دکتر علامی

اندازه گیری الکتریکی :

میان ترم ۴ نمره

پایان ترم ۱۴ نمره

کوئیز ۲ نمره

مراجع : دستگاه های اندازه گیری الکتریکی (سنجش و اندازه گیری) دانشگاه تهران

Sawhney " 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 مدت زمان (monitoring)

۴- تولید وسایل تولید شناسب با ویژگی های قابل انتظار (مثلا صحیح کردن دستگاه های الکتریکی (calibration)

۵- ارزیابی کیفی تجهیزات (test device)

$0.95 \leq P \leq 0.05$

رفع نیاز فزاینده بشر

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 (که یکی از آنها قابل قیاس) } جهت تعیین کمیت یا پدیده مجهول

خطای اندازه گیری؟

تفاوت میان مقدار واقعی و مقدار اندازه گیری شده

حالت های ممکن

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

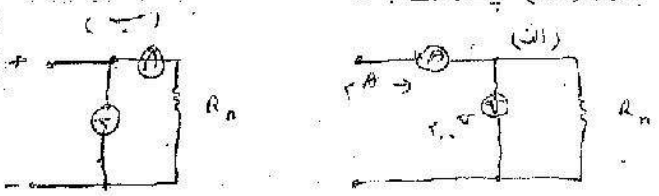
مقدار واقعی A ← مقدار اندازه گیری شده A_m ← ΔA = خطای مطلق

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

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta A}{A} \times 100 = \varepsilon_a \times 100$$

خطای سیستماتیک دارای ابعاد و مقدار است ← باید تصحیح شود (سیستماتیک)

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



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

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

$I_V = \frac{V}{R_V} = \frac{20}{20000} = 1\ mA$

$R = \frac{20}{1,998} = 100$

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

انواع خطاها:

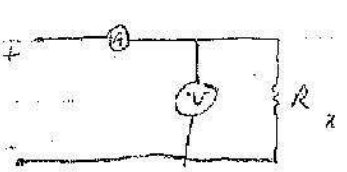
۱- خطاهای اصولی (تابع ضابطه، رابطه و قابل محاسبه) مانند خطای ناشی از روش اندازه‌گیری — وابستگی با عوامل تأثیرگذار (قابل پیش‌بینی)

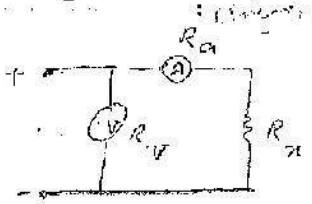
به عنوان مثال: روش ولتمتر - آمپرمتری برای اندازه‌گیری R_x

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

در این حالت تخمین مقدار واقعی کمیت مجهول با تکرار اندازه‌گیری بهتر می‌شود.

روش ولتمتر آمپرمتری:





مقاومت آمپرمتر

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

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

اندازه گیری الکتریکی :

پایان ترم ۷۰ نمره — مراجع : دستگاه های اندازه گیری الکتریکی (سعود ملکیان) — دانشگاه تهران

پایان ترم ۱۴ نمره — ترین های خوب ← "a course in electrical sawhney"

کوئیز ۲ نمره — "Indiq press & electronic measurments & Instrumentation"

نمره

اهداف اندازه گیری الکتریکی چیست؟

۱- تعیین وجود یا عدم وجود کمیت مورد نظر — $0.5 \leq f \leq 5.0$ — دفع هجار فرکانس شبکه سراسری برق

۲- تعیین مقدار یک کمیت مجهول

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

۴- تولید وسایل تولیدی مناسب با دقت های قابل انتظار (مثلا مدرج کردن دستگاه های الکتریکی (calibration)

۵- ارزیابی کیفی تجهیزات (test device)

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 } جهت تعیین کمیت یا پدیده مجهول
- مقایسه دو کمیت (دو ثابت) قابل بیان

خطای اندازه گیری :

تفاوت میان مقدار واقعی و مقدار اندازه گیری شده

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

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

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

حالت های مکن:

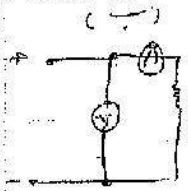
۱- خطای صفر

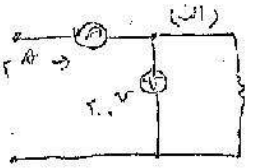
۲- خطای نسبی

۳- درصد خطای نسبی

خطای مطلق برای ابعاد وقتی است که باید توجه شود (مهم)

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





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

مقاومت اندازه‌گیری شده R_n : $\frac{V}{I} = 100\ \Omega$ مقاومت واقعی $R = \frac{V}{I_n} = \frac{V}{I - I_V}$

$I_V = \frac{V}{R_V} = \frac{2000}{20000} = 1\ mA$ $R = \frac{20}{1.999} = \dots$

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

انواع خطاها:

ارتباط با عوامل تأثیرگذار

۱- خطاهای اصولی (تابع متغیرها، ابعاد و قابل محاسبه) مانند خطاهای ناشی از روش اندازه‌گیری

(قابل پیش‌بینی)

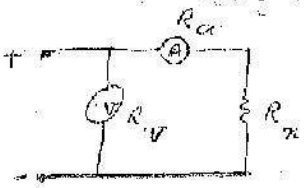
به عنوان مثال: روش ولتمتر - آمپرمتری برای اندازه‌گیری R_x

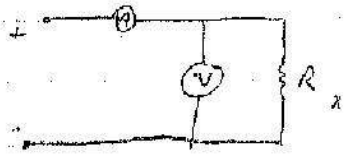
۲- خطاهای اتفاقی (سعوی): غیرقابل پیش‌بینی، غیرقابل محاسبه.

