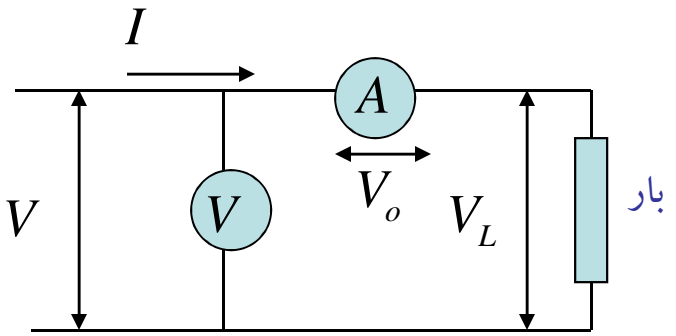
توان در مدارهای DC

توان در مدارهای dc از حاصل ضرب خوانده های امپرسنج و ولت سنج بدست آورده می شود

$$P = V \times I watt$$

$$V_o = IR_a$$

توان مصرفی بار:



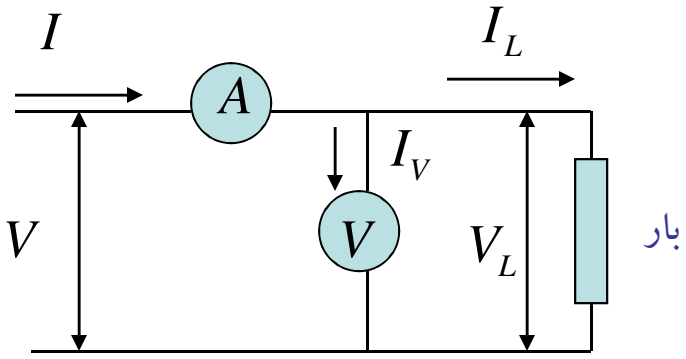
$$V_L I = (V - V_a)I = VI - V_a I = VI - I^2 R_a$$

اتلاف توان در آمپرسنج–توان نشان داده شده توسط دستگاه ها=

ولت سنج هم ولتاژ دو سر بار و هم ولتاژ دو سر آمپرسنج را نشان می دهد

$$I_V = V / R_V$$

توان مصرفی بار:



$$VI_L = V(I - I_V) = V(I - \frac{V}{R_V}) = VI - \frac{V^2}{R_V}$$

اتلاف توان در ولت سنج–توان نشان داده شده توسط دستگاه ها=

توان در مدارهای DC

توان دستگاه ها برابر است با توان مصرفی بار به اضافه توان مصرفی دستگاهی که به سرهای بار نزدیکتر است

توان در مدارهای AC

توان لحظه ای در مدارهای AC مهم نیست بلکه میانگین توان دارای اهمیت می باشد

$$P = v.i$$

$$i = I_m \sin(\omega t - \phi), v = V_m \sin \omega t$$

$$P = v.i = V_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t - \phi) = V_m \frac{I_m}{2}(\cos\phi - \cos(2\theta - \phi))$$

$$P = v.i = \frac{V_m I_m}{2\pi} \int_0^{2\pi} [\frac{\cos\phi - \cos(2\theta - \phi)}{2}] d\theta = \frac{V_m I_m}{2} \cos\phi$$

