بسمه تـ

جزوه

اندازه گیری الکتریکی

دانشگاه

علم و صنعت

استاد

دکتر غلامی

دکتر علامی

اندازه گیری الکتریکی :

میان ترم ۶ نمره

پایان ترم ۱۴ نمره

کوئیز ۲ نمره

مراجع : دستگاه های اندازه گیری الکتریکی (مسعود علامی) دانشگاه تهران

Seubay " a course in electrical ⇐ ترین های خوب

Indiq press & electronic measurments &

Instrumentation "

اهداف اندازه گیری الکتریکی چیست؟

۱- تعیین وجود یا عدم وجود کمیت مورد نظر

۲- تعیین مقدار یک کمیت مجهول

۳- کنترل مقدار یک کمیت در حین پروسه مراقبتی (monitoring)

۴- تولید وسایل تولیدی شایب با ویژگی های قابل انتظار

(مثلاً صحیح کردن دستگاه های الکتریکی (calibration)

۵- ارزیابی کیفی تجهیزات (test device)

$0.05 \leq P \leq 0.95$

رنج بالا فرکانس شبکه سراسری برق

دستگاه اندازه گیری چیست؟

وسیله ای برای محقق شدن اهداف اندازه گیری

اندازه گیری یعنی چه؟

- مقایسه یک کمیت مجهول با یک کمیت معلوم و استاندارد
- مقایسه دو کمیت (از نظر شدت) قابل قیاس

} جهت تعیین کمیت یا پدیده مجهول

خطای اندازه گیری؟

تفاوت میان مقدار واقعی و مقدار اندازه گیری شده

حالات های ممکن:

۱- خطای مطلق
۲- خطای نسبی
۳- درصد خطای نسبی

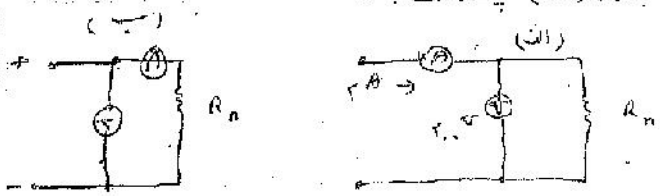
مقدار واقعی A ← مقدار اندازه گیری شده A_m ← خطای مطلق $\Delta A = A_m - A$

$\varepsilon_A = \frac{\Delta A}{A}$

$\varepsilon_{A\%} = \varepsilon_A \times 100 = \frac{\Delta A}{A} \times 100$

خطای سیستماتیک دارای ابعاد و علامت است ← باید تصحیح شود (مهم!)

مثال: درصد خطای نسبی اندازه‌گیری مقاومت با مدار (الف) چقدر است؟



$R_A = 1\ \Omega \qquad R_V = 20\ k\Omega$

اندازه‌گیری R_n (ب): $\frac{V}{I} = 100\ \Omega$ مقدار واقعی $R = \frac{V}{I_R} = \frac{V}{I - I_V}$

$I_V = \frac{V}{R_V} = \frac{20}{20\,000} = 1\ mA$ $\qquad R = \frac{20}{1/992} = 100\ \Omega$

$\Rightarrow \%\varepsilon_r = \left(\frac{100 - R}{R}\right) \times 100 \simeq \ominus 0.8\ \%$

انواع خطاها:

۱- خطاهای اصولی (تابع حالت، رابطه دقیق قابل محاسبه) مانند خطای ناشی از روش اندازه‌گیری (قابل پیش‌بینی)

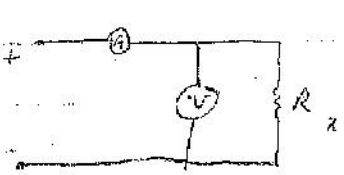
به عنوان مثال: روش ولتمتر - آمپرمتری برای اندازه‌گیری R_x

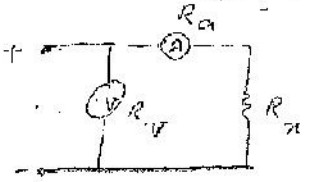
۲- خطاهای اتفاقی (تصادفی): غیرقابل پیش‌بینی، غیرقابل محاسبه.

مقدار میانگین کمیت مجهول $x_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$

در این حالت تخمین مقدار واقعی کمیت مجهول با کدام اندازه‌گیری بهتر است؟

روش ولتمتر آمپرمتری:





مقاومت آمپرمتر

$\%\varepsilon_r = + \frac{R_A}{R_x} \times 100$ $\qquad \%\varepsilon_r = - \frac{R_x}{R_V} \times 100$

$(R_x)_m = R_x = \frac{V}{I}$

اندازه گیری الکتریکی :

بیان درس : نظری
پایان درس : ۱۴ هفته
کلاس : ۲ واحد

مراجع : دستگاه های اندازه گیری الکتریکی (سنجد و همکاران)
انتشارات فدک

textbook : a course in electrical → ترین های خوب
Indigress & electronic measurments & instrumentation"

اهداف اندازه گیری الکتریکی چیست؟

۱- تعیین وجود یا عدم وجود یک کمیت مورد نظر
۲- تعیین مقدار یک کمیت مجهول
۳- کنترل مقدار یک کمیت در حین پروسه برداری (monitoring)
۴- تولید وسایل تولیدی مناسب با ویژگی های قابل انتظار (مثلا مدرج کردن دستگاه های الکتریکی (calibration)
۵- ارزیابی کیفی تجهیزات (test device)

$0.5 \leq f \leq 50.0$
دفع هارمونیک شبکه سراسری
برق

دستگاه اندازه گیری چیست؟

وسیله ای برای محقق شدن اهداف اندازه گیری

اندازه گیری یعنی چه؟

- مقایسه یک کمیت مجهول با یک کمیت معلوم و استاندارد
- مقایسه دو کمیت (با ثابت) قابل قیاس

} جهت تعیین کمیت یا پدیده مجهول

خطای اندازه گیری :

تفاوت میان مقدار واقعی و مقدار اندازه گیری شده

مقدار اندازه گیری شده
مقدار واقعی → A ، A_m ← خطای مطلق : $\Delta A = A_m - A$

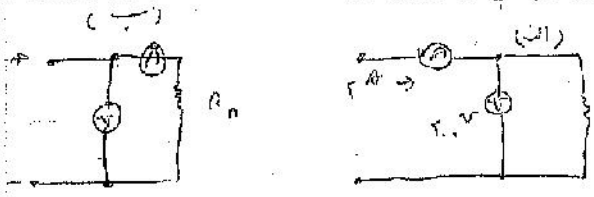
$\varepsilon_A = \frac{\Delta A}{A}$

$\varepsilon_A \times 100 = \frac{\Delta A}{A} \times 100$: خطای نسبی

حالت های مکن
۱- خطای صفر
۲- خطای نسبی
۳- درصد خطای نسبی

خطای مطلق برای ابزار ورودی است ← باید توسط شرکت (سازنده)

مثال: درصد خطای نسبی اندازه‌گیری مقاومت با مدار (الف) چقدر است؟



$R_A = 1\ \Omega \qquad R_V = 20\ k\Omega$

مقاومت اندازه‌گیری شده R_n : $\frac{V}{I} = 10\ \Omega$ مقاومت واقعی $R = \frac{V}{I_n} = \frac{V}{I - I_V}$

$I_V = \frac{V}{R_V} = \frac{20}{20\,000} = 1\ mA \qquad R = \frac{20}{1.999} = \cdots$

$\Rightarrow \%\varepsilon_r = \left(\frac{10 - R}{R}\right) \times 100 \simeq \ominus 0.05\ \%$

انواع خطاها :

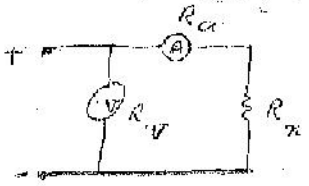
۱- خطاهای اصولی (تابع مقادیر، ابعاد و تابل خاصه) مانند خطاهایی ناشی از روش اندازه‌گیری (قابل پیش‌بینی) — وابسته با عوامل تأثیرگذار

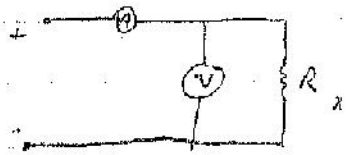
به عنوان مثال: روش ولتمتر - آمپرمتری برای اندازه‌گیری R_x

۲- خطاهای اتفاقی (سعوی): غیرقابل پیش‌بینی، غیرقابل خاصه. مقدار واقعی کمیت مجهول ← $x_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$

با این صفات تخمین مقدار واقعی کمیت مجهول با کدام اندازه‌گیری بهتر حاصل می‌شود.

روش ولتمتر آمپرمتری:





$\%\varepsilon_x = + \frac{R_A}{R_x} \times 100$

$\%\varepsilon_x = - \frac{R_x}{R_V} \times 100$

$(R_x)_m = R'_x = \frac{V}{I}$

خطاهای اتفاقی ←

$$\% \varepsilon_x = \frac{x_m - x}{x} \times 100$$

منابع خطا ساز : (عوامل ایجاد کننده خطا در اندازه‌گیری ها)

عوامل خطا ←
- ۱- روش اندازه‌گیری
- ۲- دستگاه اندازه‌گیری
- ۳- عوامل خارجی (دما، رطوبت، فشار، شار مغناطیسی پراکنده، میدان الکتریکی سرگردان و ...)

$$R_t = R_1 (1 + \alpha T)$$

۴- شخص اندازه‌گیر (حواس، دقت، بازدید و ...)

آنالیز خطاها : تعیین ارتباط بین خطاهای متوالی مرتبط با هم. مانند خطای جمع، ضرب، تقسیم و ...

نوعی دیگر از خطا $P = V^2$

$$\varepsilon_P = f(\varepsilon_V, \varepsilon_I)$$

خطاهای اندازه‌گیری توان

ولت‌سنج ← ... ← ورودی

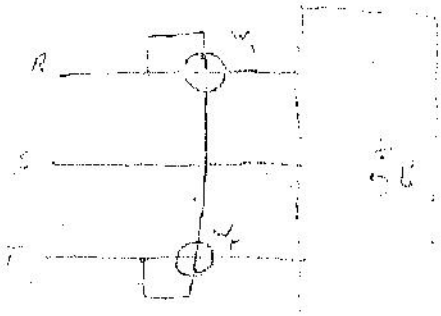
آمپرمتر ← ... ← جریان

جمع: $\theta < 5^\circ \quad P_t = P_1 + P_2$

تفریق: $\theta \geq 5^\circ \quad P_t = P_1 - P_2$

ضرب: $P = V \cdot I \cos\theta$

تقسیم: $R = \frac{V}{I}$



$$\begin{cases} \theta = (\hat{V}_{rms}, I) < 5^\circ \\ P_t = P_1 + P_2 \end{cases} \rightarrow \text{روش اول}$$

$$\begin{cases} \theta > 5^\circ \\ P_t = P_1 - P_2 \end{cases} \nearrow \text{روش دوم}$$

خطای حاصل جمع:

$z = u + v$ مقادیر واقعی

$\Rightarrow \Delta z = z_m - z = \Delta u + \Delta v$ خطای مطلق

$z_m = u_m + v_m$ مقادیر اندازه‌گیری شده

$\Rightarrow \frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta u}{u} \cdot \frac{u}{z} + \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{v}{z} \Rightarrow \varepsilon_z = \varepsilon_u \cdot \frac{u}{z} + \varepsilon_v \cdot \frac{v}{z}$

$\Rightarrow \varepsilon_z = (\pm |\varepsilon_u| \frac{u}{z}) + (\pm |\varepsilon_v| \frac{v}{z})$

$\varepsilon_z = \pm \left[|\varepsilon_u| \frac{u}{z} + |\varepsilon_v| \frac{v}{z} \right]$ بدترین شرایط (خطاهای فزاینده عدد باشند)

خطای حاصل تفریق:

$z = u - v$ مقادیر واقعی

$\Rightarrow z_m - z = \Delta z = \Delta u - \Delta v \Rightarrow$

$z_m = u_m - v_m$ مقادیر اندازه‌گیری شده

$\frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta u}{u} \cdot \frac{u}{z} - \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{v}{z}$

$\Rightarrow \varepsilon_z = (\pm |\varepsilon_u| \frac{u}{z}) - (\pm |\varepsilon_v| \frac{v}{z})$

$\varepsilon_z = \pm \left[|\varepsilon_u| \frac{u}{z} + |\varepsilon_v| \frac{v}{z} \right]$ بدترین شرایط (خطاهای فزاینده ممکن الصدور باشند)

دقت شود که در خطای حاصل تفریق، با نزدیک شدن z به صفر ($z \to 0$) خطا بسیار زیاد می‌شود.

خطای حاصلضرب:

$z = u \cdot v$ $\xrightarrow{\text{لگاریتم}}$ $\ln z = \ln u + \ln v$

مشتق نسبت به y $\Rightarrow$ $\frac{1}{z} = \frac{1}{u}\frac{du}{dy} + \frac{1}{v}\frac{dv}{dy}$

با تقریب قابل قبول $\Rightarrow$ $\frac{1}{z} = \frac{1}{u}\frac{\Delta u}{\Delta y} + \frac{1}{v}\frac{\Delta v}{\Delta y}$

$\Rightarrow$ $\frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta v}{v}$

$\varepsilon_z = \varepsilon_u + \varepsilon_v$ حداکثر خطاها جمع قدر مطلق‌هاست

$\varepsilon_z = (\pm|\varepsilon_u|) + (\pm|\varepsilon_v|)$

$\Rightarrow$ در بهترین شرایط $\varepsilon_z = \pm[|\varepsilon_u| + |\varepsilon_v|]$

(عدم علامت بودن خطای مرکب)

خطای حاصل تقسیم:

$z = \frac{u}{v}$ $\xrightarrow{\text{لگاریتم}}$ $\ln z = \ln u - \ln v$

$\frac{1}{z} = \frac{1}{u}\frac{du}{dy} - \frac{1}{v}\frac{dv}{dy}$

$\frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta u}{u} - \frac{\Delta v}{v}$

$\varepsilon_z = \varepsilon_u - \varepsilon_v$

$\Rightarrow \varepsilon_z = (\pm|\varepsilon_u|) - (\pm|\varepsilon_v|)$

$\Rightarrow$ در بهترین شرایط (مخرج العدد بودن خطای نسبی) $\varepsilon_z = \pm[|\varepsilon_u| + |\varepsilon_v|]$

در حالت کلی:

$$f = u^m \cdot v^n$$

$$\varepsilon_f = \pm \left[|m\varepsilon_u| + |n\varepsilon_v| \right] \Rightarrow \text{بدترین خطا}$$

دقت دستگاه اندازه‌گیری ← عوامل خطای مربوط به آن

صحت دستگاه اندازه‌گیری ← پایداری پاسخ دستگاه در تکرار اندازه‌گیری یک کمیت مجهول

حساسیت دستگاه اندازه‌گیری ← نسبت واکنش دستگاه به کمیت مورد سنجش (کمیت ورودی کننده)

$$S = \frac{\Delta\theta}{\Delta I}$$

مثال: θ = زاویه انحراف I = جریان مورد سنجش

$$\varepsilon_i = \frac{\theta}{I} \quad [rad/A]$$

علائم دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی:

حالت‌های ممکن:

۱- علائم مربوط به کمیت مورد سنجش

۲- علائم مربوط به نوع دستگاه اندازه‌گیری

۳- علائم مشترک

نوع کمیت مورد سنجش	نام دستگاه	علامت دستگاه	ملاحظات
اختلاف پتانسیل	ولتمتر	(V) یا [V]	دارای مقاومت داخلی خیلی زیاد، با اتصال موازی