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

و این حالت تخمین مقدار واقعی کمیت مجهول اندازه‌گیری بدست می‌آید.

روش ولتمتر آمپرمتری:





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

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

$(R_m)_{\text{واقعی}} = R'_x = \frac{V}{I}$

خطاهای اتفاقی ←

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

منابع خطا ساز : (عوامل ایجاد کننده خطا در اندازه گیری ها)

اندازه خطا ← ۱- روش اندازه گیری
۲- دستگاه اندازه گیری
۳- عوامل خارجی (دما، رطوبت، فشار، شارهای مغناطیسی پراکنده، میدان الکتریکی موجود در محیط)

$$R_t = R_0 (1 + \alpha T)$$

۴- شخص اندازه گیر (حواس پرتی، عکس العمل، بازدید نادرست و ...)

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

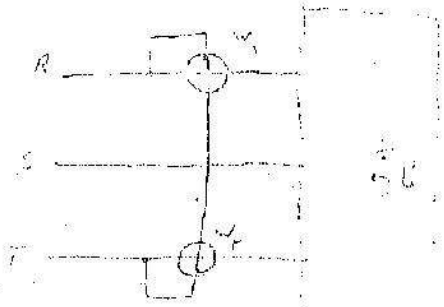
فرض : دقت میلی آمپر $\pm 0.5\%$

جمع : $P_t = P_1 + P_2$ $\quad \varepsilon_{P_t} = \varepsilon_{P_1} + \varepsilon_{P_2}$ خطاها را نمی‌توان جبران کرد

تفاضل : $P_t = P_1 - P_2$ $\quad \varepsilon_{P_t} = \varepsilon_{P_1} + \varepsilon_{P_2}$ ... ...

ضرب : $P = V.I \cos\theta$ $\quad \varepsilon_P = \varepsilon_V + \varepsilon_I + \varepsilon_{\cos\theta}$ ... ...

تقسیم : $R = \frac{V}{I}$ $\quad \varepsilon_R = \varepsilon_V + \varepsilon_I$ ... ...



روش اول اندازه گیری: $\alpha = (\hat{V}_{P_1}, I) < 90°$ ، $P_t = P_1 + P_2$

روش دوم اندازه گیری: $\alpha > 90°$ ، $P_t = P_2 - P_1$

خطای ماکزیمم:

$z = u + v$ مقادیر واقعی

$z_m = u_m + v_m$ مقادیر اندازه‌گیری شده

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

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

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

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

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

خطای حداقل:

$z = u - v$ مقادیر واقعی

$z_m = u_m - v_m$ مقادیر اندازه‌گیری شده

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

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

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

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

دقت در حالت $z = uv$ بیشتر از حالت $z = \frac{u}{v}$ است.

خطای حاصلضرب:

$z = u \cdot v$ لگاریتم $\Rightarrow \ln z = \ln u + \ln v$

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

با ترتیب قابل تبدیل $\Rightarrow \frac{1}{z} = \frac{1}{u}\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{v}\frac{\partial v}{\partial y}$

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

$\varepsilon_z = \varepsilon_u + \varepsilon_v$ حداکثر خطا حالت های مختلف را شما بنویسید

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

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

(عدم علامت بودن خطای مطلق)

خطای حاصلتقسیم:

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

$\frac{1}{z} = \frac{1}{u}\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{v}\frac{\partial v}{\partial y}$

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

$\varepsilon_z = \varepsilon_u - \varepsilon_v$

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

$\Rightarrow \varepsilon_z = \pm[|\varepsilon_u| + |\varepsilon_v|]$ در بدترین شرایط (مختلف العلامت بودن خطای مطلق)

در حالت کلی:

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

$$\varepsilon_f = \pm \left[|m\varepsilon_u| + |n\varepsilon_v| \right] \Rightarrow$$ بدترین شرایط

دقت دستگاه اندازه‌گیری ← حاصل 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 تحریک کننده)

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

$\Delta\theta$ = زاویه انحراف ΔI = جریان مورد سنجش

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

علائم دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی:

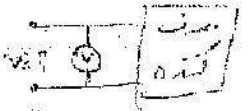
حالت‌های ممکن:

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	مشخصات
اختلاف پتانسیل	ولتمتر	(V) یا [V]	دارای مقاومت داخلی خیلی زیاد، با اتصال موازی



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

توان الکتریکی ... واتمتر ... سیم پیچ جریان با مقاومت کم و با سیم کلفت به مدار متصل میشود

سیم پیچ ولتاژ با مقاومت زیاد و با سیم نازک به مدار متصل میشود

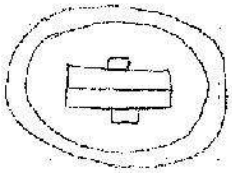
مقاومت اهمی ... اهم متر ...

مقاومی ... مگاهم متر ...