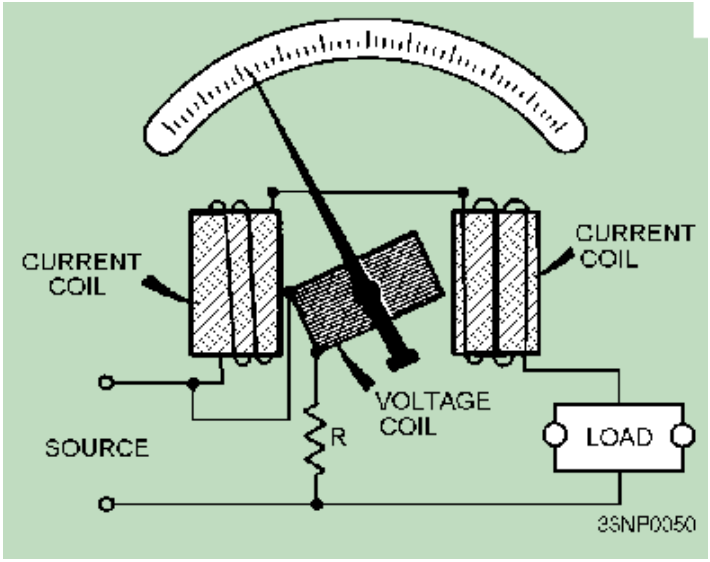
$$P = VI \cos\phi$$

توان در مدارهای AC

وات سنج الکترودینامومتری

پیچک ساکن یا پیچک میدان متوالی با بار وصل می شود و جریان بار از آن می گذرد-پس پیچک ساکن، پیچک جریان وات متر است

پیچک متحرک بین سرهای ولتاژ وصل می شود و جریانی متناسب با ولتاژ از آن می گذرد-یک مقاومت غیرالقایی بالا نیز با پیچک متحرک متوالی می گردد تا جریان عبوری از آن را محدود نگاه دارد- چون پیچک متحرک جریانی متناسب با ولتاژ دارد به آن پیچک ساکن یا پیچک ولتاژ اطلاق می گردد



توان در مدارهای AC

وات سنج الکترودینامومتری

پیچک ساکن : حامل جریان مدارند و به دو نیمه تقسیم می شوند. استفاده از پیچکهای ساکن بعنوان پیچکهای جریان بدین دلیل است که آنها را می توان بزرگتر ساخت و در نتیجه جریان بزرگتری از آنها عبور داد

در وات سنجهای اولیه این جریان می توانست تا ۱۰۰ آمپر نیز باشد اما بدلیل اتلاف ناشی از جریان گردابی این وات سنج ها امروزه تا ۲۰ آمپر ساخته می شوند.

برای اندازه گیری توانهائی که جریان بار آنها زیاد است بهتر است که از یک وات سنج ۵ آمپری همراه با ترانسفورماتور جریان با گستره مناسب استفاده کرد

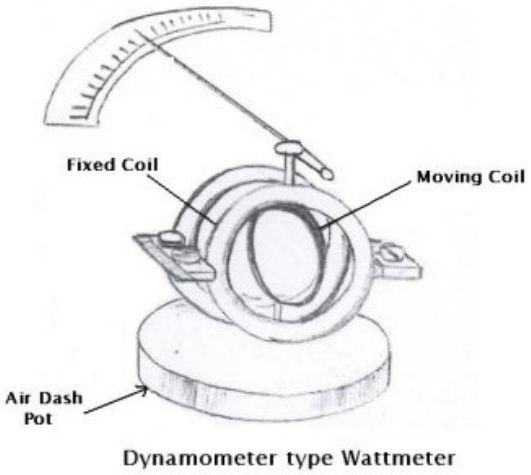
پیچک متحرک : این پیچک توسط پیچکهای جریان کاملا احاطه شده است و برای حرکت از کنترل فنری استفاده می شود. چون جریان پیچک متحرک از فنرهای دستگاه می گذرد، بنابراین این جریان محدود به مقداری است که بدون گرم کردن از فنرها بگذرد. یک مقاومت متوالی در مدار ولتاژ بکار می رود و جریان را در مقداری کم در حدود ۱۰ تا ۵ میلی آمپر محدود می کند.

پیچک فشار برای ولتاژ حداکثر ۶۰۰ ولت (بدلیل گرمای زیاد تولید شده در مقاومت متوالی) طراحی می شود. برای ولتاژهای بالاتر مدار پیچک فشار برای ۱۱۰ ولت طراحی می شود و برای کاهش ولتاژ، ترانسفورماتور ولتاژ بکار می رود.