جریان الکتریکی	آمپرمتر	(A) یا [A]	دارای مقاومت (امپدانس) خیلی کم، با اتصال سری با مدار

توان الکتریکی ... واتمتر ... سیم پیچ جریان با مقاومت کم و با سیم کلفت
سیم پیچ ولتاژ با مقاومت زیاد و با سیم نازک

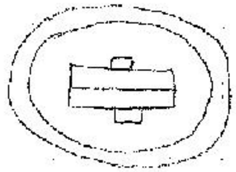
مقاومت اهمی ... اهم متر ... Ω

فرکانس ... فرکانس متر ... Hz

۲- نوع دستگاه :

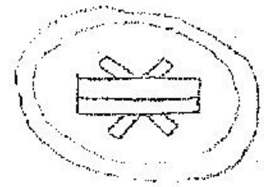
علامت دستگاه	شرح آن
	دستگاه اندازه گیری با سیم پیچ متحرک و آهنربای دائمی
	دستگاه مجهز به یکسو ساز نیمه موج
	یکسو ساز (کلیدی) AC را هم اندازه می‌گیرد
	یکسو ساز (کلیدی) DC را هم اندازه می‌گیرد
	دستگاه اندازه گیری با سیم پیچ متحرک و آهنربای دائم (نیمه صنعتی)
	دستگاه اندازه گیری با آهن نرم متحرک (متحرک)
	دستگاه اندازه گیری با آهن نرم متحرک نیمه صنعتی
	دستگاه اندازه گیری الکترودینامیکی

$$\left.\begin{array}{l} n B S I = c \theta \\ I = k \theta \\ c = \dfrac{k}{n B S} \end{array}\right\} \text{ثابت}$$



دستگاه اندازه‌گیری فرو دینامیکی

حالت بسته آهنربایی در الکترو دینامیکی ندارد



دستگاه اندازه‌گیری فرودینامیکی نسبت‌سنج

دستگاه اندازه‌گیری الکترودینامیکی نسبت‌سنج

دستگاه اندازه‌گیری الکترواستاتیکی

دستگاه اندازه‌گیری اندوکسیونی

دستگاه اندازه‌گیری با آهن ربای متحرک (دیگران)

۳- علائم مشترک

علامت	شرح
x (کلاس دقت ۱/۵)	بیان درصد خطای نسبی دستگاه نسبت به رنج آن

رنج ۱ : ۱۰ دستگاه بین $\frac{1}{10}$ نسبت — رنجهای معین { $\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{5}$

۰/۱ ، ۰/۲ ، ۰/۵ در رنج $\frac{1}{2}$

تحمل ولتاژ

این دستگاه طبق استاندارد مطابق آزمایش شده است

استقامت عایق این دستگاه در سطح ۵۰۰۰ تضمین می‌شود.

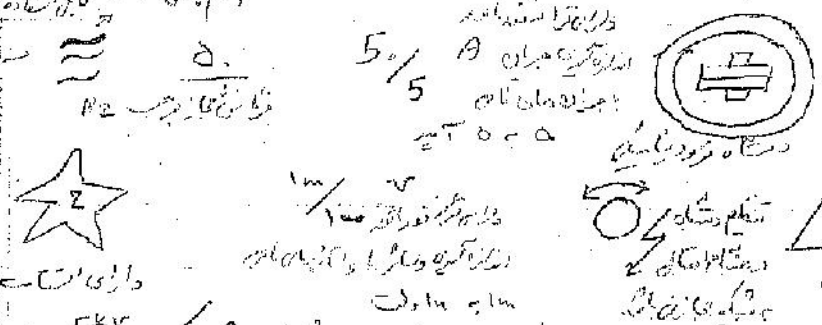
استقامت عایقی این دستگاه در سطح ۵ کیلو ولت تضمین می‌شود.

تمرین ۱ - علائم دستگاه‌های زیر را به هم متصل و آنهای را که با هم ارتباط دارند پیدا کنید.

الکترواستاتیک، اندوکسیون، ارتعاشی، ماتریس

ابتکار خود

تمرین ۲ - روی یک دستگاه اندازه‌گیری علائم زیر نشان داده شده است.



چنانچه در علائم زیر تقسیم دهید — کمیت مورد اندازه‌گیری توسط این دستگاه را مشخص کنید.

تمرین ۳ - کمیت مورد سنجش را مشخص کنید — حطای نسبی کمیت مورد سنجش را از لحاظ وسیله را مقایسه نمایید.

کمیت مورد سنجش: وات - وار

(P) واتمتر — (Q) وارمتر

کمیت مورد سنجش: $\frac{5}{\sqrt{3}}$ kVAR یا 5 kW — چرا؟ — چون ضریب قدرت ۱ است.

تابلو دستگاه

حطای نسبی: ۲٪

انواع دستگاه های اندازه گیری الکتریکی

الف - دستگاه های انحرافی

ب - دستگاه های مقایسه ای

اصول کار دستگاه های انحرافی: گشتاور مورد منتظر (مولد) با یک مرجع مقایسه آن (فنر) باعث ایجاد گشتاور مرجع و در نتیجه آن یکی از اعضای دستگاه (عقربه) جابجا می شود. در این حالت رابطه زیر حاکم است.

مدل دستگاه ←

$\theta = f(x)$ ⇒ $\theta = f(x)$

$\theta = f(x)$

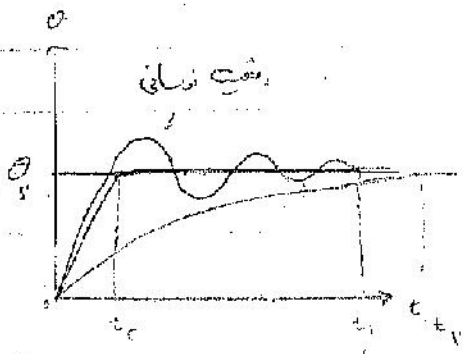
زاویه انحراف دستگاه

انواع گشتاورهای لازم در یک دستگاه اندازه گیری:

۱- گشتاور مرجع : تابع کمیت مورد سنجش

۲- گشتاور مقاوم : تابع زاویه انحراف دستگاه

۳- گشتاور مستهلک کننده نوسانات دستگاه : تابع سرعت زاویه ای



t_1: مدت زمان لازم برای رسیدن به θ_2

t_2 : زمان نشست

زمان لازم جهت حرکت عقربه و استقرار آن در انحراف θ_2 بدون نوسان

وقتی عقربه در θ_2 متوقف شود سرعت زاویه ای آن صفر است (تمام انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل تبدیل شده است) و دیگر حرکت نمی کند.

تعداد نوسان

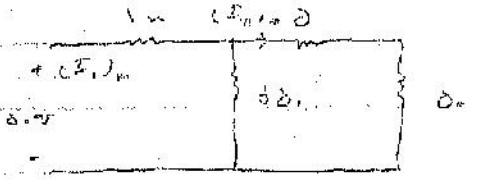
(بستگی به خاصیت میرایی)

مدار اول :

$R_{eq} = (5\Omega \parallel 6\Omega) + 1\Omega + 0.2\Omega = 4.27\Omega$

$I_1 = \frac{50}{14.67} = 3.41\ A$

$I_{2\Omega} = \frac{5}{5+6} \times 3.41 = 1.55\ A$



$R_{eq} = (5\Omega \parallel 6\Omega) + 1\Omega = 3.73\Omega$

$I_1 = \frac{50}{13.73} = 3.64\ A$

$I_{2\Omega} = \frac{5}{11} \times 3.64 = 1.65\ A$

$\Delta I_{2\Omega} = 1.65 - 1.55 = 0.1\ A$

$\Delta\% = \frac{0.1}{1.55} \times 100 = 6.45\%$

مدار دوم :

$R_{eq} = (5\Omega \parallel 6\Omega) + 1\Omega = 3.73\Omega$

$I_1 = \frac{50}{13.73} = 3.64\ A$

$I_{2\Omega} = \frac{5}{11} \times 3.64 = 1.65\ A$

$I_{2\Omega} = \frac{50}{55.55} \times 1 = 0.9\ A$

$\Delta I_{2\Omega} = 1.65 - 0.9 = 0.75\ A$

$\Delta\% = \frac{0.75}{0.9} \times 100 = 83.3\%$

سوال ۳ - حل :

$P_m = R_m I_m^2$

$\Rightarrow \Delta P\% = 2\Delta I\% + \Delta R\% = -5.1\%$

$P_m = 17.34\ (W)$

$P_{in} = \frac{(P_{in})_m}{1+\varepsilon_p} = \frac{17.34}{1-0.15} = 17.11\ (W)$

سوال ۴ - حل :

$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow \varepsilon_P = 2\varepsilon_V - \varepsilon_R =$

$\Rightarrow \varepsilon_{P_{max}} = \pm \left[2\varepsilon_V + \varepsilon_R \right] = \pm 5.1\%$

$\varepsilon_{P_{min}} = \pm 0.5\%$

تمرین دوم - سوال ۱ :

دو جسم مانند سنگ و پر در شرایط خلاء (در لوله لایپ) ... وضعیت استقرار ... الکترون ...

... دستگاه سنجش میزان اجرای ...

تمرین دوم - ۲ :

... ارتعاش ...

روش های ایجاد گشتاور مقاوم :

$T_r = C\theta \Rightarrow \begin{cases} \theta = 0 \\ T_r = 0 \end{cases}$

$f(\theta)$

الف - با استفاده از فنر مقاوم ← گشتاور مقاوم فنری

ب - از نیروی کشش یک وزنه (m) ← گشتاور مقاوم ثقلی (وزنه ای)

الف ← چون فنر معمولاً از آلیاژ فلزی بوده است و خاصیت کشسانی دارد و دارای ثابت نگهدارنده (کشسانی است)

... جهت چرخش عقربه دستگاه ... صفحه درجه ... عقربه ... محور ... صفحه ثابت ... عقربه متحرک ... اسکار قرقره ... جهت چرخش عقربه دستگاه

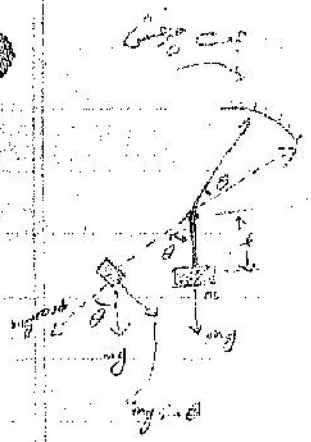
... ضریب پیچشی فنر مقاوم ($= C$)

$T_r = f(\theta) = C\theta$

C : N.m/rad

نام ... ↓

ب :



m : جرم وزنه معلق است به

l : طول بازوی نیروی وزنه m

mgl : گشتاور نیروی وزنه m

θ : زاویه چرخش میله دستگاه

$$\Rightarrow T_r = F_r \cdot l = mg\sin\theta \, l \qquad \Rightarrow T_r = k\sin\theta$$

$$k = mgl = \text{constant}$$

سؤال امتحانی : کاملاً مزایا و معایب روشهای مذکور را به طور کامل شرح داده ، موارد کاربرد هر روش را تعیین کنید !

موارد کاربرد : 1 متر مرجع حالت مرجع دارد ، سنجه مرجع حالت انرژی $\Delta\alpha$

به علت دقت بالای دستگاه من روش 1 را انتخاب می کنم . روش ب به حالت 1

نکته : در صفحات ۱۰ و ۱۱ توضیحات کاملی ارائه شده است .

روش های اندازه گیری در مکانیک کلاسیک ، مزایا و معایب دستگاه :

روش ها ، مبانی دقیق

$$T_a = f\left(\frac{d\theta}{dt}\right) \Rightarrow \begin{cases} \frac{d\theta}{dt} \\ T_a \end{cases}$$

الف - روش های الکتریکی : ۱- روش تماس (مقاومتی)

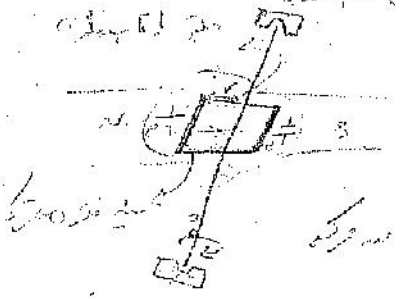
نیروی الکتروموتاتیو ، ۲- روش سنجشی

ب - روش مکانیکی ۱- روش پیستونی

۲- روش لرزه ای

الف ـ ۱ : برای رسانه‌های با آهنربای دائم بهترین روش است

دوگانه آهنربای دائم :



نیروی محرکه القایی = $B \cdot l \cdot v$

$\Rightarrow$ نیروی محرکه $\mathcal{E} = 2Blv$

$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{2Blv}{R} = \frac{Bs}{R}\frac{d\theta}{dt}$ ثابت جریان

$v = r\frac{d\theta}{dt}$

$\Rightarrow I = k\frac{d\theta}{dt}$

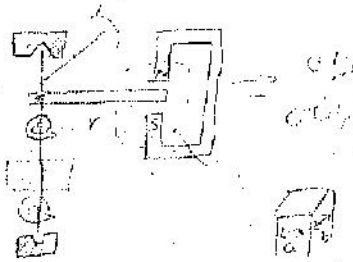
$\frac{d\theta}{dt}$: عبور جریان از آهنربا باعث گشتاور مقاوم می‌شود.

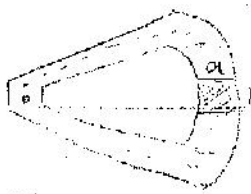
$F = B \cdot l \cdot I$ نیروی وارد بر هر بازو

$\Rightarrow T = T_a = F \times 2r = 2Bl2rI = BsI = \frac{B^2s^2}{R^2}\frac{d\theta}{dt}$

$\Rightarrow T_a = A\frac{d\theta}{dt}$

الف ـ ۲ (روش صنعتی) : برای کلیه رسانه‌های دیگر (غیر آهنربای دائم)





۲ : شافت چدنی قوی سنگین

۱۵. مدل کلاسیک آهسته ۱ : مدل کوانتم آهنربا

۱۶. فرومغناطیس (جایی که خاصیت مغناطیسی آهنربا از آن ناشی می‌شود) کوانتم (مقدارات)

$E = B \cdot a \cdot v = B \cdot a \cdot r \frac{d\theta}{dt}$ ولتاژ القا شده در حلقه فلزی مستطیلی

$I = \frac{\varepsilon}{R}$ ← مقاومت کل مسیر جریان حلقه $R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{a}{b \cdot c}$

مقاومت ویژه سیم فلزی

$\Rightarrow I = \frac{B \cdot a \cdot c \cdot r}{\rho} \cdot \frac{d\theta}{dt}$

گشتاور مقاوم کننده

انرژی مصرف شده در حلقه فلزی در زمان dt $dW = RI^2 dt \Rightarrow \frac{dW}{d\theta} = T_{ca} = RI^2 \frac{dt}{d\theta}$

$\Rightarrow T_{ca} = B \frac{r^2}{\rho} a \cdot b \cdot c \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow T_{ca} = A \frac{d\theta}{dt}$ گشتاور مقاوم کننده در مغناطیس

۱۷. کوانتومتر: یک دستگاه اندازه‌گیری با سیم پیچ متحرک و آهنربای دائم و ادوات نمایش اعدادی

۱- دارای میدان مغناطیسی شعاعی

۲- دارای حساسیت بسیار زیاد است.

۳- گشتاور ایجاد شده در این دستگاه خیلی کم است.

۴- زاویه گشتاور متناسب با جریان است.

۵- نیرو مغناطیسی دستگاه خیلی کم (حدود ۱۰ میلی نیوتن) می‌باشد.

کاربرد دستگاه :

۱. اندازه‌گیری جریان های خیلی کم .

