

5. 界面電氣の研究(第11報)¹⁾

U-効果に於ける機械-電氣勢力變換能率の研究

上田 靜男, 渡邊 昌, 辻 福壽

Study on Surface Electricity. (XI)
On Mechano-electrical Efficiency of U-effect

Shizuo Ueda, Akira Watanabe and Fukuju Tsuji

(Tachi Laboratory)

When we want to make electro-acoustic devices, such as the pick-up of electrophonograph, microphone, transducer and etc., as practical applications of U-effect, it is important to determine the mechano-electrical efficiency of this effect and the inner impedance of the element. The former is indicated by the relation between the output voltage and the amplitude of the mechanical vibration of the element. As the former is very little and also is a dynamic one, ordinary microscopic measurement cannot be used, and we applied frequency-modulation method to determine this. The latter, which controls the load, was measured by the impedance matching method.

The experiments were performed with an element of dia. 0.9 mm., containing 40 Hg-H₂SO₄ aq. interfaces. According to the experiments, the inner impedance was 6,000 ohms (at 400 cps.) and the output-amplitude and -frequency relations were as follows:

The output-amplitude curve at constant frequency was quadratic. This seems to be due to the fact that the surface area change is proportional to the square of the amplitude. The output-frequency curve at constant amplitude was almost linear, but below 500 cps. it saturated.

U-効果を實際に Pick-up, Microphone, Transducer 等に應用して電氣音響機器を製作するに當つて、その機械-電氣勢力變換能率(即ちその感度)を知つておく事が必要である。此のものを明確に示すものは機械的振動の振幅と出力電壓の比であるが、前者は實際に於て非常に小さく而も dynamic なものであるからその測定には特殊な装置を用いなければならぬ。我々は此を行う爲に周波數變調による微小變位測定法を用いた。此は Radio 受信機に於て A. F. C. (Automatic Frequency Control) 回路として既によく知られているものと同じ原理によるも

のである。

又上の應用に於て今一つ大切な事として Element の内部 Impedance が擧げられる。即ちこの Element を装置に取附けた場合にその負荷をこの Impedance に整合させなければ、最もよい能率で又最もよい特性でその出力をとり出す事が出来ない。この Impedance の測定には先に發表した Impedance Matching 法を用いた。

1. 周波數變調法の原理³⁾

自勵發振器の同調回路に於てその Inductance を L, Capacitance を C とすると、發振周波數 f は

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

である。今 C を僅か變化させるとその周波數變化 Δf は

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial C} \Delta C = -\frac{1}{2} f \frac{\Delta C}{C}$$

で與えられる。もし ΔC ≪ f, C なる時は

$$\Delta f \propto \Delta C$$

となり、回路の Capacity 變化を周波數變化に變換する事が出来る。

第1圖の發振回

路(L₅, L₆, C₁, C_x及びUZ42)に於て先づC_xを固定してその周波數をf₀とする。(我々の場合は f₀=2.6 MCにとつた。)さてこの發振回路に對する他の同調回

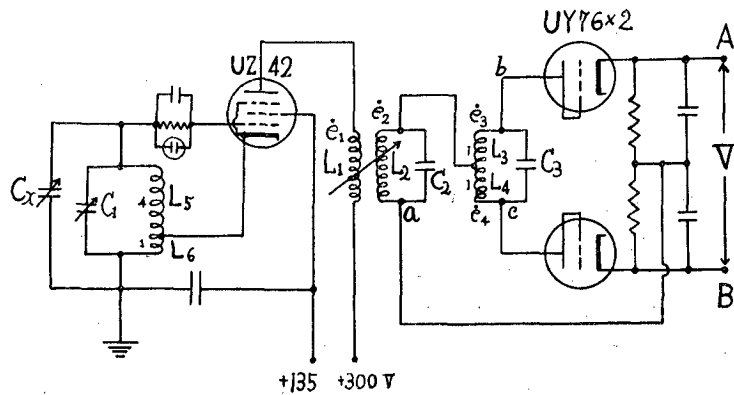


Fig. 1.

