

The Physical Nature of the Electrical Breakdown of Solid Dielectrics

By **K. W. Wagner**

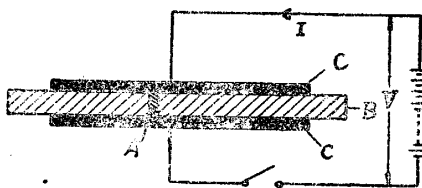
(Journal of American Institute of Electrical Engineers. Dec. 1922)

航空研究所々員 瀨 藤 象 二 氏

電氣工學で目下の重要問題の一となつて居るのは固體及液體絶縁物が電壓を受けて電氣的に破壊せらるる経過如何と云ふことである。發動機用高壓磁石發電機が兎角故障を起し易いことも主として絶縁の不良に基くことが多いのであるから此問題に關聯して居る。

此論文は伯林の Telegraphen-Technisches Reichsamt の研究員たる Wagner 氏が數年來研究の結果を米國電氣工師會の勧めにより發表したもので近頃各方面の注目を惹いて居るものである。

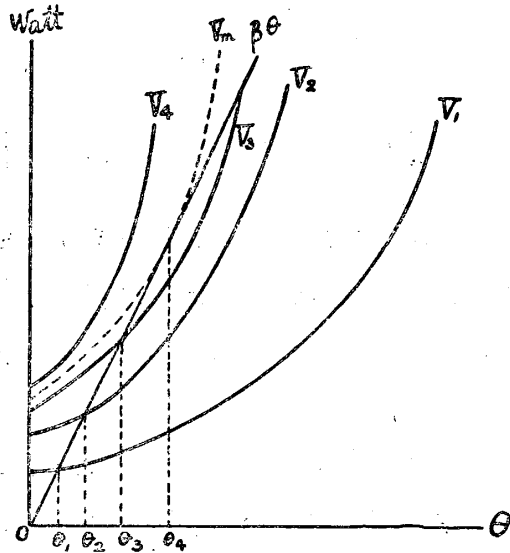
從來瓦斯體の破壊放電即 Spark discharge に就ては J.J. Thomson, J. Stark, J. Townsend, J. B. Whitehead, F. W. Peek 等の研究があり殊に Townsend の主張する衝擊電離説 (Jonisation by Collision Theory) が略其経過を説明し得るとして認められて居るが固體絶縁物に就ては明でなく、或人は瓦斯の場合と同様に絶縁物に働く電氣力が或る極限值以上に達すれば直に破壊放電を起すものであると稱し其の極限值を其絶縁物の絶縁耐力 (Dielectric Strength) と云つて居る。此れは丁度材料の機械的強さと同じ考である。然るに色々實驗の結果此の極限值以上に歪を受けた物で電界の一樣でない場合例へば同心電纜の如きに於ては何等の損傷を受けて居らないことが證據立てられるので、どうも或る絶縁物に一定の絶縁耐力なるものがあるといふ考は事實に遠いものと言はざるを得ない。著者は固體絶縁物の破壊放電は主として電壓に伴ふ熱の作用であると結論して居



第一圖

る。即第一圖の様な平板狀の絶縁物を採り之に電壓を加へると、必らずその中の一部分例へば *A* に小さな弱點が在るから、其部分が他より多く電流を通じ、其のオーム損失に依つて加熱せられる。然るに殆んど總ての絶縁物は温度上昇と共に其抵抗が減ずるから、上

述の様にして温度の高くなつた A 點が又更に抵抗が減じ、電流を増す。従て又温度が高くなると云ふ風に蓄積的に温度の上昇を來すのであつて、若し加へられた電壓に對して或る程度迄 A 點の温度が昇つて他の部分に對する熱の放散が丁度發生する熱量と平衡し得る様になれば、絶縁物は破壊しないが、電壓が高い時は此様な平衡状態に達すること



第二圖

とが出来ないで遂に無制限に温度が上り、従て無制限に電流を通ずることとなるのである。此理は第二圖で了解することが出来る。(第二圖は著者の原文にはないが便宜上筆者が附加したものである。) 圖の $\beta\theta$ とあるは弱點 A が周圍に對して θ 丈け高温度に在るときの熱の放散曲線で普通の範圍では直線として取扱つて宜しい。 $V_1, V_2,$ 等は此等の電壓を加へた時の A 點に於ける熱量發生の時間に對する割合で孰れもワットを單位としたものとする。

電壓の低い間は A 點の温度はその周圍より $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 等丈け高くなつて平衡状態に達するが V_4 の曲線の如く全部 $\beta\theta$ の線より上に在る様な電壓になると平衡を保ち得ないで破壊迄突進するものである。