۲. اندازه‌گیری ولتاژهای خیلی کم .

۳. تشخیص حالت تعادل در دستگاه های مکانیکی .

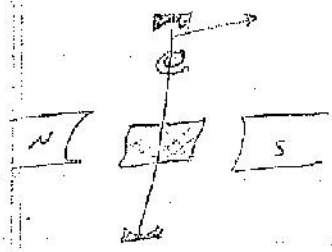
* ۴. بررسی وضعیت دینامیکی دستگاه های انسانی

انواع گالوانومترهای D'Arsonval :

۱. گالوانومترهای تکی

۲. گالوانومترهای آویزان .

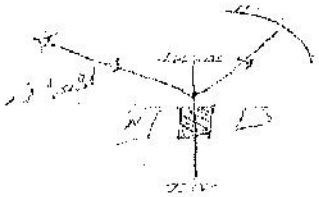
۱. گالوانومتر تکی ← محور چرخش دستگاه بین دو تسمه ثابت قرار دارد .

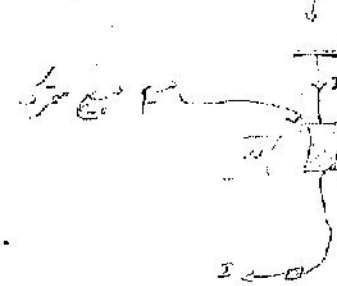


۲. آویزان

الف ـ آویزان کشیده ←

ب ـ آویزان آزاد





اجزاء مهم دستگاه :

۱. آهنربای دائم

۲. سیم پیچ متحرک

۳. محور چرخش (کارکردی نگهدارنده سیم پیچ)

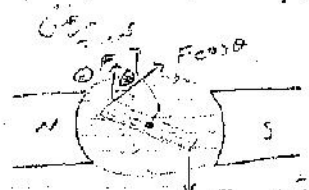
۴. قطعات کمکی در دستگاه های تکی)

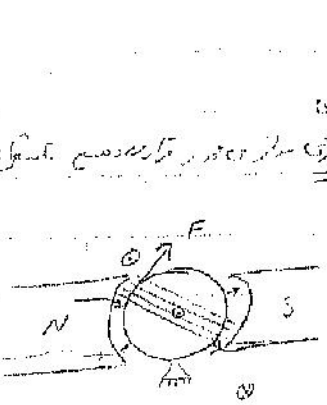
۵. اسپرینگ آهنی ثابت (جهت خنثی کردن جریان های اضافی)

۶. تاب فلزی (جهت عبور جریان از آشکارساز و متصل کردن آن به مدار)

۷. مقاومت کوچک متصل به تاب فلزی

ملاحظات دستگاه :





کاربرد دستگاه :

۱- اندازه‌گیری جریان های خیلی کم .

۲- اندازه‌گیری ولتاژهای خیلی کم .

۳- تشخیص حالت تعادل در دستگاه‌های مقایسه‌ای .

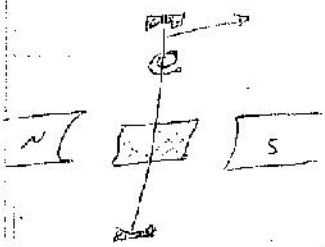
* ۴- بررسی وضعیت دینامیکی دستگاه‌های اندازه‌گیری .

انواع گالوانومترهای Ω :

۱- گالوانومترهای تکی

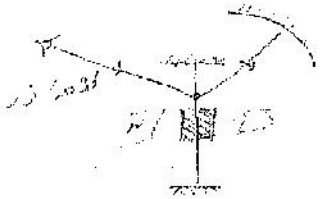
۲- گالوانومترهای آویزان

۱- گالوانومتر تکی ـ در محور چرخش دستگاه بین دو نقطه ثابت قرار دارد .

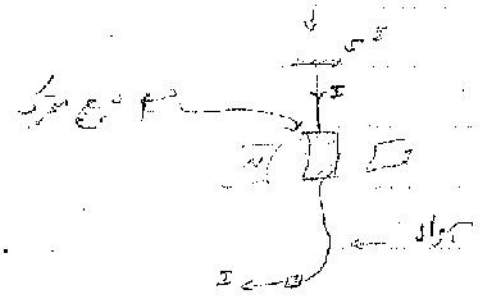


۲ ـ آویزان

الف ـ آویزان کشیده



ب ـ آویزان آزاد



اجزاء مهم دستگاه :

۱- آهنربای دائم

۲- سیم پیچی متحرک

۳- محور چرخش (نگهدارنده سیم پیچی)

۴- قسمتهای ثابت دستگاه های تکی)

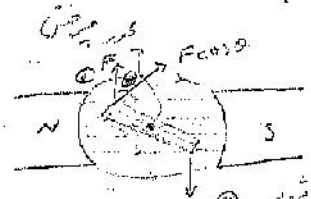
۵- ابزار آهنی ثابت (جهت نشان دادن میدان مغناطیسی)

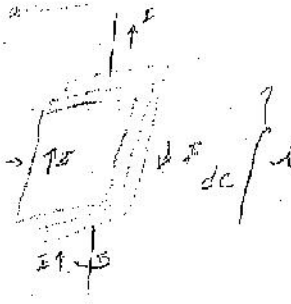
۶- تاب فنری (هشت فنری) جهت ایجاد گشتاور مقاوم کننده

۷- قرار گرفتن سیم پیچ متحرک در فاصله

ملزم کار دستگاه :

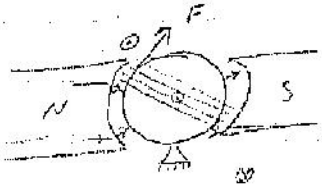
ان گشتاور محرک





$F = nBIL$

$\Rightarrow T_e = F \cdot r \cdot \cos\theta = nBSI\cos\theta$



$F = nBIL$

$\Rightarrow T_e = nBSI \Rightarrow T_e = K' \cdot I$

گشتاور مقاوم

$\Rightarrow T_r = c\theta$

$T_e = f_1(x)$, $T_r = f_2(\theta)$ $\Rightarrow$ تعادل $T_r = T_e \Rightarrow c\theta = nBSI \Rightarrow I = \frac{c}{nBS}\theta$

$(\theta = \theta_0)$ حالت تعادل $\Rightarrow I = K\theta$

بررسی وضعیت دینامیکی:

گشتاورهای موجود در حالت وضعیت دینامیکی عبارتند از:

۱- گشتاور الکترومغناطیسی $T_e = nBsi$ در جهت θ

۲- گشتاور مقاوم $T_r = c\theta$

۳- گشتاور مستهلک کننده ناشی از اصطکاک هوا $T_d = f\frac{d\theta}{dt}$

۴- گشتاور اینرسی $T_J = J\frac{d^2\theta}{dt^2}$

ثابت فنر c ، ضریب اصطکاک هوا f ، ممان اینرسی J

رابطه موجود در وضعیت دینامیکی دستگاه:

$$T_e = T_r + T_d + T_J$$

T_e: گشتاور الکترومغناطیسی

T_r: گشتاور فنر

T_d: گشتاور مستهلک کننده ناشی از اصطکاک هوا

T_J: گشتاور اینرسی

رابطه گشتاورها:

$$nBsi = c\theta + f\frac{d\theta}{dt} + J\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$nBsi$: گشتاور الکترومغناطیسی

$c\theta$: گشتاور فنر

$f\frac{d\theta}{dt}$: گشتاور مستهلک کننده ناشی از اصطکاک هوا

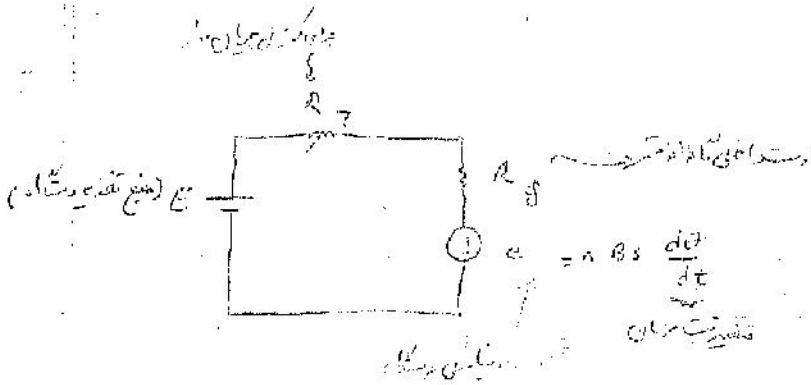
$J\frac{d^2\theta}{dt^2}$: گشتاور اینرسی

گشتاورهای مخالف حرکت دورانی

گشتاورهای محرک حرکت دورانی

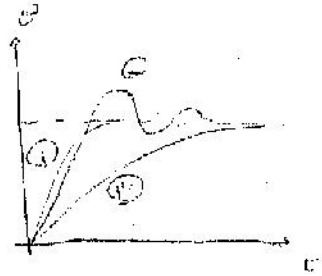
سرعت آورنده: T_e

سایر معادلات الکترومغناطیسی دستگاه:



$$i = \frac{E - e}{R + R_g} = \frac{C}{R + R_g} - \frac{nBS}{R + R_g} \frac{d\theta}{dt}$$

θ_s حول محور از رابطه ثابت



$$\Rightarrow nB\left[I_s - \frac{nBS}{R + R_g} \cdot \frac{d\theta}{dt} \right] = c\theta + F\frac{d\theta}{dt} + J\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

حالت پایدار $c\theta_s = nBS I_s$ ثابت دستگاه

$$I_s = k\theta_s \Rightarrow nBS = \frac{c}{k}$$

$$\Rightarrow J\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left[F + \frac{c^2}{k^2(R + R_g)} \right] \frac{d\theta}{dt} + c\theta = \frac{c}{k} I_s$$

A ضریب گشتاور استاتیک نوسانات دستگاه ← ضریب میرایی است

$$\Rightarrow J\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + c\theta = \frac{c}{k} I_s$$ رابطه نهایی الکترودینامیکی دستگاه

* بررسی حالات دینامیکی مختلف اجسام پایه‌دار با معادله الکترودینامیکی مربوطه.

الف - پاسخ خصوصی (وضعیت اینکه مدت‌ها پس از روشن شدن I_s سکوت پیدا کرده)

$t \to \infty$ I_s $\theta \to \theta_s$ $\Rightarrow$ $\frac{d\theta}{dt} = 0$, $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$

$\Rightarrow c\theta_s = \frac{c}{k} I_s \Rightarrow \theta_s = \frac{1}{k} I_s$ پاسخ خصوصی

ب - پاسخ طبیعی (در حالت گذرا transient)

$J\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + c\theta = 0 \Rightarrow \theta_t = me^{pt}$ پاسخ طبیعی گذرا

$\Rightarrow Jmp^2e^{pt} + pmAe^{pt} + cme^{pt} = 0$

$\Rightarrow m e^{rt}\left[3r^2 + Ar + C \right] = 0 \quad \Rightarrow 3r^2 + Ar + C = 0$

معادله مشخصه

$$r = \frac{-A \pm \sqrt{A^2 - 4 \times 3 \times C}}{2 \times 3}$$

۱- $A^2 - 4 \times 3 \times C > 0$ ← دو جواب حقیقی : (حالت میرایی) $\theta = m_1 e^{r_1 t} + m_2 e^{r_2 t}$

۲- $A^2 - 4 \times 3 \times C = 0$ ← دو جواب مساوی (میرایی بحرانی) $\theta = m_1 e^{r_1 t} + m_2 t e^{r_1 t}$

۳- $A^2 - 4 \times 3 \times C < 0$ ← دو جواب موهومی : (حالت نوسانی یا میرایی ضعیف)

$$\theta = e^{-\alpha t}\left[m_1 e^{j\omega t} + m_2 e^{-j\omega t} \right]$$

$$\begin{cases} \alpha = \frac{A}{6} \\ \omega = \sqrt{\frac{C}{3} - \alpha^2} \end{cases}$$

$\theta = \theta_1 + \theta_2$ ← پاسخ کلی

* مناسب‌ترین حالت ، حالت میرایی بحرانی است، کوتاه‌ترین سریع به حالت پایدار می‌رسد.

تعریف پارامترهای اصلی که گاهی استفاده می‌شود:

ضریب میرایی کاهنده (h) : طبق تعریف $h = \frac{\alpha}{\sqrt{C/3}} = \alpha\sqrt{3/C}$

دوره میرانوسان

δ : ضریب لگاریتمی کاهنده $\quad C$: ضریب نیروی فنر

اگر h ← حالت میرایی بحرانی

اگر $h = 0$ ← نوسانی

اگر $h < 1$ ← نوسانی

۲- مقاومت میرایی بحرانی (R_c) : مقاومتی که مدار در حالت میرایی بحرانی ($A^2 - 4 \times 3 \times C = 0$)

مقاومت معادل مسیر جبرانی : $R_c = R + R_g$

۳- ضریب کیفیت مدار سری جبرانی ($k=1$) : A_c

$$A_c = \Phi + \frac{c^2}{k^2 (R+R_g)} \Rightarrow A_c = \Phi + \frac{c^2}{k^2 R_c} = 2\sqrt{\Phi c}$$

$$A^2 = 4\Phi c \Rightarrow A = 2\sqrt{\Phi c}$$

* اگر Φ داده نشده باشد، با تغییر P در مکان $\frac{c^2}{k^2 R_c}$ مساوی است.

$$\Rightarrow A_c = \frac{c^2}{2k^2\sqrt{\Phi c}} = cte$$

$R_g + R = R_c \Rightarrow$ جبرانی

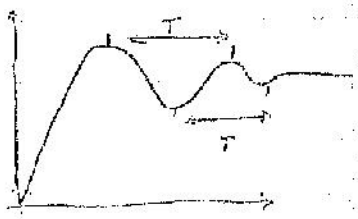
$R_g + R < R_c \Rightarrow$ فوق جبرانی (خودنوسان)

$R_g + R > R_c \Rightarrow$ زیر جبرانی

۴- زمان تثبیت نوسانات دستگاه : زمان لازم برای یک میکرو کامل در وضعیت نوسانی

$$\omega = 2\pi P = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$$

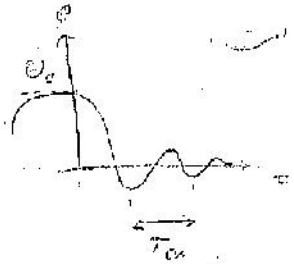
$$\omega = \sqrt{\frac{c}{\Phi} - a^2}$$



$$\Rightarrow T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{c}{\Phi}\left[1 - \left(\frac{R_c}{R+R_g}\right)^2\right]}}$$

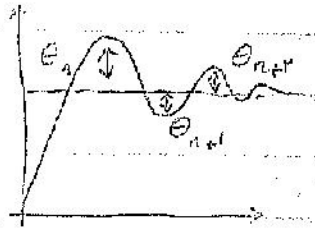
۵- زمان تثبیت نوسانات مدار از دستگاه : (T_a)

$$T_a = \frac{2\pi}{\sqrt{c/\Phi}} = 2\pi\sqrt{\Phi/c}$$



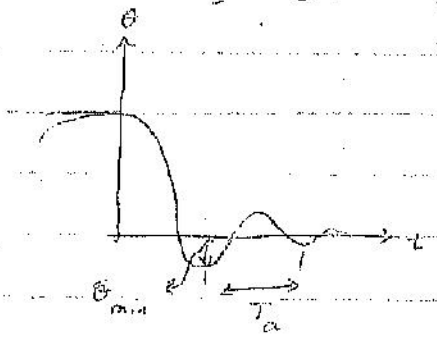
۶- تشریح نگارش دستگاه (روش نوسانات):

$\lambda = \ln \frac{\theta_n}{\theta_{n+1}}$ θ_n: کاهش نسبت دامنه‌های نوسان با زمان

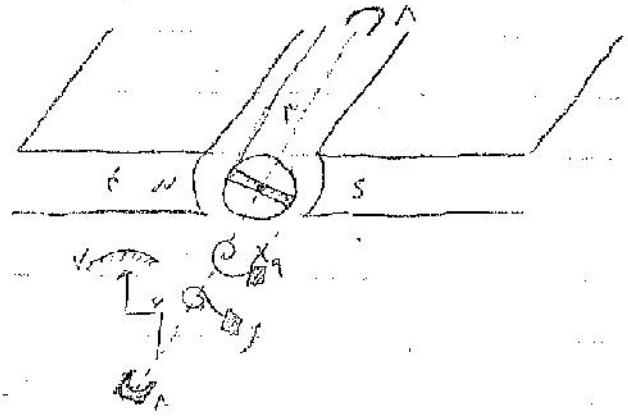


۷- تشریح نگارش دستگاه (روش زمان تناوب):

$\lambda_\alpha = \ln \frac{\theta_s}{\theta_{min}}$



۸- دستگاه اندازه‌گیری با سیم پیچ متحرک و آهن‌ربای دائمی (D)



۱- سیم پیچ متحرک با شفاف چرخش
۲- دستگاه آهن نرم
۳- محور چرخش سیم پیچ
۴- آهنربای دائمی
۵- شنودهای مغناطیسی
۶- عقربه سیم پیچ
۷- صفحه مدرج
۸- تکیه گاه محور چرخش
۹- ترمینال ورودی

دستگاه: گالوانومتر اتکایی با جهت یابی

استوانه آهنی به منظور شعاعی کردن میدان مغناطیسی و آهن نرم می باشد.