路(L₂, C₂)及び(L₃, L₄, C₃)をこれと同じ周波數 f₀ に調節して置く。L₁ と L₂ の結合を密にして置けばその同調曲線は broad であり、上述の原理によつて C_x を變化させる事により發振周波數 f を變化させても L₂ の兩端の電位差 e₂ はその周波數が變化するのみで絶對値は同じである。さて e₂ によつて Coil L₃, L₄ に電壓 e₃, e₄ が誘起されるが、L₃ と L₄ は捲數等しく極性が反對であるから e₄ = -e₃ である。

さて e₂ と e₃ の關係を見ると、その間には或る位相差 θ が生じて居り、θ は e₂ の周波數 f によつて變化し、同調周波數 f₀ の時 $\frac{\pi}{2}$ である。従つて兩回路の電壓の Vector 和をとるとその

絶對値の大きさは周波數 f によつて變化する。この模様は第2圖(a)に示した通りである。これが第1圖の a, b 間に發生する電壓 \dot{V}_1 に外ならない。

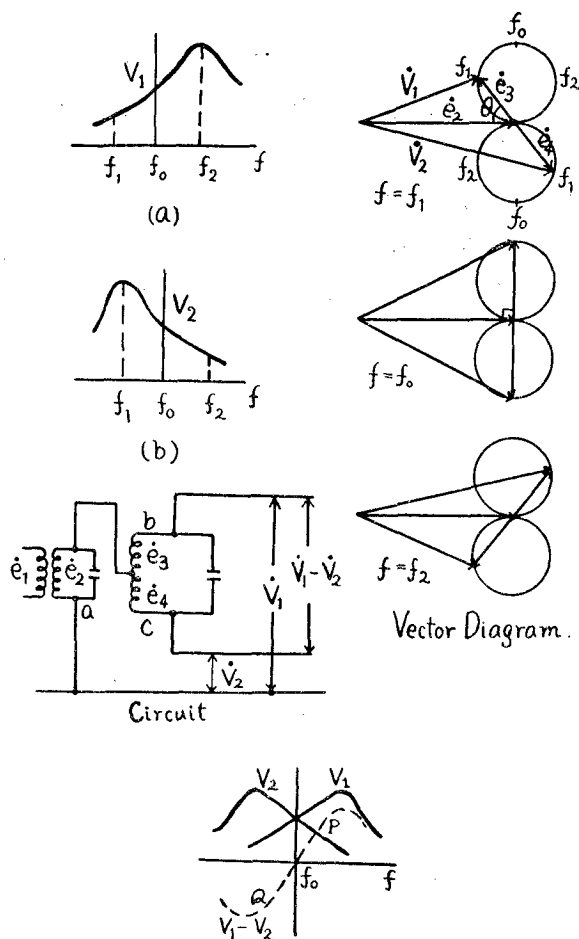
全く同様に a, c 間の電壓 \dot{V}_2 も第2圖(b)に示す様な \dot{V}_2 に對して縦軸について對稱な曲線である。従つて UY76 によつて此を整流すると A, B 間には $V_1 - V_2 (=V)$ の直流電壓が得られその周波數變化は第2圖(c)の破線が示すものとなる。従つてこの曲線の直線部分 PQ の傾きでは、 C_x によつて發振周波數 f を變化させると f 従つて又 C_x の變化を忠実に再現する直流電壓 V が AB 間に得られる。⁴⁾

この電壓 V は AB に陰極線オシログラフを接続して感光面の光點の偏位で讀まれる。⁵⁾

2. 微小振幅測定

上述の原理を振動する物体の變位測定に利用するには振動体に固定した可動電極と不動固定電極とで一つの Condenser を造り(第3圖)これを第1圖の C_x にするのである。かくして先づ兩極間の距離を或る値(我々の場合は 0.5mm.)にした時 Brown 管上の光點がその中央に来る様に調整し、次に可動電極を變位させてこれを顯微鏡で讀み、その時の光點の變位を讀むと第1表の如き値が得られた。これを圖に示すと第4圖に示す如く直線が得られる。此は上に述べた原理が正しい事を示している。

此の圖を用いれば微小變位が直讀出来るわけである



(C)
Fig. 2.

Table 1

Mechanical displacement (mm.)	0.0085	0.0170	0.0330	0.0500
Reading on Oscilloscope	1.0	2.2	4.3	6.0

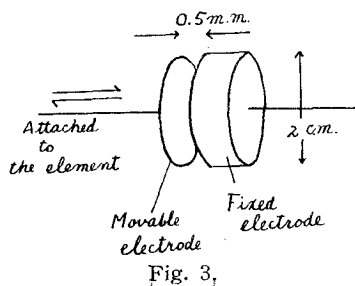


Fig. 3.