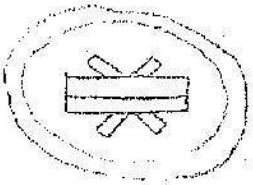
۲- نوع دستگاه :

علامت دستگاه	شرح آن
	دستگاه اندازه گیری : سیم پیچ متحرک و آهنربای دائمی
	دستگاه مخصوص یکسو ساز مخصوص
	یکسو ساز : کلید برای AC و DC در نظر گرفته میشود
	بدون یکسو ساز : کلید مورد نظر برای DC
	دستگاه اندازه گیری : سیم پیچ متحرک و آهنربای دائم (ثابت)
	دستگاه اندازه گیری : آهن نرم متحرک (متحرک)
	دستگاه اندازه گیری : آهن نرم ثابت (ثابت)
	دستگاه اندازه گیری الکترودینامیکی

$$\left.\begin{aligned} \text{گشتاور} &= c\,\theta \\ I &= k\,\theta \\ c &= \frac{k}{\text{گشتاور}} \end{aligned}\right\}$$ حالت پایدار



دستگاه اندازه گیری فرود دینامیکی



دستگاه اندازه گیری فرود دینامیکی نسبت سطح

دستگاه اندازه گیری الکترودینامیکی نسبت سطح

دستگاه اندازه گیری الکترواستاتیکی

دستگاه اندازه گیری اندوکسیون

دستگاه اندازه گیری با آهن ربای متحرک (دگران)

۲- علائم مشترک

علامت	شرح
x (کلیه موارد به جز ۵ و ۱۰)	به جای درصد خطای نسبی دستگاه مثبت و نفع آن

۵ ۱۰

۱/۲ ۱/۵ } ضریب مجزا

نفع ۱ : ۱۰ دستگاه نشان ۱ آمپر

۲۰ × ۰/۱ × ۲۰ = نفع ۱

این دستگاه ها استفاده عایق آزمایش نشده است

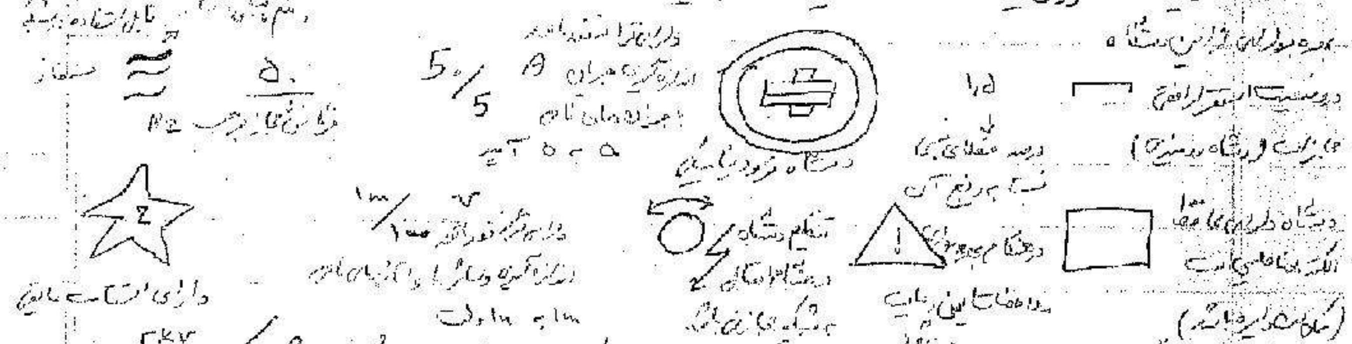
استقامت عایقی این دستگاه در سطح ۵۰۰ ولت تضمین می‌شود.

استقامت عایقی این دستگاه در سطح ۲ کیلو ولت تضمین می‌شود.

تمرین ۱- علائم دستگاه‌های با سیم پیچ متحرک و آهنربای دائم، با آهن نرم گردان، با ترمو دینامیکی، الکترواستاتیکی، اندوکسیون، ارتعاشی را ترسیم کنید.

ابتکار نجف

تمرین ۲- روی یک دستگاه اندازه‌گیری علائم زیر مشاهده می‌شود.



همه این علامات را توضیح دهید — کمیت مورد اندازه‌گیری توسط این دستگاه را مشخص کنید.

حداکثر کمیت مورد سنجش را مشخص کنید — خطای نسبی کمیت مورد سنجش را از طرف وسط را محاسبه نمایید.

کمیت مورد سنجش: وات - وار

وات‌متر (P) وارمتر (Q)

حداکثر کمیت مورد سنجش: $\frac{5\times 10}{\sqrt{3}}$ KVAR یا $\frac{5\times 10}{\sqrt{3}}$ KW

خطای نسبی: ٪۲

انواع دستگاه های اندازه گیری الکتریکی

الف - دستگاه های انحرافی

ب - دستگاه های مقایسه ای

اصول کار دستگاه های انحرافی: گشتاور محرکه (τ_d) که بر متحرک آن وارد می شود باعث ایجاد گشتاور مخرک و در حال آن یکی از اصلی دستگاه (θ) خواهد بود. رابطه ارتباط دو کمیت زیر حاکم است.

$\tau_d = f_1(x)$ ①

$\tau_c = f_2(\theta)$ ②

$\Rightarrow \theta = f(x)$ ③

مدل دستگاه ←

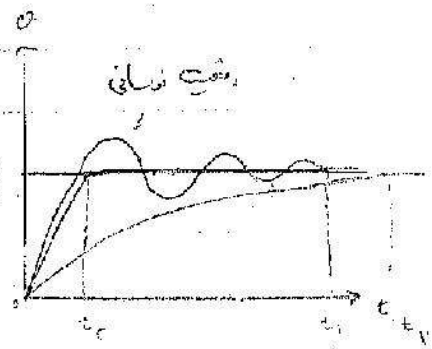
زاویه انحراف دستگاه

انواع گشتاورهای وارد بر یک دستگاه اندازه گیری:

۱- گشتاور محرک: تابع کمیت مورد سنجش

۲- گشتاور مقاوم: تابع زاویه انحراف دستگاه

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



t_r: حالت ایستا

t_s: زمان نشست

t_s: وقتی عقربه θ تغییر نمی کند سرعت زاویه ای کمتر

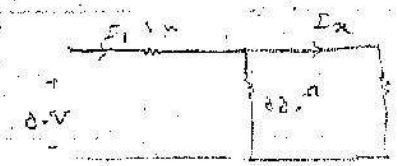
زمان لازم جهت حرکت عقربه و استقرار آن

زمان لازم جهت رسیدن عقربه به حالت پایدار

زمان نشست نوسانی

(بستگی به خاصیت مستهلک کنندگی)

گزینه دوم ۲.