آهن ربای دائم تأمین کننده میدان مغناطیسی با استقرار ثابت (جنس فولاد - کبالت (برای افزایش نیروی مغناطیسی)

عقربه مقدم: تأمین کننده آشکار و مقدم (جنس فسفر برنز)

صفحه مدرج شفاف: میزان انحراف دستگاه است پکت عقربه (پلاستیک)

پیچ تنظیم: تأمین کننده پایداری قسمت متحرک

ترمینال های ورودی: محل ورود و خروج جریان الکتریکی

طرز کار دستگاه:

اساس: حساسیت گالوانومتر افزایش و تشدید کننده و سایر قسمت ها تکمیل می شود پس گالوانومتر های اصلی عبارتند از:

۱- گالوانومتر دیفرانسیل

$T_e = nBSi$ ، $S = p.d = 2r\ell$

۲- گالوانومتر مقدم

$T_p = C\theta$ ← ضریب پیچش فنر مقدم

وضعیت تعادل ⇒ $T_p = T_e$

$C\theta = nBSI \Rightarrow D = \frac{C}{nBS}$ ، $\theta = k\theta$ ← ثابت دستگاه

کاربرد دستگاه:

۱- اندازه گیری جریان الکتریکی (اندازه گیری بر حسب میلی آمپر یا آمپر)

$I = \frac{V}{R}$ ، $I = k\theta \rightarrow V = RK\theta \rightarrow \theta = \frac{1}{RK}V$

۲- اندازه گیری اختلاف پتانسیل (اندازه گیری بر حسب ولت)

۳- اندازه گیری مقاومت های مجهول (اندازه گیری بر حسب اهم)

۴- اندازه گیری جریان های بسیار کوچک با استفاده از گالوانومتر (آمپرسنج) $R_v = \text{const}$

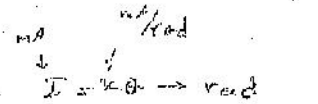
۵- اندازه گیری ولتاژ (ولتسنج) $R = \frac{V}{I} = \frac{V}{k\theta}$

$R = f(\theta)$

در صورت میلی آمپر است ← رنج حاصل دستگاه بین حدود ۰ تا I_m قرار دارد.

الف $I \leq I_m$

ب $I > I_m$ ماکزیمم θ_m دستگاه برای اندازه‌گیری کافی نیست



دستگاه میلی‌آمپرمتر

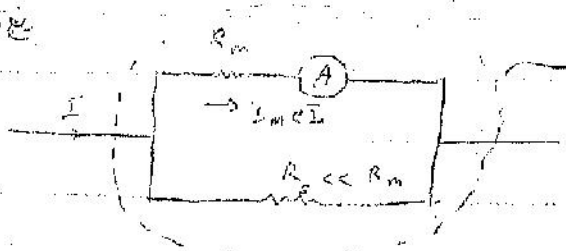
I_m ثابت است

ولی صفحه کاربرد دارد.

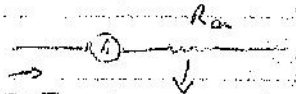
ب ← افزایش رنج با استفاده از مقاومت شنت (موازی)

مقاومت داخلی دستگاه

رنج دستگاه



آمپرمتر با رنج افزایش یافته



$R_a = \frac{R_m R_s}{R_m + R_s}$

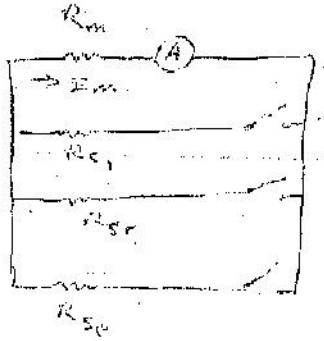
ضریب گسترش رنج دستگاه $n = \frac{I}{I_m} >>$

$\Rightarrow R_s = \frac{R_m}{n-1}$ ، $R_a = \frac{R_m}{n}$

۱ـ مقاومت شنت (موازی) ضریب یک مقاومت سازی درست گرفته می‌شود)

۲ـ مقاومت پیشرفته (به تعداد مقاومت های استفاده شده برابر تعداد رنج های دستگاه است که با دم و به صورت اشتراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.)

آمپرمتر چند رنجی (چند حدی)



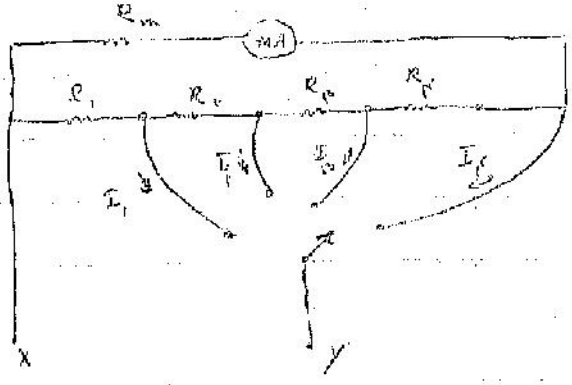
کلید دار یا غیر مستقیم ←

$I_1 = n_1 I_m \Rightarrow n_1 = \frac{I_1}{I_m}$ $\quad R_{S_1} = \frac{R_m}{n_1 - 1}$

$I_2 = n_2 I_m \Rightarrow n_2 = \frac{I_2}{I_m}$ $\quad R_{S_2} = \frac{R_m}{n_2 - 1}$

$I_3 = n_3 I_m \Rightarrow n_3 = \frac{I_3}{I_m}$ $\quad R_{S_3} = \frac{R_m}{n_3 - 1}$

روش بیشتر:



حتماً $I_1 > I_2 > I_3 > I_4$

مقادیر استاندارد: $n_1 = \frac{I_1}{I_m}$ $\quad n_2 = \frac{I_2}{I_m}$ $\quad n_3 = \frac{I_3}{I_m}$ $\quad n_4 = \frac{I_4}{I_m}$

با فرض اینکه کلیه مقادیر درست باشند،

$n_1 > n_2 > n_3 > n_4$

$R_S = \frac{R_m}{n - 1}$

دقت کنید

(۱) $R_1 = \frac{R_m + R_2 + R_3 + R_4}{n_1 - 1}$

(۲) $R_1 + R_2 = \frac{R_m + R_3 + R_4}{n_2 - 1}$

(۳) $R_1 + R_2 + R_3 = \frac{R_m + R_4}{n_3 - 1}$

(۴) $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{R_m}{n_4 - 1}$

کاربردهای دستگاه:

۱- اندازه‌گیری جریان‌های dc به عنوان آمپرمتر dc

۲- اندازه‌گیری ولتاژهای dc به عنوان ولت‌متر dc

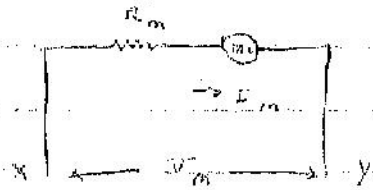
۳- اندازه‌گیری مقاومت‌های اهمی به عنوان اهم‌متر

۴- اندازه‌گیری جریان‌های ac با استفاده از یکسوسازها به عنوان آمپرمتر ac

۵- اندازه‌گیری ولتاژهای ac با استفاده از یکسوسازها به عنوان ولت‌متر ac

۳ ←

حالت اول (دستگاه ولت‌متر)



$I = \frac{V}{R_m} \rightarrow V = k R_m \theta$

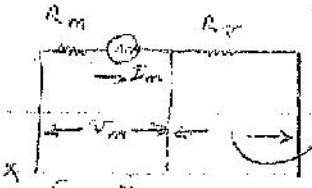
$I = k\theta$

$V = k' \theta$

$\Rightarrow$ (مقیاس) $V_m = k' \theta$ ←

تشدید ولتمتر ⊃ { با استفاده از مقاومت سری شده با دستگاه (R_v)

حالت دوم: آمپرمتر



ولتاژ دو سر دستگاه

ضریب گسترش رنج دستگاه

V_m ← اندازه‌گیری توسط خود دستگاه

$\Rightarrow \frac{V_m}{R_m} = \frac{(n-1)V_m}{R_v} \Rightarrow R_v = (n-1) R_m$

* اگر رنج یا اعراف دستگاه تغییر کرد (دقت عدد x واردی دستگاه = دارم) حتماً دستگاه را نیز تغییر می‌کنم.

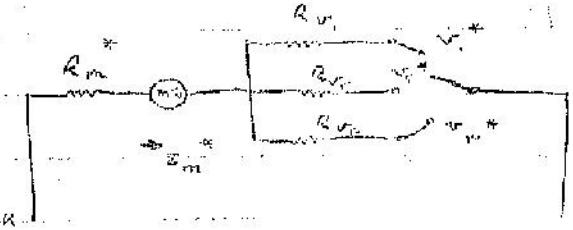
چند نکته بسیار مهم آن این است که با انتخاب روش مناسب، خطای دستگاه کنترل شده
* هیچ وسیله‌ای دقیق‌تر از کمیتی که اندازه‌گیری می‌کند نیست، خطای کنترل

$$\text{خطا} = \frac{\Delta A}{A}$$

دقت چند روش:

۱- با استفاده از مقاومت‌های نوع فلزی مستقل

۲- با استفاده از ...



اندازه‌گیری با دستگاهی که مقاومت داخلی آن ... است

چگونه می‌توان این مقاومت را ... کرد؟

$$V_m = R_m I_m \quad \checkmark$$

$$n_1 = \frac{V_1}{V_m} \quad \checkmark$$

$$n_2 = \frac{V_2}{V_m} \quad \checkmark$$

$$n_3 = \frac{V_3}{V_m} \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow$$

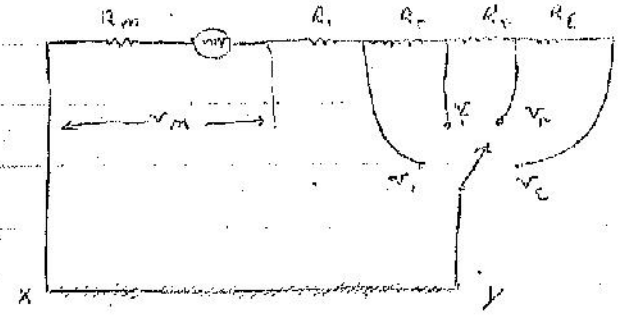
$$R_{V_1} = (n_1 - 1) R_m \quad \checkmark$$

$$R_{V_2} = (n_2 - 1) R_m \quad \checkmark$$

$$R_{V_3} = (n_3 - 1) R_m \quad \checkmark$$

حالت اکثر مدارها چگونه باشد.

حالت ۲:



$$R_{V_1}$$
$$R_{V_2}$$
$$R_{V_3}$$
$$R_{V_4}$$

$$n_1 = \frac{V_1}{V_m}$$

$$n_2 = \frac{V_2}{V_m}$$

$$n_3 = \frac{V_3}{V_m}$$

$$n_4 = \frac{V_4}{V_m}$$

$$R_1 = R_{V_1} = (n_1 - 1) R_m$$

$$R_2 = R_{V_2} - R_1 = (n_2 - 1) R_m - R_1$$

$$R_3 = R_{V_3} - (R_1 + R_2) = (n_3 - 1) R_m - (R_1 + R_2)$$

$$R_4 = R_{V_4} - (R_1 + R_2 + R_3) = (n_4 - 1) R_m - (\ldots)$$

۳- کاربرد دستگاه Ω متعلق به اهم متر:

الف - اهم سنج سری

ب - اهم متر موازی

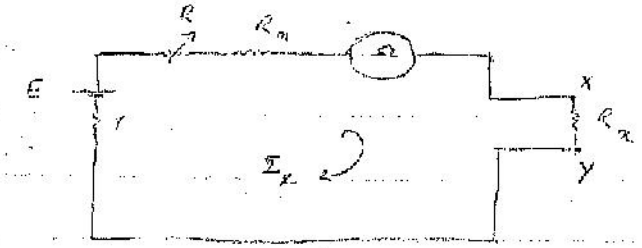
اهم متر یا دستگاه Ω

۱- منبع ولتاژ ثابت (باتری)

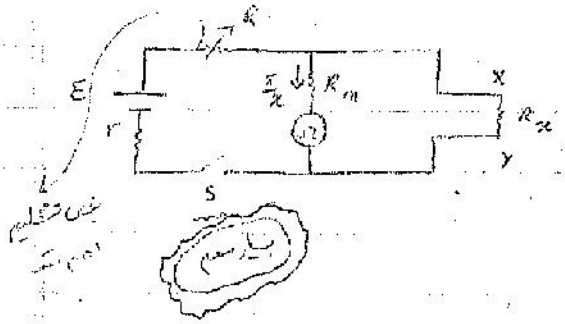
۲- مقاومت متغیر جهت تنظیم دستگاه (پتانسیومتر اگر پیدی باتری)

۳- گالوانومتر حساس برای اهم متر سری

اهم متر سری به گالوانومتر ما مقاومت معادل متوالی سری دارند.



اهم متر سری یا دستگاه Ω با مقاومت معادل مداری این مجموعه منبع تغذیه و مقاومت متغیر که در حالت دیگر تنظیم می‌شود



مقاومت متغیر که در مدار دستگاه به کار می‌رود

مقاومت پایان دستگاه برای مقاومت معادل R_x

ارتباط زاویه انحراف دستگاه با مقاومت مجهول:

الف - اهم متر سری

$$I_x = \frac{E}{r + R + R_m + R_x}$$

$$r + R \ldots R_m + R_x = \frac{E}{I_m} = \text{ثابت}$$

* وقتی اهم متر کاملاً خارج است عقربه در کجا قرار می‌گیرد

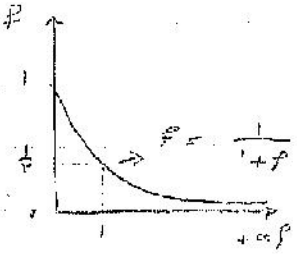
تا ۲ برابر مقاومت داخلی دستگاه قابل اندازه‌گیری است.