が、若しこの變位が周期的に變化する振動であるなら、Brown 管の面上にはこの振動と同一特性の波が現れる。即ちこの波は振動体の運動をそのまま示している事になる。(第5圖)

3. 變換能率の測定

測定全回路は第6圖に示す如くである。Osc. の發振器の交流を Moving Coil Vibrator M.V. で機械的振動に變換し、これを M.V. にとりつけた Element E (Hg-n. H₂SO₄ 界面をもつガラス毛細管) に伝えるとその兩端 e, e' にはこの機械的振動と同一の交替的電荷變化が表れる。(U-効果 II) この交流は増幅器 Amp. を通して波高電壓計 P.V. によつてその電壓(出力電壓 E) が測定される。

この時の機械的振幅は Element の先端に取附けた Condenser C_x の Capacity 變化を周波數變換とし F.M. に結合して Brown 管 B の波高 h によつて讀む。(前節参照) Brown 管入力における切替 Switch は h の測定と Amp. の出力における波形と交互に視測する爲のものである。

出力電壓は恰良 Impedance Matching の状態での値を讀む事が望ましい。(緒論参照) 従つて第9, 10報に述べたのと全く同じ方法によつて Element の内部 Impedance を測定し、この Impedance に等しい負荷を加え

た時の出力電壓を測定した。R₁, R₂ はこの負荷であつて、又分割抵抗式にしたのは P.V. の讀みがおの scale におさまる様にする爲である。

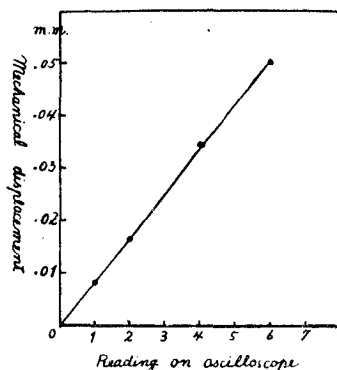


Fig. 4.

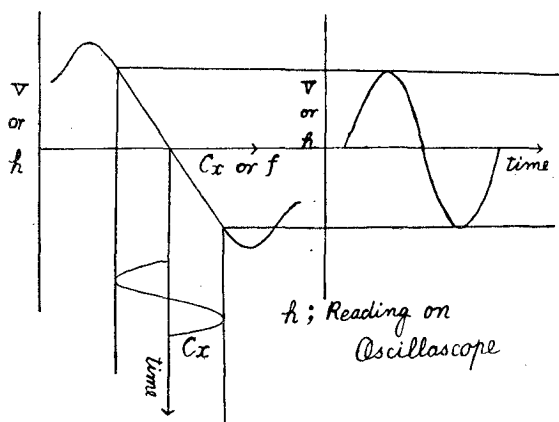


Fig. 5.

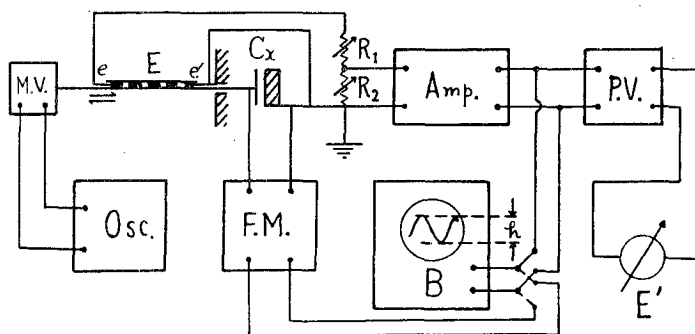


Fig. 6.

4. 實驗結果

(i) Element.

毛細管直径: 0.9mm

電解質溶液: 1n. H₂SO₄aq.

界面數: 40.

自由振動式(ピストン式ではない.)

(ii) 内部 Impedance.

Impedance Matching 法によつて 400⁷⁾における Element の内部 Impedance の測定を行つた處第2表の如く 6,000Ω の負荷で電力の供給が最大であつた。従つて 400⁸⁾での Element の内部 Impedance は 6,000Ω である。又これは周波數に逆比例している事も測定により認められた。従つて以下の測定に於ては負荷は全てその周波數における整合 Impedance を用いた。

(iii) 出力電壓—振幅曲線.

周波數 400⁸⁾, 負荷 6,000Ω の時の出力振幅關係は第3表に示す如くである。

さて出力電壓Eは

$$E = n \cdot R \cdot \sigma(\varphi) \cdot s_0 \cdot \omega \cdot \cos \omega t \dots \dots (1)$$

で與えられる。こゝにRは負荷、σ(φ)は直流分極電壓φの時の界面電荷密度、s₀は界面積變化の振幅、ωは振動の角速度、nは界面數である。我々が測定した振幅 x₀ は一次的振幅であるから面積變化の振幅 s₀ は x₀ の2乗に比例するはずである。此の事は第7圖に於て大体2次曲線が示されている事の理由である。

(iv) 出力電壓—周波數關係.

振幅 x₀ を 0.0015mm. に保つた時各周波數で整合負荷の場合の出力電壓を測定すると第4表の如くである。(1)式によるとEはωRに比例するはずである。第4表の値を圖に畫くと第8圖の如き曲線が得られ、低周波(500⁸⁾以下)で飽和した直線關係が見られる。本實驗では Piston 式 Element を用いず自由振動方式にしたから、Element の振動が實際の界面の振動状態を示していない事(一定周波數の時(iii)には大体 follow していると考えてよいが)、又(1)式では内部 Impedance を考慮に入れていないと云う數式上の不備、からしてこの曲線の検討は今の處

Table 2

R₂ = 50Ω, Voltage amplification = 1000, 400⁸⁾.