$R_{eq} = (30 \parallel 60) + 12 = 32$ Ω

$I_1 = \frac{50}{32} = 1.56$ A

$I_{2\Omega} = \frac{60}{90} \times 1.56 = 1.04$ A

$R_{eq} = (60 \parallel 30) + 1 = 21$ Ω

$I_{1(m)} = 2.38$ A

$(I_{2\Omega})_m = \frac{40}{60} \times 2.38 = 1.59$ A

$\lambda_{I_{2\Omega}} = \frac{1.59 - 1.04}{1.04} \times 100 = 52.9\%$

گزینه اول ۳ -

$P_m = R_m I_m^2$

$\Rightarrow \lambda_P = 2\lambda_I + \lambda_R = 2(10\%) + 0 = 20\%$

$P_m = 17.34$ (W)

$P_{2\Omega} = \frac{(P_{2\Omega})_m}{1 + \lambda_P} = \frac{17.34}{1.21} = 14.33$ (Watt)

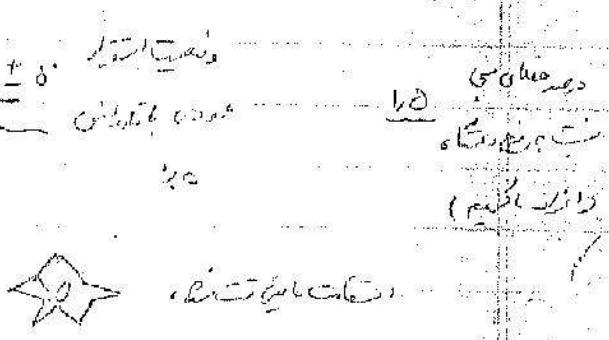
گزینه اول ۴ -

$I = \frac{30}{R} \Rightarrow \lambda_I = \lambda_V - \lambda_R = 10\% - 0 = 10\%$

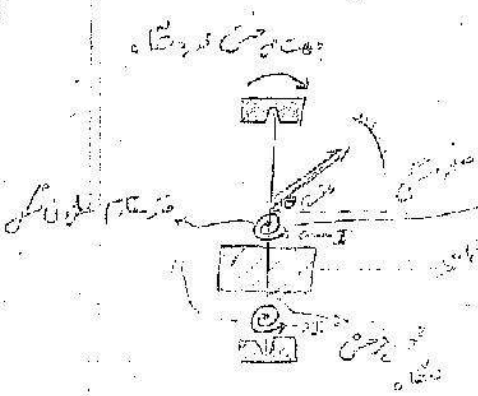
$\Rightarrow \lambda_{P_{max}} = \pm \left\{ 2(10\%) + 0 \right\} = \pm 21\%$

$\lambda_{P_{min}} = -21\%$

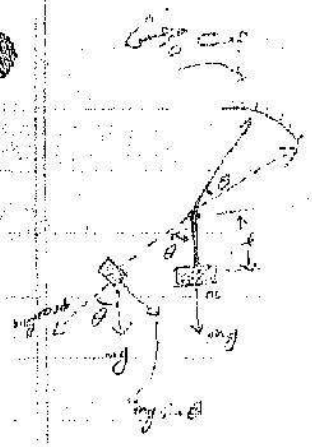
تمرین دوم - سوال ۱ :



روش های ایجاد گشتاور مقاوم :



ب :



m : جرم وزنه معلق شده

l : طول بازوی نیروی وزن m

mg : نیروی وزن m

θ : زاویه چرخش در 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 : کلاً سزا یا و عیب روشهای مذکور را به طور کامل شرح داده ، موارد کاربرد هر روش را تعیین کنید !

روش گاوس : $\frac{1}{r}$ تغییر می‌کند حالت خطی دارد. — شیب منحنی حالت افزایشی دارد $\Delta\alpha$

به علت دقت بالای دستگاه نیوتن این روش را انتخاب می‌کنیم. روش ب به حالت $\perp$

نکته : در صفحات ماژیک استفاده است.

روش های ایجاد گشتاور مقاوم و زمان دستگاه :

روش های دقیق

$$T_a = F\left(\frac{d\theta}{dt}\right) \Rightarrow \begin{cases} \frac{d\theta}{dt} \neq 0 \\ T_a \neq 0 \end{cases}$$

الف - روش های الکتریکی : ۱- روش تابی (معلق‌ای)

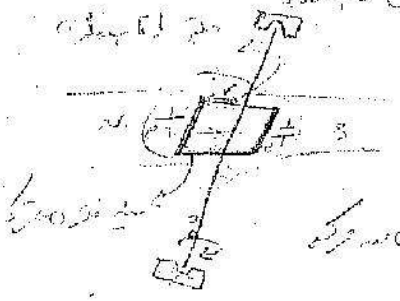
۲- روش سطحی

ب - روش مکانیکی ۱- روش پیشتی

۲- روش پره‌ای

الف ـ ۱ : روش رشته‌های با آهنرباهای دائم بهترین روش می‌باشد

دیگاه آهنرباهای دائم :



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

$\Rightarrow \varepsilon = 2 B l v$ نیروی محرکه کل

$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{2 B l v}{R} = \frac{B s}{R} \frac{d\theta}{dt}$ جریان چرخش کلاف

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

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

$\frac{d\theta}{dt}$ T_{α}

گشتاور جریان I : عبور جریان از کلاف داخل میدان مغناطیسی باعث گشتاور الکترومغناطیسی می‌شود.