$R_x = 0 \rightarrow I_x = I_m$

$R_x = \infty \rightarrow I_x = 0$

$$I_x = \frac{E}{R_s + R_x} = \frac{\frac{E}{R_s}}{1 + \frac{R_x}{R_s}} \cdot \frac{I_m}{1 + \frac{R_x}{R_s}} \Rightarrow \underbrace{\frac{I_x}{I_m}}_{\beta} = \underbrace{\frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_s}}}_{\beta}$$

معادله منحنی اهم متر $\Rightarrow \beta = \frac{1}{1+\beta}$

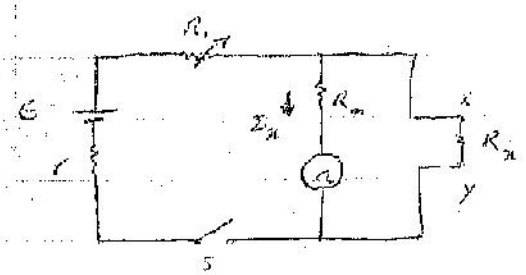


اهم متر سری

۱- رسیدن به زاویه انحراف مورد نظر

۲- دقت این مقاومت اهم متر

نکته: مزیت این است که وقتی از دستگاه استفاده می‌کنیم با عددی مقابل نشده ولی در سری سازی نیست چون روش استفاده نکردیم بازیابی است.



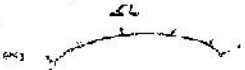
$R_x = 0 \Rightarrow I_x = 0 \Rightarrow \theta_x = 0$

$R_x = \infty \Rightarrow I_x = I_m \Rightarrow \theta_x = \theta_m$

$0 \le R_x \le \infty$

R_x رنج مقیاس

* تابع بین صفر و بینهایت تقسیم بندی خطی اهم متر به صورت زیر است:



← اهم متر سری

$$I_m = \frac{E}{r + R + R_m} = \frac{E}{R_s}$$

مقاومت معادل اهم متر سری $\Rightarrow$ طبق تعریف $R_p = \frac{(r + R_1) R_m}{r + R_1 + R_m} \ll R_s$

$$\theta_x = \frac{1}{k} I_x \quad \Rightarrow \quad I_x = f(R_x) \quad \Rightarrow \quad I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_1 + \frac{R_m \cdot R_x}{R_m + R_x}}$$

$$I_x = I \cdot \frac{R_m}{R_x + R_m} = \frac{\mathcal{E}(R_m + R_x)}{(r+R_1)(R_m+R_x) + R_m \cdot R_x} \cdot \frac{R_m}{(R_m + R_x)}$$

$$I_x = \frac{\mathcal{E} R_m}{(r+R_1)R_m + (r+R_1)R_x + R_m \cdot R_x} = \frac{\mathcal{E}}{\frac{(r+R_1)R_m}{R_x} + r + R_1 + R_m}$$

حال داریم ثابت کنیم:

$$f = \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta}}$$

$$\Rightarrow I_x = \frac{\frac{\mathcal{E}}{r + R_1 + R_m} I_m}{\frac{(r+R_1)R_m}{R_x} + \frac{(r+R_1)R_m}{r + R_1 + R_m}} \quad \Rightarrow \quad I_x = \frac{I_m}{1 + \frac{R_p}{R_x}}$$

$$R_p = \frac{(r+R_1)R_m}{r + R_1 + R_m}$$

I_m در دستگاه اندازه‌گیری مقداری ثابت یعنی شاخه‌ی بازوی کلیدی آمپرسنج دستگاه ماکزیمم است

R_p نیز مقداری ثابت است و R_x مقاومت نشیر داشته.

$$\Rightarrow \frac{I_x}{I_m} = \frac{1}{1 + \frac{R_p}{R_x}}$$

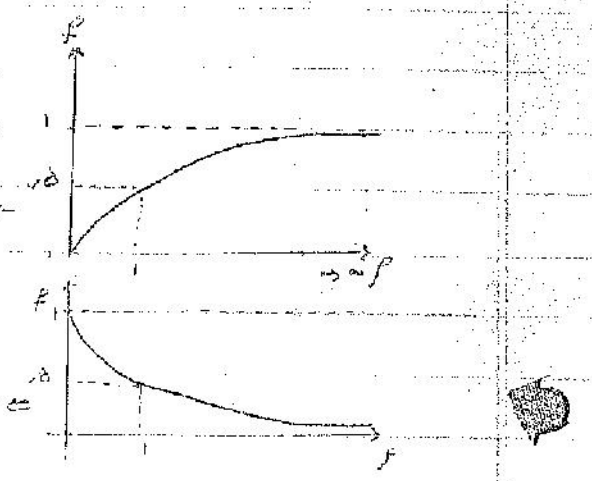
$$\text{و} \begin{cases} \frac{I_x}{I_m} = f \\ \frac{R_x}{R_p} = \beta \end{cases} \Rightarrow f = \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta}}$$

$$\beta = \frac{R_x}{R_p}$$

$$R_p = \frac{(r+R_1)R_m}{r + R_1 + R_m}$$

$$\beta = \frac{R_x}{R_s}$$

$$R_s = r + R_1 + R_m$$



بررسی اجمالی متر

- هرچه مقاومت دستگاه بزرگتر باشد دقت اندازه‌گیری دستگاه بهتر و بیشتر است.

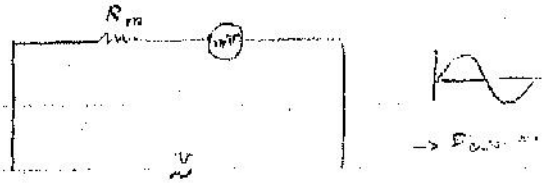
- به علت تغییرات کم تیپ مبنا عایت نشان می‌دهد این دستگاه برای اندازه‌گیری مقاومت‌های بزرگ مناسب است.

- ۰۰ با صفر رساندن عقربه‌ی متر ارتباط است به R_p و دارای مقدار بسیار کوچکی است و R_s با برابر این مقدار مقاومت مناسب بهاومت دستی خیلی کوچک مقاومت زیادی دارد.

$R_p \ll R_s$

نتیجه‌ی اول: صفر کردن عقربه در مقاومت متر کاربرد بیشتری دارد.

کاربرد دستگاه Δ برای اندازه‌گیری ولتاژ جریان متناوب:



ولتمتر

آمپرمتر

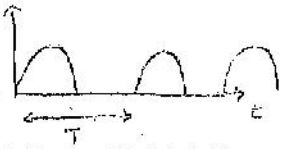
دستگاه سیگنال منبع این مقاومت است که $(T_e)_{ave} \neq 0$ ← $I_{ave} \neq 0$ ←

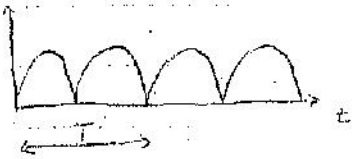
با توجه به اینکه زمان لازم برای حرکت دستگاه در محدوده زمان هر نیم سیکل در حدود ثانیه است تحت ولتاژ جریان متناوب مقدار حرکت دستگاه در سیگنال بسیار ضعیف دارد.

راهکار ممکن: یکسو کردن جریان ورودی دستگاه به صورت { الف) نیم سیکل / ب) تمام سیکل

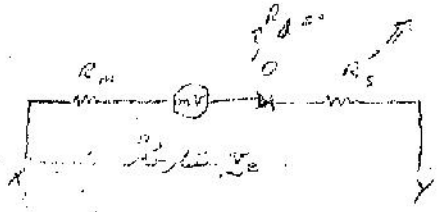
$\Rightarrow I_{ave} \neq 0 \quad \Rightarrow (T_e)_{ave} \neq 0$

شکل‌های یکسو شده: { الف) موج نیم سیکل / ب) موج تمام سیکل





مقاومت شنت متر کننده جریان
دستگاه



دو سر منبع ولتاژ ac

با یکسوساز نیم موج

ولتمتر ac

آمپرمتر ac

V_m رنج ولتاژ دستگاه

V_e رنج مورد نیاز دستگاه
مدار اصلی شده

$n = \frac{V_e}{V_m}$ ضریب گسترش حوزه تغییر دستگاه

$I_{ave} = \frac{1}{T}\int_0^T i\,dt$ $\Rightarrow$ $i = I_{Peak}\sin\omega t$ $\Rightarrow$ $I_{ave} = \frac{I_{Peak}}{\pi}$ دامنه موج سینوسی

$V_{ave} = I_{ave}(R_m + R_s')$

$\Rightarrow \frac{V_e}{V_{ave}} = \frac{\frac{V_{Peak}}{\sqrt{2}}}{\frac{V_{Peak}}{\pi}} = 2.22$

$V_e = V_m = \frac{V_{Peak}}{\sqrt{2}}$ (دامنه موج ولتاژ اصلی دستگاه)
دامنه ولتاژ اگر به دستگاه وارد شود

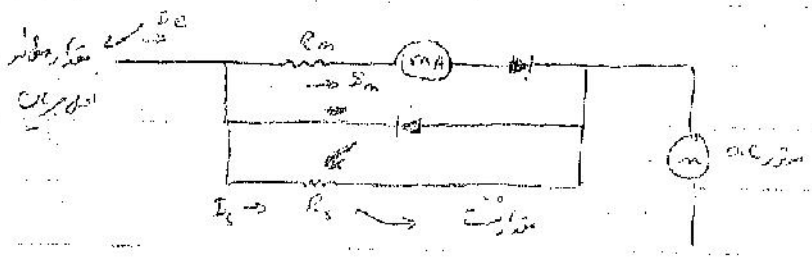
مقاومت داخلی دستگاه $V_{ave} = 2.22$ V_{ave} $\Rightarrow$ مقدار متوسط یکسو شده ولتاژ مورد اندازه‌گیری

$\Rightarrow R_s' = \frac{V_m - V_e}{V_m} = \frac{\frac{V_e}{2.22}}{V_m} = \frac{n}{2.22}$ V_m رنج ولتاژ دستگاه

$\Rightarrow \begin{cases} R_s' = (n'-1)R_m \\ R_s' = (n'-1)R_m - R \end{cases}$ با استفاده از این دو رابطه

مقاومت داخلی دستگاه

آمپرمتر ac

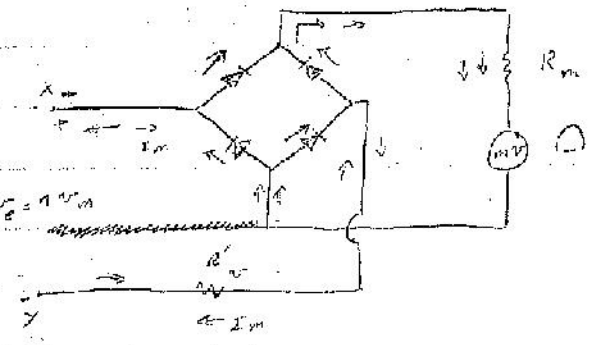


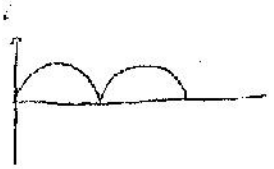
$I_e = \frac{I_{Peak}}{\sqrt{2}}$ مقدار موثر جریان اصلی

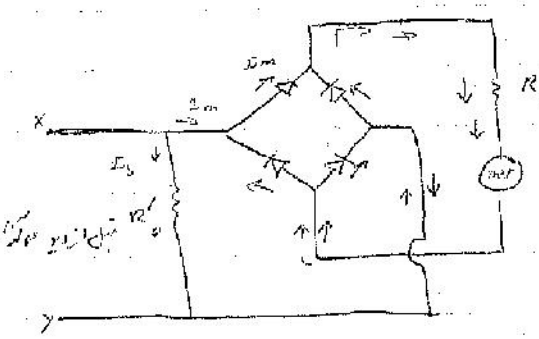
$\Rightarrow \begin{cases} \frac{I_e}{I_m} = n \\ \frac{I_{Peak}}{I_{max}} = n' \end{cases} \Rightarrow n' = \frac{n}{2.22} \Rightarrow \begin{cases} R_s' = \frac{R_m \text{ (دستگاه)}}{n'-1} \\ R_s' = \frac{R_m \text{ (دستگاه)} + R}{n'-1} \end{cases}$

$I_{max} = \frac{I_{Peak}}{\pi}$ مقدار متوسط جریان اصلی

واتمتر ac با یکسوساز تمام موج :







روش صحیح کردن تأثیرهای خطا :

در عملکرد دستگاه Ω :

الف ـ مقاومت آمپرمتر ← ایجاد خطا در دستگاه :

$$nBSI = C\Theta$$

$$\begin{cases} \Theta_1 = \dfrac{nBS}{C}\, I_1 & \text{انحراف در حالت اول} \\ \Theta_2 = \dfrac{N_2 \cdot B_2 \cdot S_2}{C_2}\, I_2 & \end{cases} \Rightarrow \Delta\Theta = \Theta_2 - \Theta_1$$

اثر متغیرها در تغییر مقاومت آمپرمتر :

$$B_2 = (1 + \beta \Delta T) B$$

$$\Theta_2 = (1 + \delta \Delta t)\, ^\circ C$$

$$S_2 = S \simeq \text{ثابت}$$

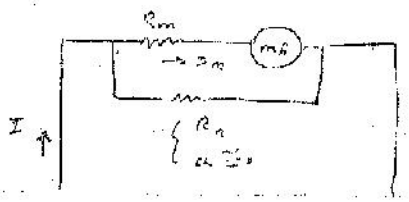
$$R_{m_2} = (1 + \alpha \Delta T) R_m$$

$\Rightarrow$ مقاومت آمپرمتر با تغییر دما تغییر می‌کند.

پرسش ۵ - طلای باشی از تنگستن و ...

الف - حالت آبپستی :

مقاومت کدام مقاومت شکل R_m با ضریب انبساط حرارتی تقریباً صفر، مقاومت مناسبی را برای



$I = \cos \omega t \Rightarrow \Delta\theta = 0 \Rightarrow R_m = ?$

$$\begin{cases} I_m = I \dfrac{R_n}{R_m + R_n} \\ I_{m_t} = I \dfrac{R_n}{R_n + R_{m_t}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \theta = \dfrac{nBS}{C} I_m = \dfrac{nA}{C} \dfrac{R_n}{R_m + R_n} I \\ \theta_t = \dfrac{nB_t S}{C_T} I_{m_t} \end{cases}$$

$$= \frac{nA(1-\beta\Delta T)S}{C(1-\delta\Delta T)} \frac{R_n}{R_n + R_m(1+\alpha\Delta T)} I$$

$\Delta\theta = 0 \Rightarrow \theta = \theta_t$

$$\Rightarrow \frac{nBS}{C} \frac{R_n}{R_n + R_m} I = \frac{nA(1-\beta\Delta T)S}{C(1-\delta\Delta T)} \frac{R_n}{[R_n + R_m(1+\alpha\Delta T)]} I$$

$$\Rightarrow (R_n + R_m)(1-\beta\Delta T) = (1-\delta\Delta T)[R_n + R_m(1+\alpha\Delta T)] \qquad (\alpha\delta \ll)$$

$$R_n - R_n\beta\Delta T + R_m - R_m\beta\Delta T = R_n + R_m + R_m\alpha\Delta T - R_n\delta\Delta T - R_m\delta\Delta T$$

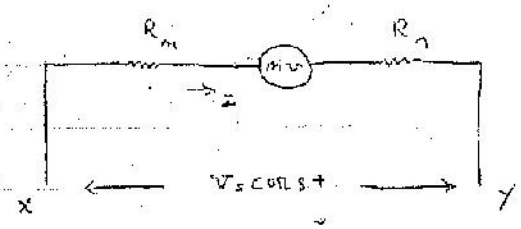
$$\Rightarrow R_n = \left(\frac{\alpha}{\delta - \beta} - 1\right) R_m \qquad \delta > \beta$$

$\Longrightarrow$ حالت حدی $\dfrac{\alpha}{\delta-\beta} = 1 \Rightarrow R_n = 0$

یعنی اگر هیچ مقاومتی نخواهیم نداریم استفاده کنیم.