R ₁ (Ω)	E' (volts)	E	E ²	Power (= E ² /R ₁ +R ₂)
10,000	0.575	1,150	13,225	1,322
9,000	0.600	1,080	11,664	1,296
8,000	0.670	1,072	11,449	1,431
7,000	0.735	1,029	10,609	1,515
6,000	0.808	969	9,409	1,568
5,000	0.885	885	7,832	1,564

Table 3

Output voltage-Amplitude.

R₁+R₂ = 6,000Ω, R₂ = 60Ω,

Voltage Amplification = 2,000, 400⁸⁾

x ₀ (Amplitude) (mm.)	E' (volts)	E (volts)
0.0255	1.080	54.0 · 10 ⁻³
0.0159	0.449	22.5 "
0.0076	0.180	9.0 "
0.0063	0.115	5.8 "

Table 4
Amplitude $x_0=0.0015\text{mm. const.}$,
Voltage Amplification=2,000

Frequency of vibration (c. p. s.)	E' (volts)	E (volts)	R ₁ +R ₂ (Ω)	R ₂ (Ω)
2,000	0.078	3.9·10 ⁻³	1,200	12
1,000	0.034	1.7· "	2,400	24
500	0.013	0.65· "	4,800	48
100	0.004	0.18· "	24,000	240

出来ない。

5. 總括

U-効果 II に於ける機械—電氣勢力變換能率を求める爲に周波數變調法を用いて機械的振幅を測定する方法を考案した。又 Impedance Matching 法によつて Element の内部 Impedance を求めた。

測定によると直径 0.9mm., Hg-n.H₂SO₄aq. 界面數 40 の Element の内部 Impedance は 400~ で 6,000Ω であり、

この Element をその整合負荷の状態で用いた。定周波數での出力—振幅關係は二次曲線を畫く。此は表面積變化が振幅の二乗に比例する振幅をもつ事によると考えられる。定振幅での出力—周波數關係はほぼ直線で 500~ 以下で飽和している。

本研究に當つて種々御指導を賜つた館勇教授に深甚の謝意を表すると共に實驗に當つて御協力下さつた大塚學院學生西澤和夫君に深謝の意を表する次第である。

文 献 及 び 註

- 1) 昭和26年6月2日, 化研講演會にて發表。
- 2) 上田, 渡邊, 辻, 化研報告, 20, 28 (1950); Mem. Coll. Agr., Kyoto Univ., No. 57, 22 (1950).
- 3) 前田, 林; 周波數變調(昭和21, 修教社). p. 155.
- 4) 勿論此は變位が微小な場合のみである。
- 5) 前田, 林; loc. cit., p. 354.
- 6) 上田, 渡邊, 辻; 化研報告, 18, 108 (1949); 19, 44 (1949); 20, 28 (1950); Mem. Coll. Agr., Kyoto Univ., No. 57, 22 (1950); 電化, 19, 193 (1951).
- 7) 上田, 渡邊, 辻; 化研報告, 24, 12 (1951); 25, 30 (1951); Mem. Coll. Agr., Kyoto Univ. No. 60, 13 (1951).

普通の Impedance 測定に於ける如く外部より交番電圧を Element に加えると界面に電解が起り損傷を來す爲この方法を考案した。

- 8) Impedance を Z, 抵抗を R, Capacitance を C, 角速度を ω とすれば

$$Z = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

従つて $R \ll \frac{1}{\omega C}$ の時

$$Z \approx \frac{1}{\omega C} \quad \text{即ち} \quad Z \propto \frac{1}{\omega}$$

- 9) 文献 2),

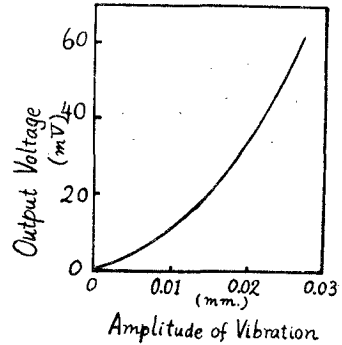


Fig. 7.

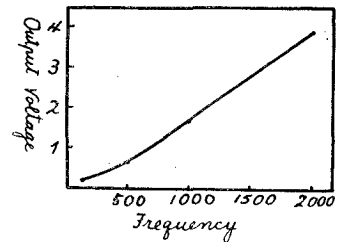


Fig. 8.

(昭和27年1月8日受理)