توان در مدارهای AC

وات سنج الکترودینامومتری

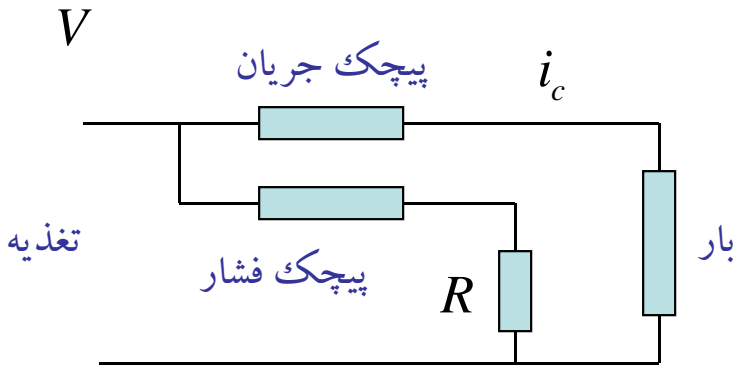
کنترل : دستگاه از کنترل فنری استفاده می کند



Dynamometer type Wattmeter

میرائی : از میرائی اصطکاکی استفاده می شود. سیستم متحرک یک پره آلوم

فلسفه عملکردی :



گشتاور تولیدی توسط دستگاه الکترودینامومتری

$$T_i = i_1 i_2 \frac{dM}{d\theta}$$

I1 و i2 مقادیر لحظه ای جریانهای دو پیچک و V و I مقادیر مؤثر ولتاژ و جریان اندازه گیری شونده می باشند

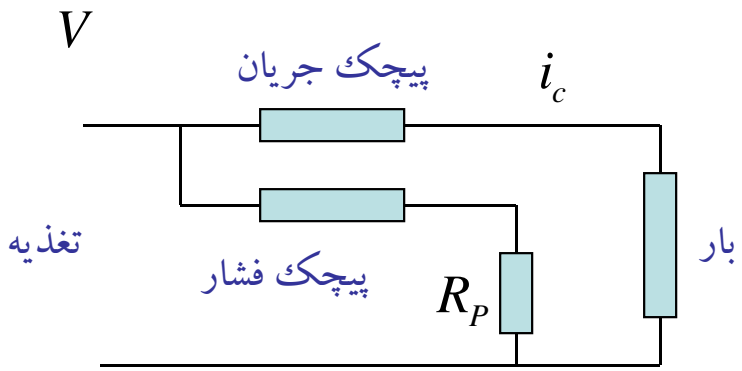
مقدار لحظه ای ولتاژ v بین سرهای مدار پیچک فشار:

$$v = \sqrt{2}V \sin \omega t$$

توان در مدارهای AC

وات سنج الکترودینامومتری

فلسفه عملکردی :



چون مدار پیچک فشار مقاومتی می باشد، جریان عبوری از آن بصورت زیر بدست آورده می شود:

$$i_p = \frac{v}{R_p} = \sqrt{2}\frac{V}{R_p}\sin\omega t = \sqrt{2}I_p \sin\omega t$$

I_p مقدار مؤثر جریان پیچک فشار

اجریان پیچک جریان که به اندازه ϕ نسبت به ولتاژ پس افت دارد:

$$i_c = \sqrt{2}I\sin(\omega t - \phi)$$

پس گشتاور لحظه ای زیر را خواهیم داشت:

$$T_i = \sqrt{2}I_p \sin\omega t \times \sqrt{2}I\sin(\omega t - \phi)\frac{dM}{d\theta} =$$

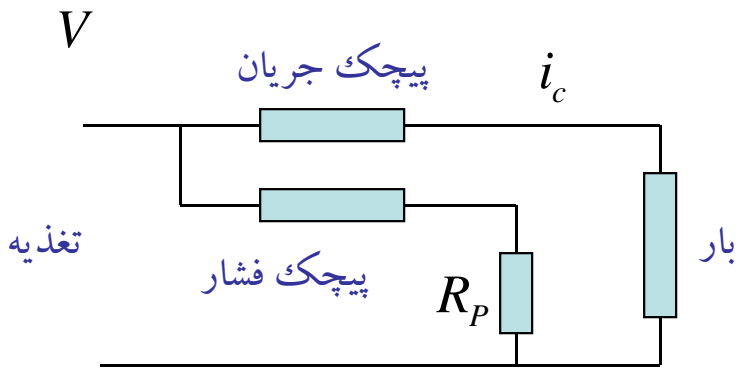
$$= 2I_p I \sin\omega t \times \sqrt{2}I\sin(\omega t - \phi)\frac{dM}{d\theta} =$$

$$I_p I[\cos\phi - \cos(2\omega t - \phi)]\frac{dM}{d\theta}$$

توان در مدارهای AC

وات سنج الکترودینامومتری

فلسفه عملکردی :