ب - حالت دلتنگی :

مقاومت کدام مقاومت شکل R_n با ضریب انبساط حرارتی تقریباً صفر، مقاومت مناسبی را برای



برای یک آمپرمتر در دمای اتاق داشتیم:

$$\theta = \frac{nBS}{c} \cdot I = \frac{nBS}{c} \cdot \frac{V}{R_m + R_n}$$

$$\theta_t = \frac{n \cdot B_t \cdot S}{c_t} \cdot I_t = \frac{nB(1-\beta\Delta T)}{c(1-\delta\Delta T)} \cdot \frac{V}{[R_n + R_m(1+\alpha\Delta T)]}$$

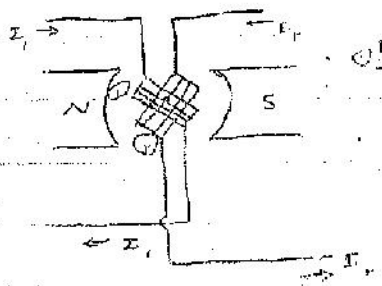
$$\Delta\theta = 0 \Rightarrow \theta = \theta_t \Rightarrow$$

$$R_n = \left(\frac{\alpha}{\delta - \beta} - 1\right) R_m$$

$$\xrightarrow{\text{جبران دما}} \frac{\alpha}{\delta - \beta} = 1 \rightarrow R_n = 0$$

دستگاه اندازه‌گیری با دو سیم پیچ متحرک و آهنربای دائم (D'Arsonval)
(دستگاه نوع سنج)

تفاوت دستگاه دوستگاه متحرک ← وجود دو سیم پیچ با بارهای الکتریکی جزء که حرکت مکانیکی را در دیگر متصل می‌کند.

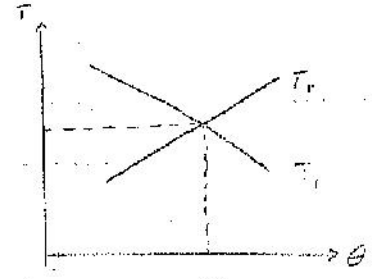


گشتاور حرکت کوک الکترومغناطیسی جریان I_1 (سیم پیچ اول)

$$\begin{cases} T_1 = n_1 B_1 S_1 I_1 = N_1 I_1 S_1 F_1(\theta) \\ B_1 = F_1(\theta) \end{cases}$$

میدان شعاعی است ←

$$\begin{cases} T_2 = n_2 B_2 S_2 I_2 = N_2 I_2 S_2 F_2(\theta) \\ B_2 = F_2(\theta) \end{cases}$$



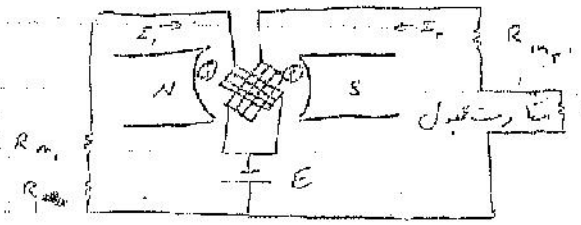
در حالت تعادل ← $T_1 = T_2$ (گشتاور) ← حرکت متوقف و دستگاه در حالت تعادل مکانیکی (عدم انحراف) یا شکل

$$N_1 S_1 I_1 F_1(\theta) = N_2 S_2 I_2 F_2(\theta)$$

فرض $k=1$ می‌کنیم

$$\Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{N_2 S_2}{N_1 S_1}\right) \frac{F_2(\theta)}{F_1(\theta)} = F(\theta)$$

دستگاه سنج ← $\Theta = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$

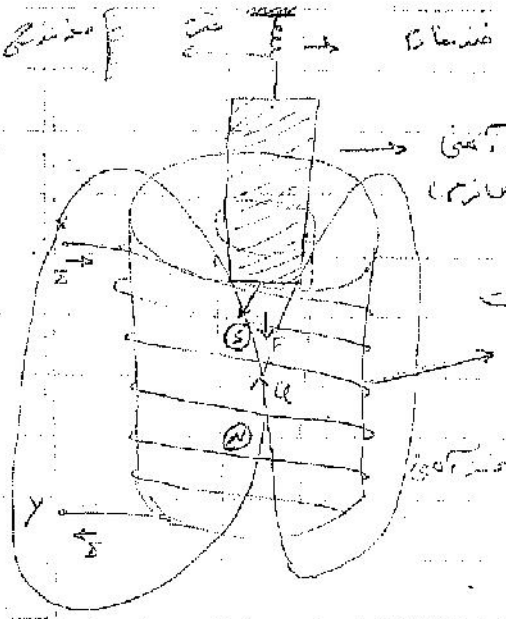


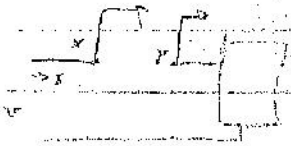
$$\begin{cases} I_1 = \dfrac{E}{R_{m_1} + R_1} \\ I_2 = \dfrac{E}{R_{m_2} + R_2} \end{cases} \Rightarrow \Theta = f\left(\dfrac{\frac{E}{R_1 + R_{m_1}}}{\frac{E}{R_2 + R_{m_2}}}\right)$$

$$\Rightarrow \Theta = f\left(\frac{R_{m_2} + R_2}{R_{m_1} + R_1}\right) \Rightarrow \Theta \equiv R_2$$

ادی سنجاد برای بدست آوردن مقاومت مجهول کم: فیزیک دوم (Meyer)

دستگاه اندازه‌گیری با آهن نرم کردن:

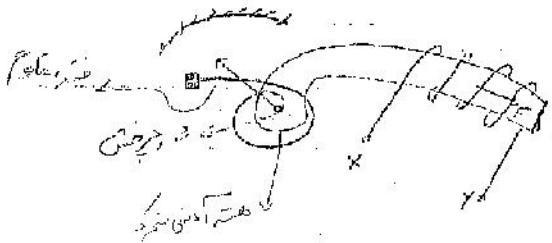


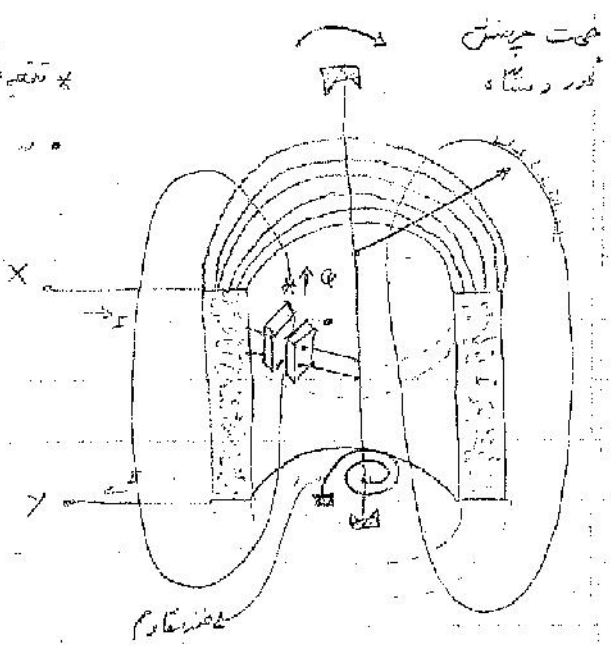


با به وجود آمدن قطب N و S در هسته آهنی

اگر جریان متناوب باشد در هر نیم سیکل هسته N و S می‌شود بنابراین آهن حرکت می‌کند.

برای به وجود آوردن حرکت دورانی در سنج ←





* تفاوت آمپرسنج ثابت (استفاده جهت) با گالوانومتر (جهت) در دو نوع آهن‌ربای دائمی (دو قطبی)

* تفاوت ... (جهت چرخش دستگاه)

دو فنر یکدیگر را دفع می‌کنند و باعث چرخش قدرت دستگاه می‌شود.

تناسب گشتاورها:

الف ـ گشتاور مقاوم: $T_r = C\theta$

ب ـ گشتاور محرک: $T_e = \frac{dW}{d\theta}$ ← انرژی ذخیره شده در سیم‌پیچ

تغییرات انرژی ذخیره شده در سیم‌پیچ بر تغییرات زاویه انحراف

تعداد دور سیم‌پیچ

$L = f(\theta) \neq$ const ← ضریب خودالقایی سیم‌پیچ

$W = \frac{1}{2} L I^2 \Rightarrow \frac{dW(I)}{d\theta} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\theta} + \frac{1}{2} L \frac{d(I^2)}{d\theta}$ ← تغییر انرژی ذخیره شده در سیم‌پیچ بر اثر تغییر زاویه انحراف

$\Rightarrow T_e = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\theta}$

شرایط تعادل:
$$\begin{cases} T_e = T_r \\ \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\theta} = C\theta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \text{فنر خطی} \\ \frac{dL}{d\theta} = \text{const} \end{cases} \Rightarrow \theta = k I^2$$

* زاویه انحراف با مجذور جریان متناسب است.

حل تمرین

۱- چنانچه از دستگاهی که روی آن ۵۰ دور ثبت شده، بعنوان دماسنج استفاده شود و دمای آن ۳۵°C (درجه) باشد، اندازه‌گیری ۳۰ Ω با این دستگاه چه خطایی دارد؟

$$\frac{25}{100} = \frac{x}{50} \rightarrow x = 12.5\ \Omega$$

۲۵ : مقدار تغییرات

$$\varepsilon_r = \frac{12.5}{100} \times 100 = 12.5\ \%$$

۲- انحراف مناسب برای اندازه‌گیری‌هایی که در دستگاه مذکور دارای کمتر از اندازه‌گیری ۵٪ باشد چقدر است؟

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta R}{R} \Rightarrow \frac{5}{100} = \frac{\Delta R}{75} \Rightarrow \Delta R = 3.75\ \Omega$$

چه نتیجه‌ای: اگر R_0 بین ۷۵ و ۷۵/۳۷۵ Ω باشد خطای اندازه‌گیری از ۵٪ کمتر است.

۳- آمپرمتر مرکب که کلید انتخاب دستگاه مناسب در آن است، دارای جریان $I_0 = 5\ A$ و زاویه انحراف ۸۰° است. می‌خواهیم دستگاه برای جریان ۸ A مورد استفاده قرار گیرد. انحراف در این حالت چقدر است؟

$T_e = ?$

$$\begin{cases} 5\ A \\ 80^\circ \end{cases} \quad \begin{cases} 8\ A \\ \theta_m = ? \end{cases}$$

$$T_2 = k' \sin\theta \qquad k = 5 \times 80 \sin\theta$$

$$\Rightarrow \frac{T_e}{T_2} = \frac{5k}{k' \sin 80^\circ} = \frac{8k}{k' \sin\theta_2}$$

$$\Rightarrow \theta_2 = 64.16^\circ \times \frac{\pi}{180} \rightarrow 1.12\ [rad]$$

۴- یک گالوانومتر با مشخصات زیر در دست است.

$B = 0.1\ Wb/m^2$ ، $N = 200$ ، $l = 10\ mm$ ، $d = 2\ mm$ ، فنر با ثابت $2 \times 10^{-6}\ N.m/rad$

$J = 5 \times 10^{-8}\ kg\,m^2$ ، $A = 8 \times 10^{-8}\ \frac{N.m}{rad\,s^{-1}}$ ، $R_g = 1\ m\Omega$ ، $I_m = 1\ mA$

مطلوب است محاسبه:

۱- انحراف آمپرمتر دستگاه، ۲- حساسیت جریانی دستگاه، ۳- مقاومت میزان جریانی دستگاه، ۴- ضریب کیفیت استاتیک و دینامیک دستگاه در حالت میزان جریانی.

$$NBlr = k\theta_m \rightarrow \theta_m = 1.0 \times 10^{-2}\ [rad]$$

$\Rightarrow$ انحراف آمپرمتر $T_e = T_2 = 5$

$$= 0.57 \times 10^{-2}\ [degree]$$

۲۰

حساسیت جریانی $S_{Ii} = \frac{\theta}{I} = \frac{15^\circ}{100\,\mu A} = 150 \left[\frac{rad}{A}\right]$

$\Delta = A_c^2 - 4BC = 0 \Rightarrow A_c = \sqrt{BC} = 6.9 \times 10^{-4}$

$A_c = A_t^2 \frac{C^2}{k^2 R_c} \Rightarrow R_c = \frac{C^2}{k^2 A_c}$, $k = \frac{1}{S_I} \Rightarrow R_c = \frac{C^2 S_I^2}{A_c} = 144\ [\Omega]$

کاربرد دستگاه :

- اندازه‌گیری میدان‌های dc و ac و جریان آن‌ها

ولتاژهای ... ولتاژ ...

میدان مغناطیسی

ظرفیت خازن

میدان مغناطیسی

$k = \frac{\frac{d\theta}{dC}}{\frac{\theta}{C}} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{\pi}{4}} = \frac{2}{\pi}$

۱-

الف - در رنج میدان‌های کمتر از صدد 10^{-8} بدون نیاز به گسترش حوزه‌ی سنجش

ب - رنج میدان خیلی زیاد با گسترش حوزه‌ی سنجش دستگاه به طریق :

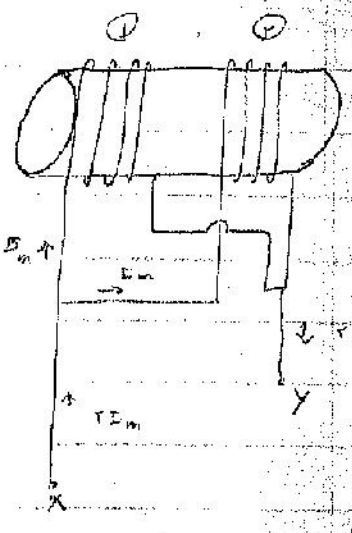
مدار معادل دستگاه

رنج ماکزیمم دستگاه : Σ_{mi}

رنج مورد نظر : $\Sigma = n\Sigma_m$

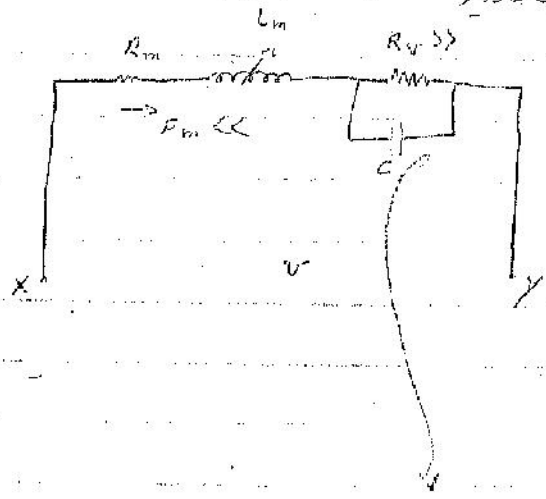
چگونه L_s ؟

$\begin{cases} L_s = \Sigma L_m \\ \frac{R_m}{L_m} = \frac{R_s}{L_s} \end{cases}$ شرط جریان گذاری یکسان در دو شاخه موازی



۲-

با استفاده از یک مقاومت اهمی یا رسم یک مدار مناسب



$\theta = kI^2 \Rightarrow \theta_m = kI_m^2$

$V_m = ZI_m \Rightarrow Z = \sqrt{(R_m+R_V)^2 + (L\omega)^2}$

$R_m + R_V \gg L\omega \Rightarrow Z \cong R_L + R_V$

$\omega = 2\pi f = \text{const}$

$\theta = \text{const} \Rightarrow \theta = k\left(\frac{V}{Z}\right)^2 \Rightarrow \theta = \frac{k}{Z^2}V^2 \Rightarrow \theta = KV^2$

سوال : خطای ناشی از تغییر مکانیسم حرکت دستگاه چگونه حذف می‌شود ؟

جواب : این است که شرایط ساخت باید اینگونه باشد.