$F = B \cdot l \cdot I$ نیروی وارد شده بر هر بازوی کلاف

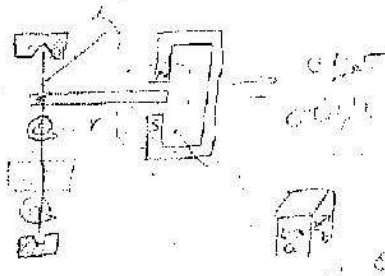
$\Rightarrow T = T_{\alpha} = F \times 2r = 2 B l r I = B s I = \frac{B^2 s^2}{R} \frac{d\theta}{dt}$

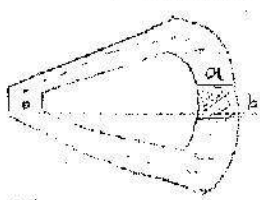
$2(F \times r)$

ضریب استهلاک در هوا A

$\Rightarrow T_{\alpha} = A \frac{d\theta}{dt}$ A ضریب استهلاک در هوا

الف ـ ۲ (روش متداول) : برای کلیه رشته‌های دیگر (غیر آهنرباهای دائم)





۲ : شاخ چپ‌ساز

۱۵. مدل عنکبوتی آهسته ۱ : مدل عنکبوتی آهسته

۱۶. اندوکسیون (جریانی که با میدان مغناطیسی آهنربا برقرار (مقدارات)

$E = B \cdot a \cdot v = B \cdot a \cdot r \frac{d\theta}{dt}$ ولتاژ القایی در سیم‌پیچ یا قاب مستطیلی

$I = \frac{E}{R}$ ← مقاومت کل مسیر جریان القایی $R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{a}{b \cdot c}$

مقاومت ویژه سیم

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

گشتاور مقاوم

انرژی مصرف شده در مقاومت $dW = R I^2 dt \Rightarrow \frac{dW}{d\theta} = T_a = R I^2 \frac{dt}{d\theta}$

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

خودسنجی

۱۷. مقاومت: یک دستگاه اندازه‌گیری با سیم‌پیچ متحرک را هنگام دادن و گرفتن جریان القایی

۱- دارای میدان مغناطیسی ثابت

۲- دارای ضریب میرایی بسیار زیاد است.

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

۴- زمان رسیدن به حالت پایدار زیاد است.

۵- دیر عقربه دستگاه خیلی کم (حدود صفر) می‌ماند.

کاربرد دستگاه :

۱. اندازه‌گیری جریان‌های خیلی کم.

۲. اندازه‌گیری ولتاژهای خیلی کم.

۳. تشخیص حالت تعادل در دستگاه‌های پتانسیومتری.

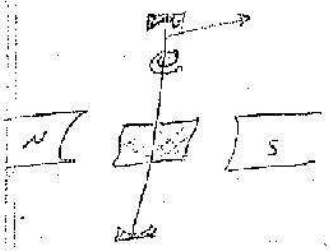
* ۴. بررسی وضعیت دیالکی دستگاه‌های انتقال

انواع گالوانومترهای DC:

۱. گالوانومترهای تکی

۲. گالوانومترهای آونژان.

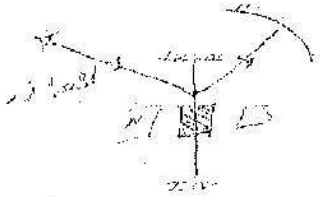
۱. گالوانومترهای تکی ← محور چرخش دستگاه بین دو تکه ثابت قرار دارد.

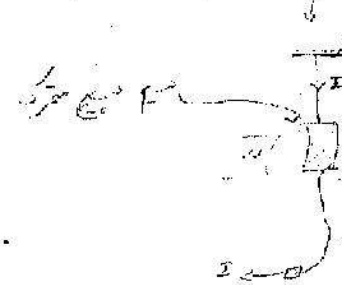


۲ ← آونژان.

الف ← آونژان کشیده ←

ب ← آونژان آزاد.





اجزای مهم دستگاه:

۱. آهنربای دائم

۲. سیم پیچ متحرک

۳. محور چرخش (از فلزی غیرفرومغناطیس)

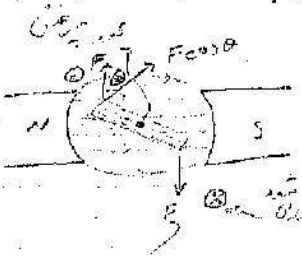
۴. قطعات کم (در دستگاه‌های تکی)

۵. استوانه آهنی ثابت (جهت شعاعی کردن میدان مغناطیسی)

۶. تاب فلزی (جنس مورد) جهت ایجاد گشتاور مقاوم کننده (۱۱ ←

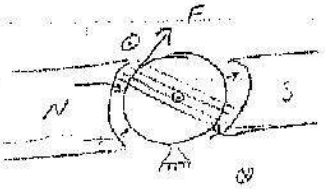
۷. عقربه یا آینه کوچک متصل به قاب فلزی

ملزومات کار دستگاه :



$F = nBIl$

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



$F = nBIl$

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

$T_r = C\theta$

$T_e = f(x)$, $T_r = f(\theta)$ $\Rightarrow$ تعادل $\Rightarrow T_r = T_e \Rightarrow C\theta = nBSI \Rightarrow \theta = \frac{nBS}{C} I$

$K = \text{cte}$

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

کاربرد دستگاه :

۱- اندازه‌گیری جریان‌های خیلی کم .