以上の説は著者の新説と云ふ譯ではなく既に以前から唱へられて居たのであるが、著者は材料の抵抗を温度に對する函數として

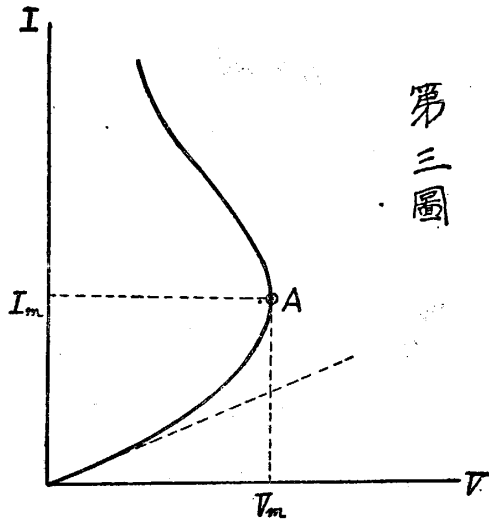
$$\begin{aligned}
 \text{(I)} \quad & R = R_0 e^{-\alpha\theta} && R_0, \alpha \text{ は定數} \\
 \text{(II)} \quad & R = R_0 \left(1 - \frac{\theta}{T}\right)^\alpha && \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} R_0, T, \alpha \text{ は定數} \\
 \text{(III)} \quad & R = R_0 \left(\frac{T}{T + \theta}\right)^\alpha &&
 \end{aligned}$$

の三種で表はし各の場合に於ける熱の平衡の保たれなくなる電壓即最小破壊電壓 V_m を求めて次の結果を得て居る。

$$\begin{aligned}
 \text{(I)} \quad & V_m = \sqrt{\frac{\beta R_0}{\alpha e}} \\
 \text{(II)} \quad & V_m = \frac{\alpha^{\frac{\alpha}{2}}}{(1 + \alpha)^{\frac{1 + \alpha}{2}}} \sqrt{R_0 \beta T}
 \end{aligned}$$

$$(III) \quad V_m = \frac{(\alpha - 1)^{\frac{\alpha - 1}{2}}}{\alpha^{\frac{\alpha}{2}}} \sqrt{R_0 \beta T}$$

何れの場合でも R_0 と β とは共に材料の厚さに比例すると考へ得るから、破壊電圧は材料の厚さに比例することになる。此れは實驗によつて確められた。

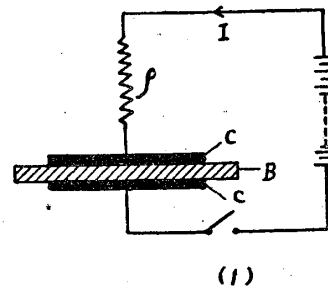


第三圖

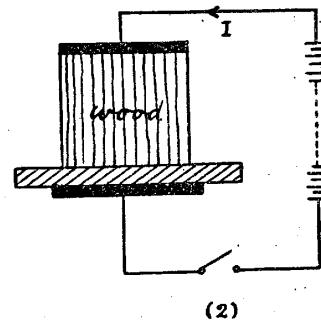
此の關係を別の方面から觀ると更に實驗的に確める便宜が得られる。即材料に加へた電圧 V を横軸に、通る電流 I を縦軸に取つて考へると電壓の低い間は溫度も餘り著しく上らないから初めは直線に近いが段々電壓を高めると抵抗が減ずるから曲線は上の方に曲り、終に V_m に達すると電壓は増さずとも抵抗は更に減ずる様になり、電流電壓曲線は左側に曲つて來る。即第三圖の様な曲線が得られるのである。

實驗的に此の曲線を求むる爲めに第一圖の様な金屬電極を用ひると V_m に對してから後の部分は得られない。此曲線が所謂 Falling Characteristic を有する部分だからではあるが例へば第四圖 (1) の様に直列に高抵抗 ρ を接続し全體の電流を制限しても弱點へ電流が集ることは避けられない。著者は色々苦心の後木材に適當な含浸方法を施したものを一方の電極として用ひて成功した。此は木材自身に高い比抵抗があるから電流の局部に集中することを防ぐからであつて、此の電極を使つて色々な材料の電流電壓曲線を求めた。其の中の一列を示せば第五圖の如くである。

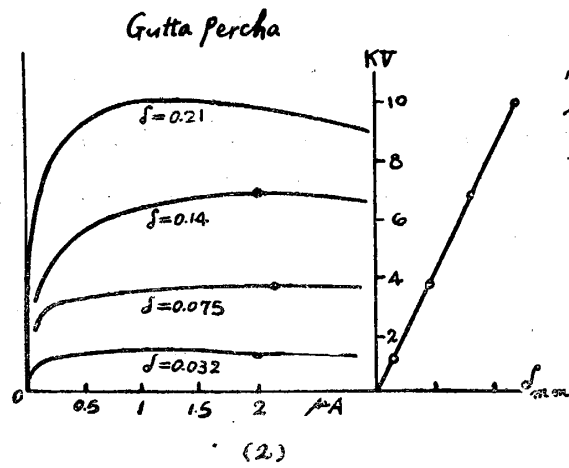
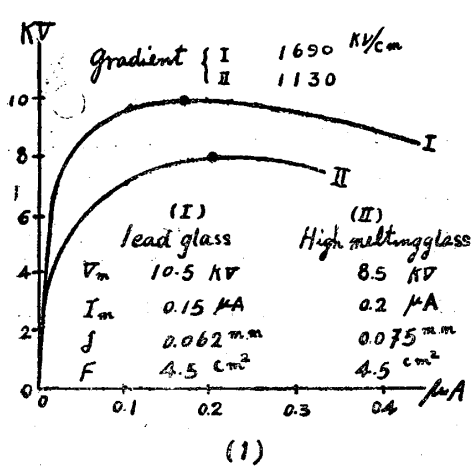
(1) は二種の硝子に就て示したもので電壓を上げつゝ取つた値と下げつゝ取つたものと一致する。(2) は「ガタパーチャ」の厚さを色々な變へて求めたもので、 V_m と厚さとは比例して居る。(3) はゴムであるが電壓を壓す時と減ずる時とで著しい差がある。此は一度 V_m を通過した爲めに材料の局部的變質を起したものと考へられる。(4) は油に浸した紙で電壓を極徐々に上げた時は點線



