してある。

(b) 陽極電壓對陽極電流及び第二格子電流特性；第6圖に示す通りで、圖は第一格子電壓をパラメータとして示している。

(c) 第一格子特性；第一格子電圧を變化させた場合の陽極電流、第二格子電流及び相互コンダクタンスの變化を第7圖に示す。圖は第二格子電圧を130V一定としたが、第8圖にはこの第二格子電圧をパラメータとした場合の第一格子特性を示している。

(d) 無歪負荷抵抗の算定；一般に五極管の無歪負荷抵抗を求めるには、第6圖のような特性に於いて、 $E_{g1}=0$ に於ける E_p-I_p 特性より圖解によつて得ているが、ここには定格値より簡単に算出する新しい方法を述べる。

即ち五極管の E_p-I_p 特性曲線を近似的に双曲線と假定すれば、一般的に次式で與えられる。

$$I_p = \frac{b E_p}{E_p + a} \dots\dots\dots (1)$$

I_p ：陽極電流、 E_p ：陽極電壓、 a, b 定數

しかして通常行われている五極管の無歪最大負荷抵抗を求める圖解法を、 E_p-I_p 特性が双曲線と假定した場合に適用すると、無歪最大負荷抵抗として次式が得られる。

	陽極電流	相互コンダクタンス
平均値 m	8.205 mA	3.945 mV
標準偏差 σ	2.95 mA	0.95 mV
確率誤差 PE	1.99 mA	0.64 mV
變化係數 $\frac{\sigma}{m}$	35.9 %	24.1 %
" $\frac{PE}{m}$	24.3 %	16.3 %

第2表

B級の場合 $R_B = \frac{E_{p0}}{I_p + g_m E_g} \text{ (K}\Omega\text{)} \dots\dots\dots (2)$

A級の場合 $R_A = 2R_B \text{ (K}\Omega\text{)} \dots\dots\dots (3)$

E_{p0} = 定格陽極電壓(V)

I_p = 定格陽極電流(mA)

g_m = 定格相互コンダクタンス(mV)

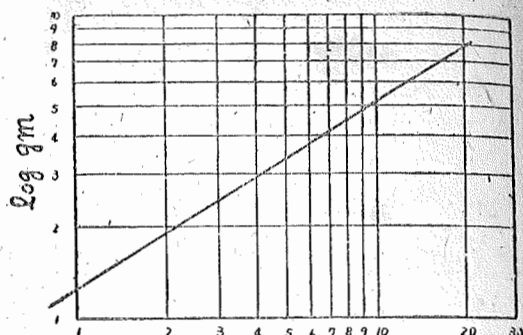
E_g = 定格第一格子電壓の絶対値(V)

(2)、(3)式を用うれば、五極管の無歪負荷抵抗を定格値より簡単に算出出来る。

MB-850に於いてこの式を用い、B級の場合の無歪最大負荷抵抗を算出すると、15.6K Ω の値を得る。第6圖にはこの結果の直線も記入してある。

(e) 陽極電流分布及び相互コンダクタンス分布；第1表に示した陽極電流及び相互コンダクタンスは、MB-850の定格値であつて、實際の球はこの値を中心と

$$\eta = 0.61 \quad \mu = 1.25$$



log P

第9圖 MB-850 陽極電流對相互コンダクタンス

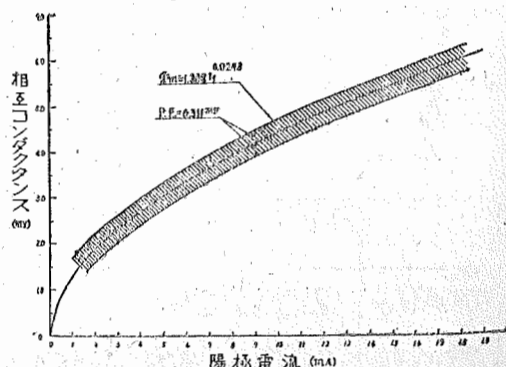
して分布する。その程度を試作期間に於ける MB-850に就いて統計的に検討してみた。即ち試験規格に合格した球(定格電圧を加えた場合、陽極電流範囲6~10mAのものを特級、5~15mAのものをA級とし、相互コンダクタンスに於いて3~5mVのものを特級、2.5~6mVのものをA級とし、特及びA級を試験合格品とした)、1571個に對して集計した結果、第2表のような結果を得た。

しかして陽極電流に於いて特級品の偏差率は、25%であり、第2表より確率誤差が24.3%であるから、陽極電流の分布が統計學に於ける正規分布をなすものと假定すれば、特級品は試作期間の試験合格品全數の1/2であるといふことが出来る。

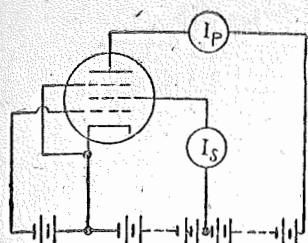
なお第2表の陽極電流と、相互コンダクタンスの各の變化係數を比較してみると、前者が後者より大である。従つて陽極電流の分布は相互コンダクタンスの分布より大であることが判る。