۲- اندازه‌گیری ولتاژهای خیلی کم .

۳- تشخیص حالت تعادل در دستگاه‌های شبیه آن .

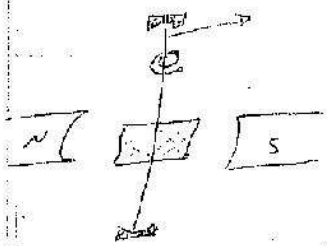
* ۴- بررسی وضعیت دینامیکی دستگاه‌های اندازه‌گیری .

انواع گالوانومترهای Ω :

۱- گالوانومترهای تکی

۲- گالوانومترهای آویزان

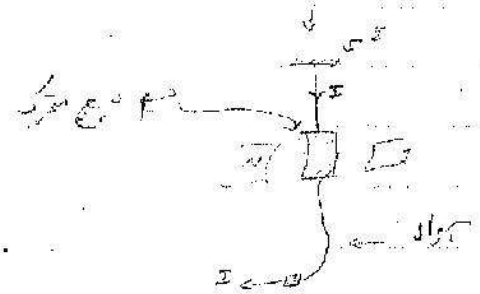
۱- گالوانومتر تکی ← محور چرخش دستگاه بین دو نقطه ثابت قرار دارد .



۲- آویزان

الف- آویزان کشیده

ب- آویزان آزاد



اجزاء مهم دستگاه :

۱- آهنربای دائم

۲- سیم‌پیچ متحرک

۳- محور چرخش (زاویه‌ای نگهدارنده سیم‌پیچ)

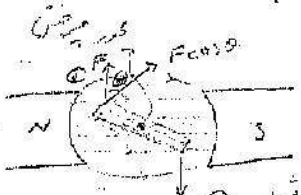
۴- قطعات کمکی در دستگاه‌های تکی)

۵- اسپرینگ آهنی نازک (جهت ثابت نگهداشتن جریان ورودی)

۶- تاب نخی (جهت هدایت جریان ورودی و ثابت نگهداشتن متحرک)

۷- قطعه آلومینیومی که متحرک را میراکند

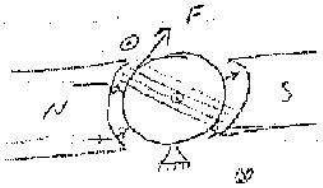
ملزم کار دستگاه :



$F = nBIL$

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

$\Rightarrow T_e = K' I$



$\Rightarrow T_r = C\theta$

$T_e = f(I)$

$T_r = f(\theta)$

$\Rightarrow T_r = T_e \Rightarrow C\theta = nBSI \Rightarrow I = \frac{C}{nBS}\theta = K\theta$

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

بررسی وضعیت دینامیکی:

گشتاورهای موجود در حالت دینامیکی:

۱- گشتاور الکتریکی $T_e = nBsi$ ، $\theta = 0$

۲- گشتاور مقاوم $T_r = c\dot{\theta}$

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

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

ممان اینرسی = جرم × شعاع ژیراسیون

رابطه موجود در وضعیت دینامیکی دستگاه:

رابطه گشتاورها:

$T_e = T_r + T_a + T_J$

T_r: گشتاور مقاوم

T_a: گشتاور مستهلک‌کننده ناشی از اصطکاک هوا

T_J: گشتاور اینرسی

$nBsi$: گشتاور محرک

$f\frac{d\theta}{dt}$: ضریب مستهلک‌کنندگی ناشی از اصطکاک هوا

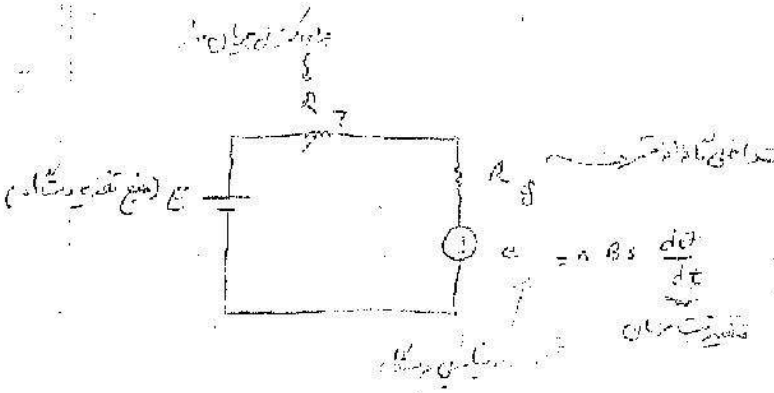
$J\frac{d^2\theta}{dt^2}$: گشتاور لازم برای حرکت جرم متحرک

عامل تبدیل انرژی حرکت به گشتاور

گشتاورهای در حرکت چرخشی

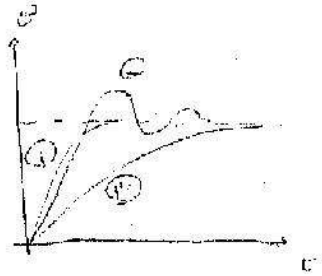
پس از آزاد شدن T_e =

سایر معادلات الکترودینامیکی 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 در لحظه 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