میانگین گشتاور:

$$T_d = \frac{1}{T}\int_0^T T_i d(\omega t) = \frac{1}{T}\int_0^T I_p I[\cos\phi - \cos(2\omega t - \phi)]\frac{dM}{d\theta}.d(\omega t)$$

$$= I_p I\cos\phi\frac{dM}{d\theta} = \frac{VI}{R_p}\cos\phi\frac{dM}{d\theta}$$

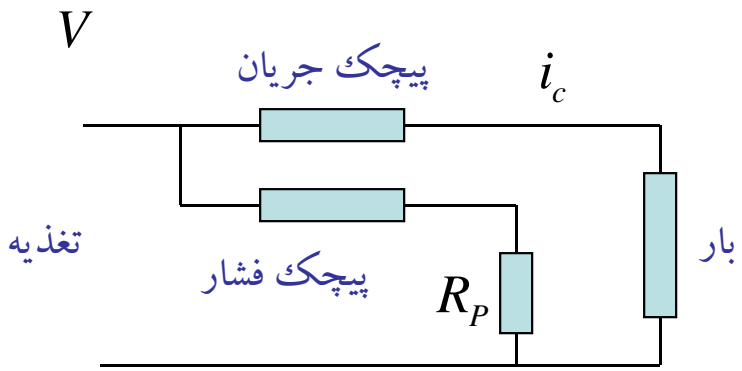
گشتاور فنر:

$$T_c = K\theta$$

توان در مدارهای AC

وات سنج الکترودینامومتری

فلسفه عملکردی :



در حالت مانا:

$$K\theta = I_p I \cos\phi \frac{dM}{d\theta}$$

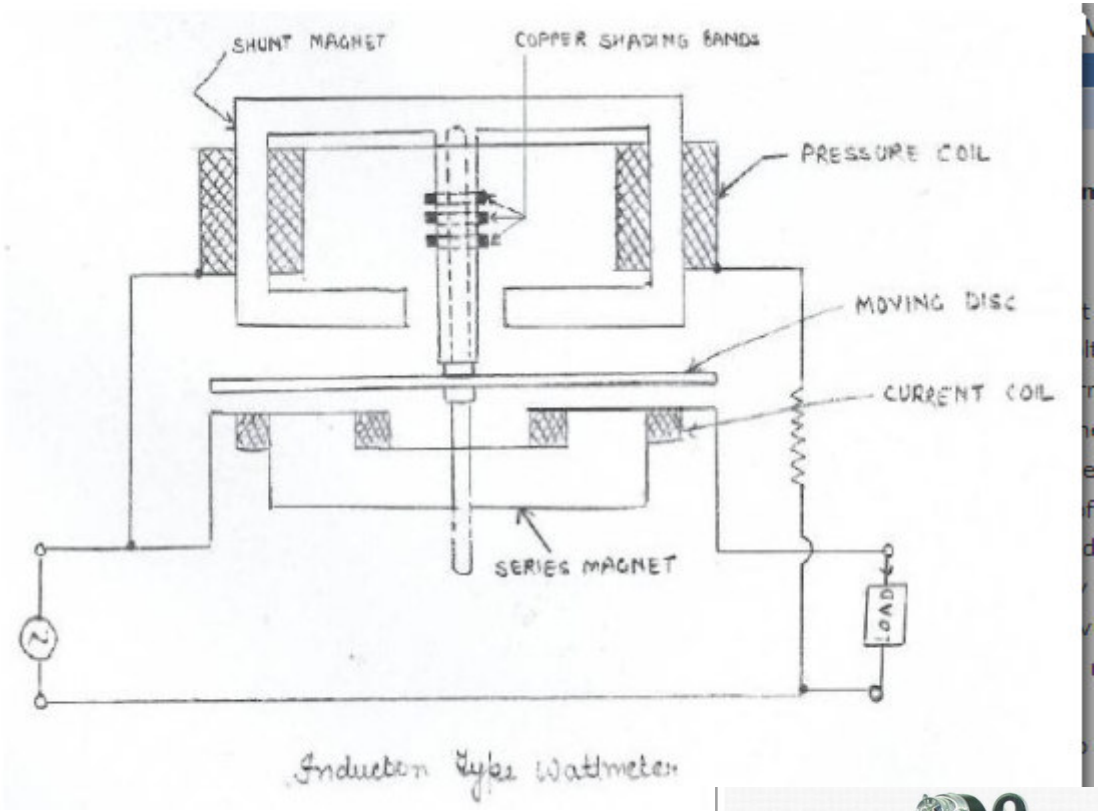
$$\longrightarrow \quad \theta = \frac{VI\cos\phi}{R_p K}\frac{dM}{d\theta} = (K_1 \frac{dM}{d\theta})P$$