$C = \frac{L_m}{R_V^2}$ ← (فقط ۱ ثابت شده !!!)

دستگاه اندازه‌گیری حرارتی :

↓

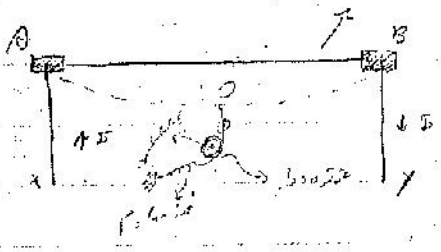
اصول عملکرد این دستگاه :

متکی بر دگرگونی انرژی حرارتی می‌باشد.

انواع دستگاه‌های حرارتی : ۱- دستگاه ابسیم حرارتی

۲- " " ترموکوپلی

۳- " " بی متالی

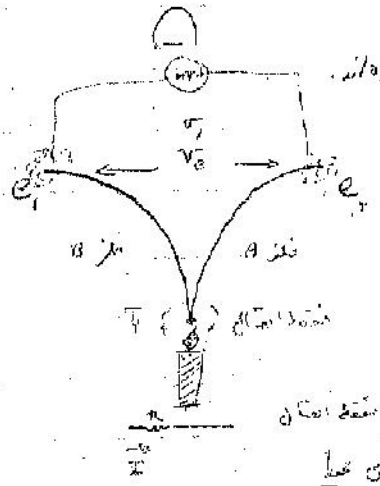


$$\{\begin{matrix} kRI^2t = mc\Delta T \quad (1) \\ l_2 - l_1 = \alpha l_1 \Delta T \quad (2) \end{matrix}$$

$$\Delta l = \frac{1}{2}\sqrt{l_2^2 - l_1^2}$$

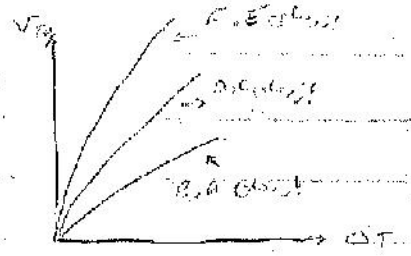
$$\Rightarrow \theta = \frac{k' l_1 \alpha \cdot kRI^2 t}{mc} = \alpha' I^2$$

دستگاه تریدکپلی:



$V_{T_e} = f$ (عامل وابسته به زمان و اختلاف دما) $\Rightarrow V_{T_e} = k f(\Delta T)$

ثابت



$\textcircled{A} : k f \Sigma T_e = m \Delta T$

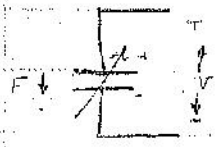
ΔT را بدست آورید

$\Rightarrow V_{T_e} = k f(\Delta T) = k_1 f(k' \Sigma T)$

دمای ترمینال یا همان مقدار حرارتی (مقاومت R) بستگی دارد

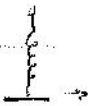
دستگاه اندازه گیری الکترواستاتیکی :

اساس کار دستگاه مبتنی بر ایجاد نیروی الکترواستاتیکی در یک خازن متغیر می باشد.



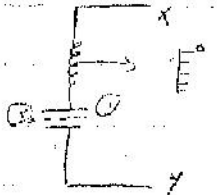
$F = k \frac{Q^2}{d^2}$

نیروی متقابل که باعث حرکت صفحات را جبران کند



صفحه متحرک (جوشن A)

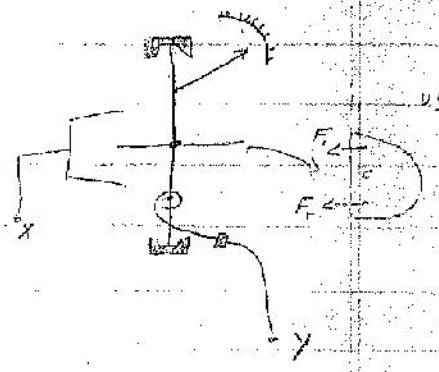
" ثابت (" B)

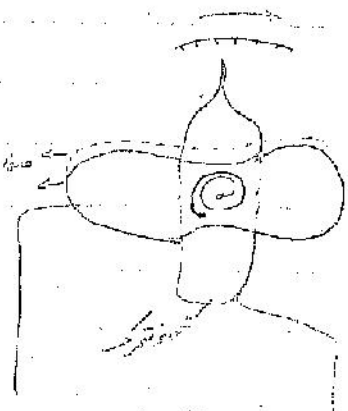


① ترمینال صفحه متحرک قبل از اعمال ولتاژ

② " " " بعد از " "

در کدام تنظیم ① تغییر کرده و F تغییر میکند یا F تغییر میکند $\Rightarrow Q = CV$





دستگاه نوع فوق فقط برای ولتاژ DC جواب می دهد.

محاسبه گشتاورها :

الف ـ گشتاور مقاوم : $T_r = C\theta$ (ضریب پیچش فنر مقاوم)

ب ـ گشتاور محرک : $T_e = \frac{dw}{d\theta}$

w : انرژی ذخیره شده در خازن

$\Rightarrow w = \frac{1}{2} c_m v^2$ ، $c_m = f(\theta)$ (تابع)

(مقدار ولتاژ اعمال شده در خازن ثابت)

$\Rightarrow T_e = \frac{1}{2} v^2 \frac{dc_m}{d\theta}$

در حالت تعادل : $T_r = T_e \Rightarrow c\theta = \frac{1}{2} v^2 \frac{dc_m}{d\theta}$ $\xrightarrow{\text{فرض کنیم}}$ $\frac{dc_m}{d\theta} = k_1 = const$

$\Rightarrow \theta = k v^2$

(رابطه بدنه خطی است)

ضریب ثابت

کاربرد دستگاه :

$\frac{1}{\downarrow}$

۱ـ اندازه‌گیری ولتاژ از dc و ac بعنوان ولتمتر

۲ـ " بار الکتریکی (Q) بعنوان کولن متر

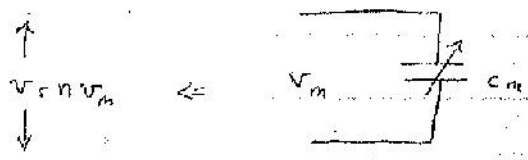
۱ـ مزایا و معایب ولتمتر الکترواستاتیکی ؟

۲ـ گسترش حوزه حسی ولتمتر الکترواستاتیکی ؟

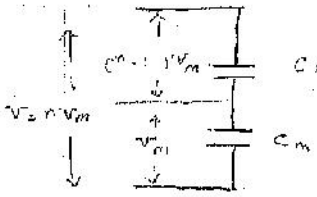
گسترش حوزه سنجش و تقسیم کننده ولتاژ خازنی :

الف - استفاده از یک خازن سری

ب - استفاده از دو خازن سری و موازی



$$e_m = k V_m^2$$



$$\Rightarrow (n-1)\, V_m C_x = V_m C_m \Rightarrow C_x = \frac{C_m}{n-1}$$

اشکالات موجود :

۱- تغییر بودن خازن C_m باعث شکل جدی می باشد.

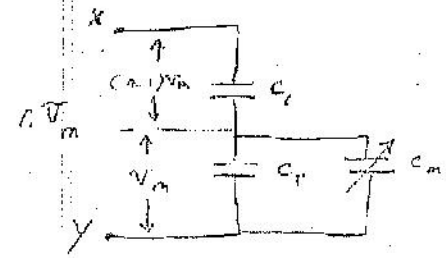
۲- کوچک بودن ظرفیت C_x باعث افزایش خطای دستگاه می شود.

$$n \gg \Rightarrow C \ll$$

راه حل جبران اشکالات مذکور :

استفاده از روش دوم ←

خازن مشابه C_x را با خود دستگاه موازی کرده، مجموعه را با بقیه سری قرار می دهیم.



$$\Rightarrow \begin{cases} C_1 = \dfrac{C_2 + C_m}{n-1} \\ C_2 \gg C_m \end{cases}$$

(با تقریب مناسب)

$$\Rightarrow C_1 \approx \frac{C_2}{n-1}$$

دستگاه اندازه گیری الکترودینامیکی :

تنها مشابه دستگاه های ∩ است با این تفاوت که به جای آهنربای دائم از یک میدان مغناطیسی مجهول استفاده می شود.

اجزای مهم دستگاه:

۱- سیم پیچ ثابت (سری، سیم پیچ شماره ۱، سیم پیچ جریان)

۲- " " متحرک (سیم پیچ موازی، سیم پیچ شماره ۲، سیم پیچ ولتاژ)

۳- محور چرخش متصل به سیم پیچ متحرک

۴- عقربه متصل به محور چرخش

۵- فنرهای علت ایجاد گشتاور مقاوم

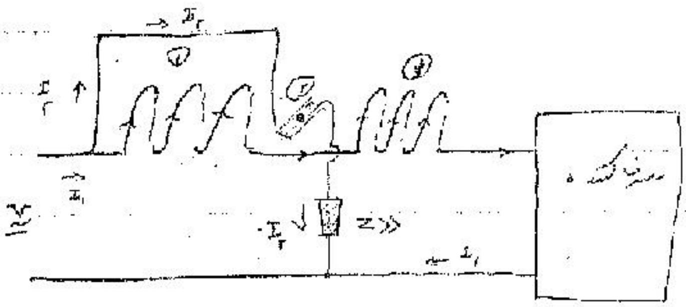
۶-

مشخصات اصلی دستگاه: I_1 ، R_1 ، L_1 : جریان، مقاومت و ضریب خودالقایی سیم پیچ اول (مستقل از زاویه انحراف دستگاه)

I_2 ، R_2 ، L_2 : " " " دوم " " " "

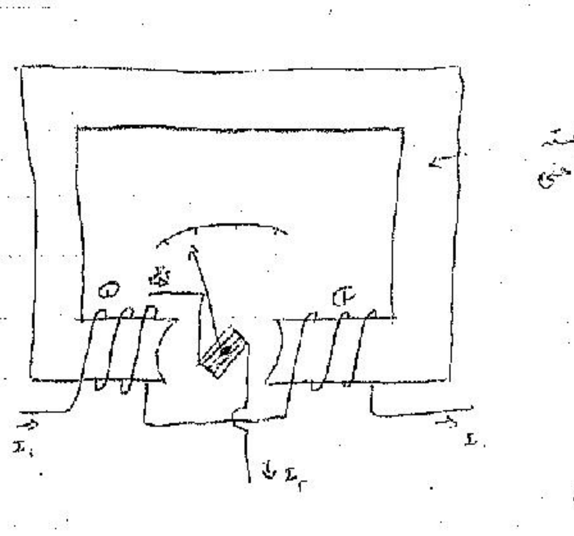
M : ضریب القای متقابل دستگاه بین دو سیم پیچ (تابع زاویه انحراف دستگاه ← $M=f(\theta)$)

مدار معادل دستگاه:



مشتقات ← الکترودینامیکی

دارای هسته آهنی ← فرودینامیکی



هسته آهنی ← کار مغناطیسی را جمع میکند (برای رفع مسای پایین)

حالت گشتاور های متفاوت

الف ـ گشتاور مقاوم

$T_r = cG$ ← ضریب پیچش فنر، G زاویه

ب ـ گشتاور محرک

$T_e = \frac{dw}{d\theta}$; $w = \frac{1}{2}L_1 i_1^2 + \frac{1}{2}L_2 i_2^2 + M i_1 i_2$

$\Rightarrow \frac{dw}{d\theta} = I_1 I_2 \left(\frac{dM}{d\theta}\right) \neq 0$ $\xrightarrow{\text{فرض ممکن}}$ $\begin{cases} M = a\cdot\theta \\ \frac{dM}{d\theta} = a = \text{const} \end{cases}$

$\Rightarrow T_e = a I_1 I_2$

در حالت تعادل $T_e = T_r \Rightarrow a I_1 I_2 = c\theta$ $\xrightarrow{\text{DC } I_1, I_2}$ $\theta = k I_1 I_2$, $k = \frac{a}{c}$

$\xrightarrow{\text{AC } I_1, I_2}$ $\begin{cases} i_1 = \hat{I}_1 \sin\omega t \\ i_2 = \hat{I}_2 \sin(\omega t - \varphi) \end{cases}$

$\alpha = (\hat{I}_1, \hat{I}_2)$ $\Rightarrow \theta = k I_1 I_2 \cos\varphi$

$I_1 = I_{e_1} = \frac{\hat{I}_1}{\sqrt{2}}$

$I_2 = I_{e_2} = \frac{\hat{I}_2}{\sqrt{2}}$

$T_e = \int_0^T i_1 i_2 \, dt$

کاربرد دستگاه:

۱ـ اندازه گیری جریان ← متداول آمپرمتر
۲ـ ″ ولتاژ ← ″ ولتمتر
۳ـ ″ توان اکتیو ← واتمتر
۴ـ ″ توان راکتیو ← وارمتر
۵ـ ″ ضریب توان ($\cos\varphi$) ← فازمتر
۶ـ ″ فرکانس (f) ← متداول فرکانس متر

} اسکان پذیر و قابل تنظیم نمی‌شود
} اگر آمپرمتر و ولتمتر تنظیم شوند

} از مدارهای مشابه با پل وینستون و سایر روشهای اندازه‌گیری مقاومت

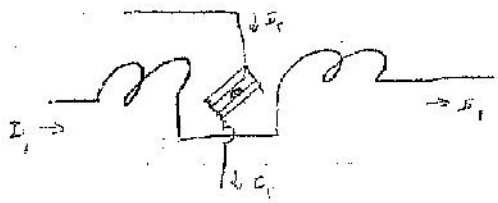
آمپرمتر الکترودینامیکی

جریان مجهول اول — جریان معلوم ثابت

$\tau = k I_1 I_2 \cos\varphi$ ← زاویه انحراف عقربه

$\varphi = (\hat{I_1, I_2})$

زاویه اختلاف فاز بین میدان‌های I_1 و I_2

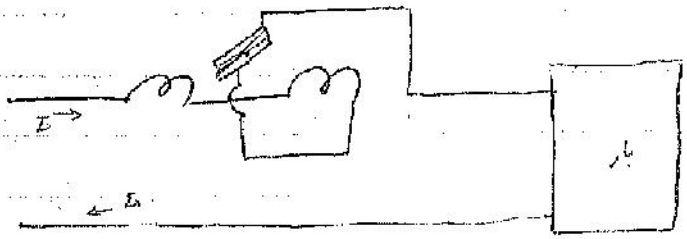


I : جریان مورد نظر

I_1, I_2 : جریان سیم‌پیچ‌ها مشخص باشد.

φ : زاویه بین دو سیم‌پیچ باید امکان تغییر داشته باشد.