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

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

ضریب اصطکاک نوسانات دستگاه $\rightarrow$ A 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 یا نوسانی مختلف پاندول الکترودینامیکی موجود

الف - پاندول در وضعیت اولیه ساکن و در حالت تعادل (θ_0 ساکن پیدا کرده) $\rightarrow$ با ورود جریان ثابت دستگاه کمی حرکت کرده و متوقف می‌شود

$I = I_s$ $\quad \theta = \theta_s$ $\Rightarrow$ $\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = 0 \\ \frac{d^2\theta}{dt^2} = 0 \end{cases}$

$\Rightarrow c\theta_s = \frac{c}{k} I_s \Rightarrow \theta_s = \frac{1}{k} I_s$ پاندول در وضعیت تعادل

ب - پاندول حرکت (در حالت گذرا transient)

حالت بدون میرایی گذرا

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

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

$\Rightarrow m e^{pt}\left[Jp^2 + Ap + C \right] = 0 \quad \Rightarrow \quad Jp^2 + Ap + C = 0$

معادله مشخصه

$$p = \frac{-A \pm \sqrt{A^2 - 4JC}}{2J}$$

۱- $A^2 - 4JC > 0$ ← دو جواب حقیقی : (حرکت میرایی)

$\theta = m_1 e^{p_1 t} + m_2 e^{p_2 t}$

۲- $A^2 - 4JC = 0$ ← دو جواب حقیقی مساوی (میرایی بحرانی)

$\theta = m_1 e^{pt} + m_2 t e^{pt}$

۳- $A^2 - 4JC < 0$ ← دو جواب موهومی : (حرکت نوسانی یا میرایی)

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

$$\begin{cases} \alpha = \dfrac{A}{2J} \\ \omega = \sqrt{\dfrac{C}{J} - \alpha^2} \end{cases}$$

پاسخ کلی $\Rightarrow \theta = \theta_c + \theta_f$

* سلیم ترین حالت ، حالت میرایی بحرانی است ، کوتاه ترین زمان رسیدن به حالت دائمی را دارد .

تعریف پارامترهای اصلی گفته شده :

۱- ضریب میرایی کاهنده (h) : عکس تعریف

$$h = \frac{\alpha}{\sqrt{C/J}} = \alpha\sqrt{T_c}$$

ζ ضریب لختی $\quad$ C : ضریب فنر

نکته :

اگر h ← حالت میرایی

$h = 1$ ← " بحرانی

$h < 1$ ← " نوسانی

۲- مقاومت میرایی بحرانی (R_c) : مقاومت کمی در حالت میرایی بحرانی ($A^2 - 4JC = 0$)

$R_c = R + R_g$: مقاومت سیم‌پیچ جبرانی

۳- ضریب کوپلاستیک و مقادیر مقاومت سیم‌پیچ جبرانی (R_g) و (A_c) :

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

$$A^2 = 4FG \Rightarrow A = 2\sqrt{FG}$$

* اگر F و G داده شده باشد، با تغییر R در مدار مقدار $\frac{c^2}{k^2 R_c}$ ثابت است.

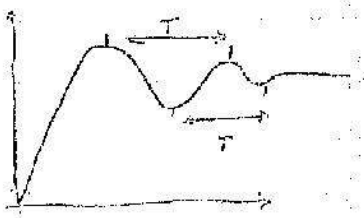
$$\Rightarrow R_c = \frac{c^2}{2k^2\sqrt{FG}} = cte$$

$R_g + R = R_c \Rightarrow$ جفت‌شدگی بحرانی

$R_g + R < R_c \Rightarrow$ جفت‌شدگی ضعیف (فوق‌میرا)

$R_g + R > R_c \Rightarrow$ جفت‌شدگی قوی

۴- زمان تناوب نوسانات دستگاه: زمان لازم برای یک سیکل کامل در وضعیت نوسانی



$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$$

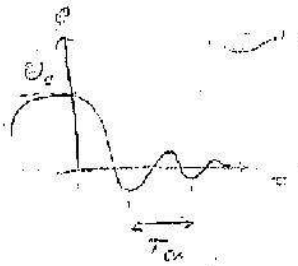
$$\omega = \sqrt{\frac{c}{F} - a^2}$$

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

۵- زمان تناوب نوسانات در از دستگاه: (T_a)

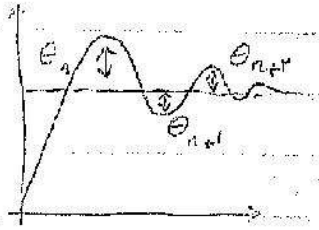
$$T_a = \frac{2\pi}{\sqrt{c/g}} = 2\pi\sqrt{\frac{F}{c}}$$

در مدار باز $R + R_g$ بی‌نهایت است.