(f) 陽極電流と相互コンダクタンスとの關係；陽極電流と相互コンダクタンスの間には、密接な關係があることが知られている。次の(4)式のような關係があるとして、

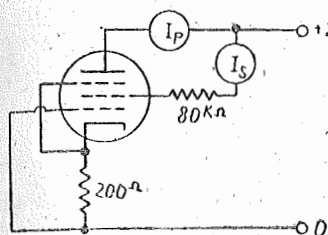
$$g_m = k I_p^n \dots\dots\dots (4)$$



第10圖 MB-850 陽極電流對相互コンダクタンス特性(最小自乗法による)



(イ) 固定バイアス



(ロ) 自動バイアス

第 11 圖

係があるとし、その係数を最小自乗法により求めた結果 $n=0.5293$, $k=1.307$, となる。

従つて以上の結果より g_m と I_P の関係を求めると大體次の通りである。

$$g_m = k\sqrt{I_P} \dots \dots \dots (5)$$

第10圖は各陽極電流に対する相互コンダクタンスの値を最小自乗法により求めた結果を示したもので、圖の斜線を施した部分は、各陽極電流値に対する確率誤差の範囲を示すものである。従つて平均相互コンダクタンスを中心として、 $\pm 0.311m\Omega$ の範囲にあるものが、その陽極電流値に対して存在するものの總数の $\frac{1}{2}$ であるということになる。

(g) 固定バイアスと自動バイアスによる陽極電流の變化；第1表の定格表に於ける陽極電流の値は、第11圖(イ)に示すような固定バイアス法による値であるが、實際使用に際しては、第11圖(ロ)に示すような自動バイアス法で用いることが多いので、兩者に於ける陽極電流の變化を56箇の MB-850 に就いて測定し比較した結果を第3表に示す。

これより自動バイアス法と、固定バイアス法との陽極

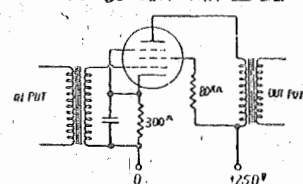
	平均電流 mA	標準偏差 μ	變化率 μ/m
自動バイアス	7.929 _{mA}	0.8035 _{mA}	10.1 %
固定バイアス	7.268 _{mA}	2.502 _{mA}	34.5 %

第 3 表

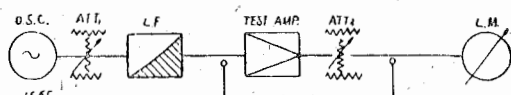
今數箇の球について第一格子特性より陽極電流と、相互コンダクタンスの平均を求めると、第9圖のようになる。これより n は約 0.61 となる。また既述の 1571 本に於ける統計結果は、規格状態に於ける一點特性の集計であるが、この場合の陽極電流と相互コンダクタンスの間にも (4) 式の如き關係

電流値の標準偏差の比を求めると、0.322 となり、即ち自動バイアス法の方が、固定バイアス法より陽極電流の偏差が約 $\frac{1}{3}$

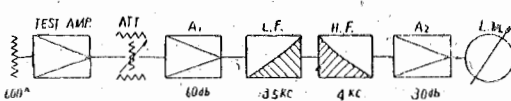
MB-BS0 TEST AMP. 回路



利得測定回路



雑音測定回路



周波数帯

4 ~ 35 KC

第 12 圖

	平均值	偏差範囲	變化率
利 得	37.9 db	2.6 db	6.86 %
雑 音	-125 db	11 db	8.8 %
陽極電流(陽)	7.27 mA	6.8 mA	93.6 %
陽極電流(自熱)	7.06 mA	2.5 mA	35.4 %
相互コンダクタンス(陽)	3.92 m Ω	2.0 m Ω	51.1 %

第 4 表

に縮小されることが判る。

(h) 動作試験 (利得及び雑音測定) に於ける特性；本真空管 22 箇に就き、日本電気通信管試験器測微 4 號真空管試験器を使用し、通信管 CZ-501-D の試験の場合と同一回路、即ち第12圖のような構成により、その利得及び雑音を測定した結果は第4表の通りである。なおこの場合の陽極電流及び相互コンダクタンスの値も併記してある。

以上で初めに金屬真空管製造上特に注意を要する技術的諸問題として、ステム製作、熔接作業、及び排氣法を各の作業の解説と共に記述したが、この部分の内容は、標題の MB-850 と限らず、金屬真空管製造上に一般的に適用出来るものである。後半には五極管 MB-850 に就いてその定格、靜特性、動特性をはじめ、諸特性を述べた。特に統計的な集計結果の数値も二三發表して置いたが、この結果は本文にも記したように試作期間に於ける製品に就いての結果である。(筆者は研究所第二研究部員)