$\cos\varphi = \cos\theta$



$I_1 = I_2 = I$

$\varphi = (\hat{I_1, I_2}) = 0$

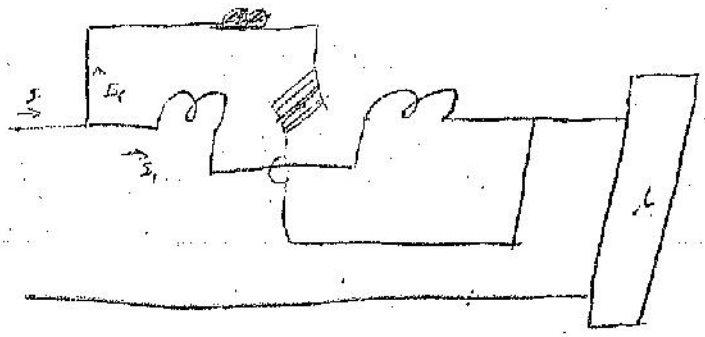
اشکالات وجود:

۱- خازن در مدار ایجاد اشکال آمپرمتر

۲- کم بودن دقت آمپرمتر (کمتر از ۰/۵ آمپر)

راه حل عکس: سازگار کردن سیم‌پیچ‌ها با شرط مهم برقراری رابطه زیر:

$$\frac{L_1}{R_1} = \frac{L_2}{R_2}$$



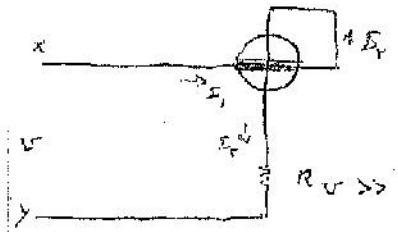
$I_1 = k_1 I_\phi$

$I_2 = (1-k_1) I_\phi = k_2 I$ $\Rightarrow \theta = k k_1 k_2 I^2 = k_c I^2$

$\theta_{\max} = \cos\varphi < 1$

۲ـ واقعه الکترودینامیکی:

اصل کار در دستگاه دیفرانسیل ساعت امپدانس پرزگ

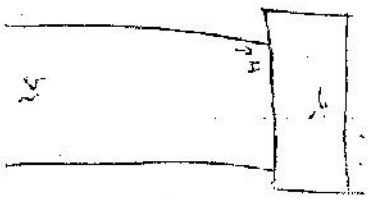


$\begin{cases} I_1 = I_2 = I_3 \simeq \frac{V}{R} \\ \cos\varphi = 1 \end{cases} \Rightarrow \theta = \frac{k V^2}{R_V} = k_V V^2$

واقعه

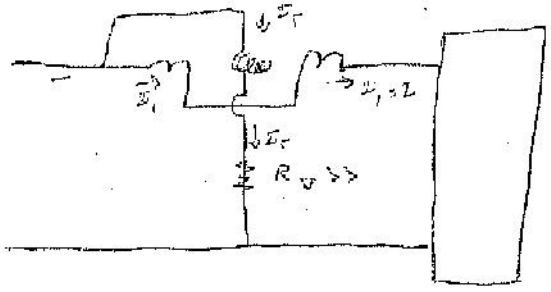
۳ـ واقعه الکترودینامیکی:

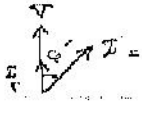
* * * * ← دلیل اصلی (واقعه الکترودینامیکی)



$P = V I \cos\varphi'$

$\varphi' = (\vec{V}, \vec{I})$





واگرام برداری

$I_2 \simeq \frac{V}{R_V}$

$(I_2, V) \simeq 0 \Rightarrow \varphi' = \varphi_0 \Rightarrow$ بار اهمی

روزهای صنوع دخانی بیان سب ، بیگار همیے دیشا است

$\theta = k I_1 I_2 \cos\varphi$

$I_1 = I$

$I_2 = \frac{V}{R_V}$

$\varphi = \varphi'$

$\Rightarrow \theta = \frac{k}{R_V} V I \cos\varphi' \Rightarrow \theta = k' P$

رابطه خطی بار هم تنها در کنتورهای

$\theta = 0$ ($\vec{I}_2, \vec{V}$) $= \delta \neq 0$ خواهد بود

دارای مدت

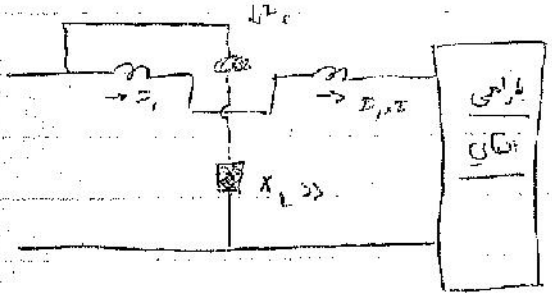
۱- خطای سیستم چقدر است؟

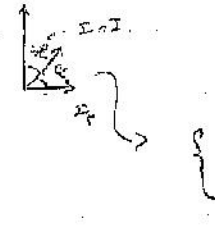
۲- چگونه می‌توان این خطا را حذف کرد؟

۴- وارسنج الکترونیکی:

$Q = VI\sin\varphi'$

$\cos(\frac{\pi}{2} - \varphi') = \sin\varphi'$





$\begin{cases} \varphi = (\vec{I}_1, \vec{I}_2) \\ \varphi' = \frac{\pi}{2} - \varphi \end{cases}$

$\begin{cases} I_2 \simeq \frac{V}{X_L} & X_L \gg \\ (\vec{I}_2, \vec{V}) \simeq \frac{\pi}{2} \end{cases}$

وارسنج $Q = \frac{k}{X_L}$ $\cos(\frac{\pi}{2} - \varphi') = \frac{V}{X_L} I \cos(\frac{\pi}{2} - \varphi') = \theta \Rightarrow$

اگر دستگاه وارسنجی با ولتاژ ۵۰ هرتز دستگاهی سنجیده و به خازن X_L

در خازن وارسنجی $(\vec{V}, \vec{I}_2) = \frac{\pi}{2} - \varphi$ ، $\varphi \ll$

۱- خطای سیستم چقدر است؟

۲- راه حل حذف این خطا چیست؟

روش‌های اندازه‌گیری :

۲- ضریب خودالقایی L_x ← ۲-۱- روش ولت‌آمپرسنجی

۲-۲- ~ ~ ~ ~ مقاومت

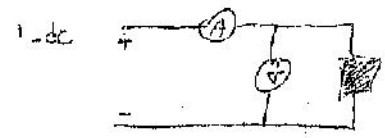
۲-۳- ~ ~ ~ ~ ظرفیت

۲-۴- ~ ~ ~ ~ ضریب کیفیت

۲-۵- روش پل

۲-۱ ۱- مقاومت داخلی dc

۲- ac ~ ~ ~

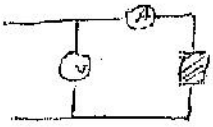


$$\Rightarrow r_{xL} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}}$$

روش ۲- استفاده از Z_x

۲- ac

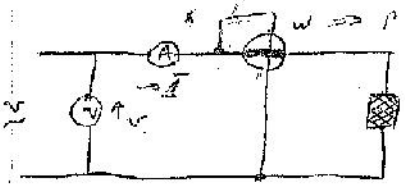
$R_{xL} \ll Z_x$



$$Z_{xL} = \sqrt{R_{xL}^2 + (L_x \omega)^2}$$

$$\Rightarrow L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V_{ac}}{I_{ac}}\right)^2 - \left(\frac{V_{dc}}{I_{dc}}\right)^2}$$

۲-۲

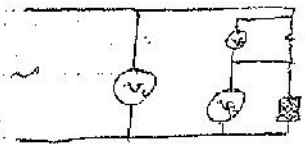


$W \Rightarrow P = r_x \cdot I^2 \Rightarrow$ مقاومت داخلی $\rightarrow R_x = \frac{P}{I^2}$

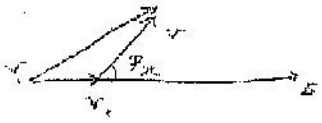
زاویه آمپرسنج $\rightarrow$

$$L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V}{I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}$$

۳-۳ اندازه‌گیری سه ولتاژ مقاومت V_1, V_2, V_3



بطوری که V_1 = ولتاژ دو سر مدار V_2 و V_3



$$V_1^2 = V_2^2 + V_3^2 - 2V_2V_3\cos(180-\varphi_{2L})$$

$$= V_2^2 + V_3^2 + 2V_2V_3\cos\varphi_{2L}$$

$$\cos\varphi_{2L} = \frac{V_1^2 - V_2^2 - V_3^2}{2V_2V_3}$$

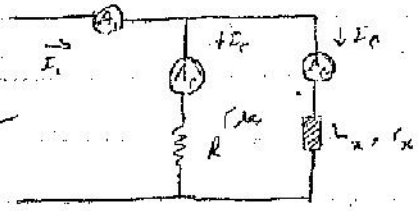
①

$$\frac{r_{2L}}{Z_{2L}} = \cos\varphi_{2L}$$

$$Z_{2L} = \frac{V_2}{I}, \quad I = \frac{V_3}{R} \Rightarrow Z_{2L} = \frac{V_2}{V_3}\cdot R \quad (2)$$

$$①, ② \Rightarrow L_x = \frac{1}{2\pi f}\sqrt{Z_{2L}^2 - r_{2L}^2}$$

۴-۳ روش سه آمپرسنجی

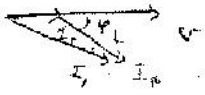


$R_A \simeq 0$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$

I_3 نسبت به V پس‌فاز

$$I_1^2 = I_2^2 + I_3^2 + 2I_2I_3\cos\varphi_L$$



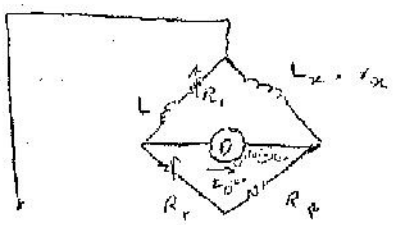
$$\Rightarrow \cos\varphi_L = \frac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{2I_2I_3} = \frac{r_{2L}}{Z_{2L}} \quad (1)$$

$$Z_{2L} = \frac{V}{I_3} = \frac{RI_2}{I_3} \quad (2)$$

$r_x =$ ... تانژانت $\Rightarrow r_x = z_x \cos\varphi_L$

$$\begin{cases} L_x = \frac{1}{\omega}\sqrt{(z_x)^2 - (r_x)^2} \\ \omega = 2\pi f \end{cases}$$

۳- پل وین



$$\Rightarrow R_2(r_x + jL_x\omega) = R_4(R_1 + jL\omega)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_2 r_x = R_1 R_4 \\ R_2 L_x = R_4 L \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} r_x = \frac{R_1 R_4}{R_2} \\ L_x = \frac{R_4}{R_2} L \end{cases}$$

۴- روش اندازه‌گیری ضریب القای متقابل دو سیم پیچ:

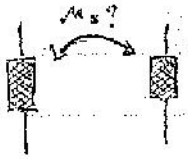
۱- روش ولتمتر آمپرمتر

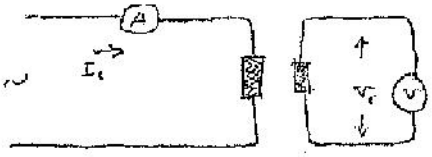
۲- ... القای متقابل در ... خلاف

برای این جهت ...

پل ... ۲

... ۴-۱ ...





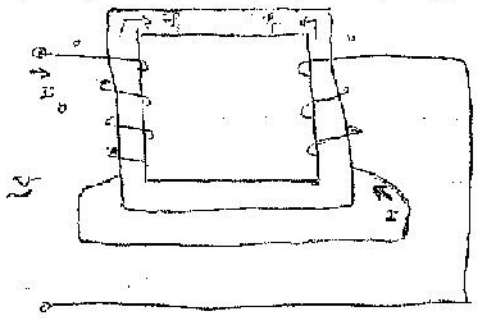
بهترین ... ولتمتر الکترواستاتیکی ...

$R_{V_2} \approx$ ... (خیلی خیلی زیاد) $\Rightarrow I_2 \approx$ ...

$V_2 = M\omega I_1 \Rightarrow M = \frac{V_2}{\omega I_1}$

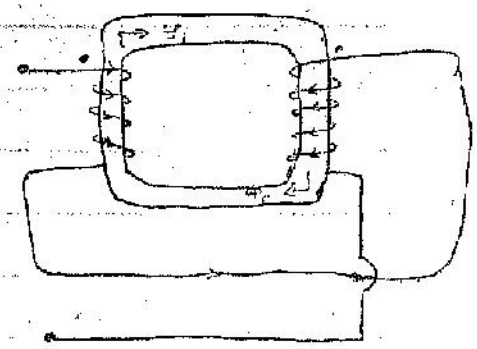
D ... مقاومت ...

۳-۴

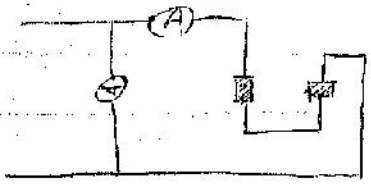


$$Z_b = r_1 + r_2 + j\omega(L_1 + L_2 - 2M)$$

معاکس



$$Z_a = r_1 + r_2 + j\omega(L_1 + L_2 + 2M)$$



اتصال معاکس

$$L_a = L_1 + L_2 + 2M = \frac{1}{\omega}\sqrt{\left(\frac{V_a}{I_a}\right)^2 - (r_1+r_2)^2} \quad (1)$$

$$L_b = L_1 + L_2 - 2M = \frac{1}{\omega}\sqrt{\left(\frac{V_b}{I_b}\right)^2 - (r_1+r_2)^2} \quad (2)$$

$$\Rightarrow M = \frac{L_a - L_b}{4}$$

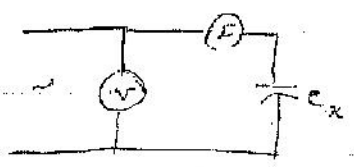
۴ - روش‌های اندازه‌گیری ظرفیت خازن ۱- روش دشارژ میزمتری

۲- روش مقایسه‌ای جریان

۳- " " ولتاژ

۴ " پل تغییر ۳ المان) هست

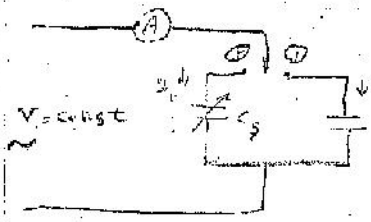
۱-۴



$$X_C = \frac{1}{C_x \omega} = \frac{V}{I}$$

$$C_x = \frac{I}{V \cdot \omega}$$

۲-۴



$$(1) \Rightarrow I_1 = V \cdot C_x \cdot \omega$$

$$(2) \Rightarrow I_2 = V \cdot C_s \cdot \omega \qquad \Rightarrow \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{C_x}{C_s}$$

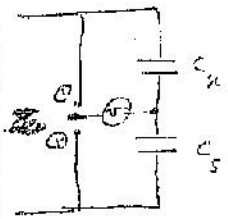
$$\Rightarrow C_x = \frac{I_1}{I_2} C_s$$

اگر خازن استاندارد ما هم مثل خازن مجهول تلفات داشته باشد، باید حتماً مقاومت تلفاتی آن را هم بدانیم.

C_x بدست آید $\Leftarrow$ I_1, I_2

اگر فرض کنیم $\Rightarrow C_x = C_s$

۳-۴



$$(1) \quad V_1 = \frac{I}{C_x \omega}$$

$$(2) \quad V_2 = \frac{I}{C_s \omega} \qquad \Rightarrow \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{C_s}{C_x} \Rightarrow C_x = \frac{V_2}{V_1} C_s$$

اگر فرض کنیم: $C_x = C_s \Leftarrow V_1 = V_2$ $\Leftarrow$ C_s بدست آید