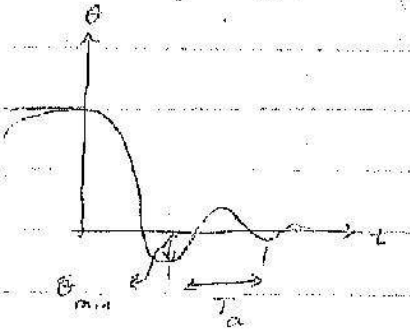
۶- تشریح نحوه‌ی کارکرد دستگاه (روش نوسانات):

$$\lambda = \ln \frac{\theta_n}{\theta_{n+1}}$$ کاربرد: نسبت دامنه‌های دو نوسان متوالی

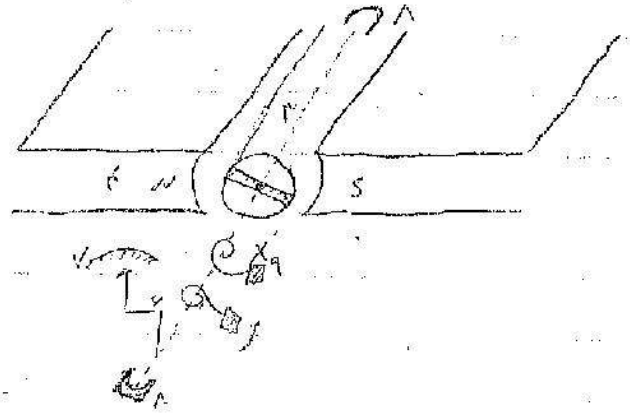


۷- تشریح نحوه‌ی کارکرد دستگاه (روش لگاریتمی):

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



۸- نام دستگاه اندازه‌گیری با اسم وسایل متحرک و کاربرد زیان دانشجو (۵)



۱- سیم یا آلومینیوم

۲- سیم پیچ متحرک با شعاع چرخش

۳- دستگاه آهنی ثابت

۴- محور چرخش سیم آلومینیوم

۵- آهنربای دائم

۶- بدنه‌ی ساعت

۷- عقربه سیم آلومینیوم

۸- صفحه مدرج

۹- تکیه گاه محور چرخش

۱۰- ترمینال ورودی ۲۰ X

دستگاه: گالوانومتر اتکایی با جهت معلق

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

آهن ربای دائم: تأمین کننده میدان مغناطیسی با مقدار ثابت (جنس فولاد - کبالت (برای ایجاد میدان مغناطیسی)

فنر مقاوم: تأمین کننده گشتاور مقاوم (جنس فسفر برنز)

صفحه ی مدرج مشخص کننده: میزان انحراف دستگاه است پرکت عدد نشان

تکیه گاه: تأمین کننده یاتاقان حرکت

ترمینال های ورودی: محل ورود و خروج جریان الکتریکی

طرز کار دستگاه:

اصل: خاصیت که از گشتاورهای ایجاد و متحرک کننده و مساوات صرف نظر می شود بین گشتاورهای اصلی

عبارتند از:

۱- گشتاور محرک

$T_e = nBSi$, $S = p.d = 2r\ell$

۲- گشتاور مقاوم

$T_p = C\theta$ ← ضریب فنر مقاوم

وضعیت تعادل ⇒ $T_p = T_e$

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

جریان dc

کاربرد دستگاه:

۱- اندازه گیری جریان های dc بدون نیاز به یکسو ساز (آمپرمتر)

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

۲- اندازه گیری ولتاژهای dc بدون نیاز به یکسو ساز (ولت متر)

۳- اندازه گیری مقاومت های اهمی بدون نیاز به یکسو ساز (اهم متر)

۴- اندازه گیری جریان های ac (مقدار متوسط) با استفاده از یکسو ساز (آمپرمتر) $V = \cos\theta$

۵- اندازه گیری ولتاژهای ac (مقدار متوسط) با استفاده از یکسو ساز (ولت متر) $R = \frac{V}{I} = \frac{V}{k\theta}$

$R = f(\theta)$

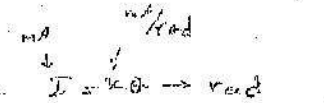
۱ ـ

حد

برد یک آمپرمتر است ← رنج تغییرات دستگاه بین جریان ۰ تا جریان انرژی

الف $I \le I_m$

ب $I > I_m$ ماکزیمم I_m دستگاه سبب انحراف یا پایان کجی



ثابت

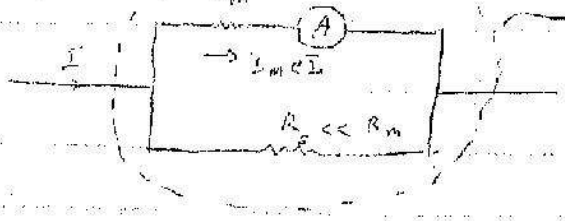
است.

دلایل مختلفی کاربرد دارد است.

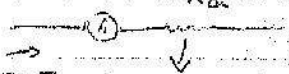
ب ـ افزایش رنج با استفاده از مقاومت شنت (موازی)

مقاومت داخلی دستگاه

رنج دستگاه



آمپرمتر با رنج افزایش یافته



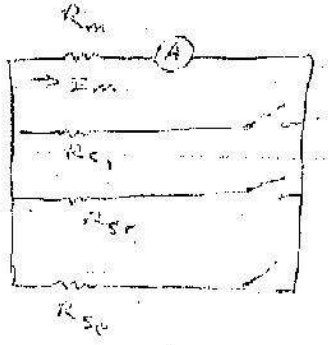
$$R_m = \frac{R_m R_s}{R_m + R_s}$$

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

$$\Rightarrow R_s = \frac{R_m}{n-1} \quad , \quad R_m = \frac{R_m}{n}$$

۱ ـ مدار معادل (برای تبدیل رنج یک مقاومت موازی در نظر گرفته می‌شود)

۲ ـ مدار پیشرفته (به تعداد مقاومت های استفاده شده برابر تعداد رنج های ساخته است کربادم و به صورت اشتراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.)



کلیه های مختلف ← آمپرمتر چند رنجی (یا چند حدی)