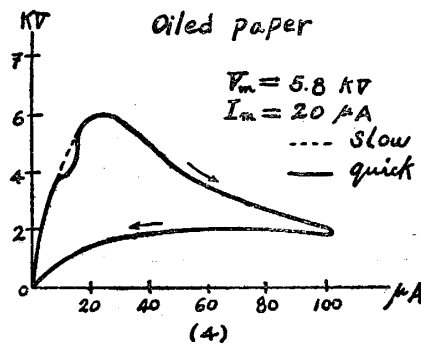
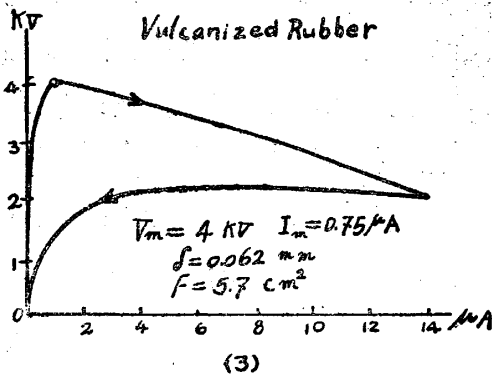
第四圖



(2)



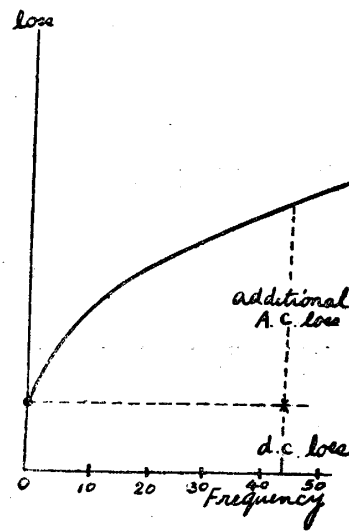
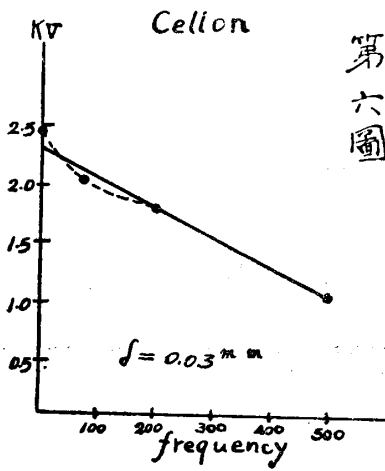
第五圖



の様になり、稍速に上げた時は實線の様になる。此は實驗の誤てなく何等か特別の事情によるものらしい。

次に交番電壓に對する破壊放電を考へる爲め、交流により増加する電力損失は電壓の二乗と周波數とに比例するとし且つ破壊電壓に近い邊では此損失は直流に對する損失に比して比較的少いと云ふ假定の下に數學的に取扱つて V_m は直流に對する値より周波數に比例して減することを證明して居る。第六圖は實驗の結果である。此點に就ては多少物足りないと感じるのは交流による増加損失が周波數に比例すると云ふ假定であつて筆者が數年來行つた實驗結果によると此の假定は濕度の低い時は大體成立するが濕度が高くなると第七圖の如くなるから直線にはならない。此の第六圖をよく検査すると實驗結果も直線より寧ろ圖の點線の様なものが眞に近いのは即假定の誤を暗示するものではあるまいかと思ふ。

著者は更に直流電壓を急激に加へた時の破壊放電を論じて數學的に材料の比熱と熱傳導率とから破壊迄の時間を表はさうとして居るが未だ實驗的證據を得る迄に立至つて居



ない様である。

此の考へを押進むれば交番電圧による破壊は従來の如く電壓波の最大値によつて定まらず、寧ろ電壓の實効値 (root mean square value) によつて定まるものとなる譯であつて著者は其點も實驗的に確めたと云つて居る。

要するに従來唱へられて居た説を實驗的に確め且つ數量的に書き表はす様にした點に面白味があると思ふ。

(終り)