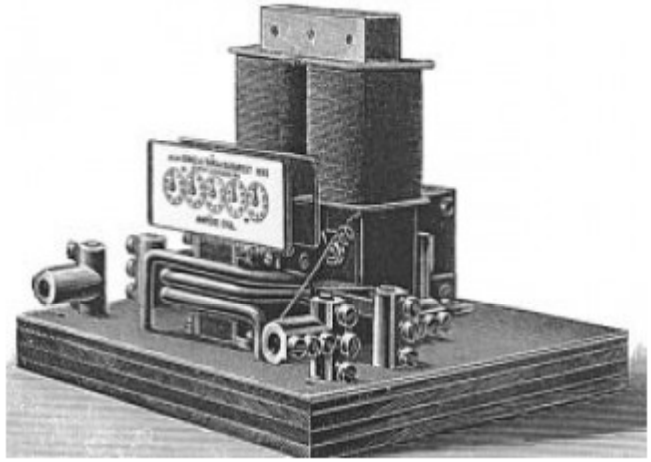
که:

$$P = VI\cos\phi$$

$$K_1 = \frac{1}{R_p K}$$

وات سنج القائی





وات سنج القائی

متشکل از دو آهنربای الکتریکی مورق که یکی از آنها آهنربای شنت بوده و پیچک آن از ولتاژ مدار تحریک می شود و دارای جریانی متناسب با ولتاژ است. آهنربای دوم، آهنربای متوالی بوده و پیچک آن از جریان بار تحریک می شود. پیچکی که جریانی متناسب با ولتاژ دارد پیچک فشار میباشد و پیچکی که حامل جریان بار است، پیچک جریان نامیده می شود.

یک دیسک نازک آلومینیومی شار هر دو آهنربا را قطع می کند

گشتاور کنترل از نوع فنری می باشد

بر خلاف دستگاه های دینامومتری، پیچک فشار وات سنج القائی تا حد ممکن القائی می گردد تا اینکه شار آهنربای شنت به اندازه تقریبا ۹۰ درجه نسبت به ولتاژ اعمال شده پس افت داشته باشد

دستگاه از میرائی جریان فوکو استفاده می کند.

وات سنج القائی

مبنای کار:

آهنربای شنت و متوالی شار متناوب ایجاد می کنند. این شارها در دیسک ایجاد emf کرده و موجب عبور جریان گردابی می گردد.

از برهمکنش بین این شارها و جریان های گردابی، گشتاور انحراف دهنده تولید می شود

همانطور که نشان داده شد، گشتاور در دستگاه القائی بصورت زیر بدست آورده می شود:

$$\left.\begin{aligned} T_d &= K_1 VI\cos\phi = K_1 P \\ T_c &= K\theta \end{aligned}\right\} \longrightarrow \quad \theta = \frac{K_1}{K} P = K' VI\cos\phi$$

توان در سیستم های چند فاز

قضیه بلوندل:

اگر شبکه ای توسط n سیم تغذیه شود، توان کل از جمع خوانده های n وات سنجی بدست می آید که عنصر جریان هر کدام بر روی یکی از خطها قرار گرفته باشد و عنصر ولتاژش بین آن خط و یک نقطه مشترک بسته شده باشد.
در حالت سیستم سه فاز سه سیمه:

توان بار

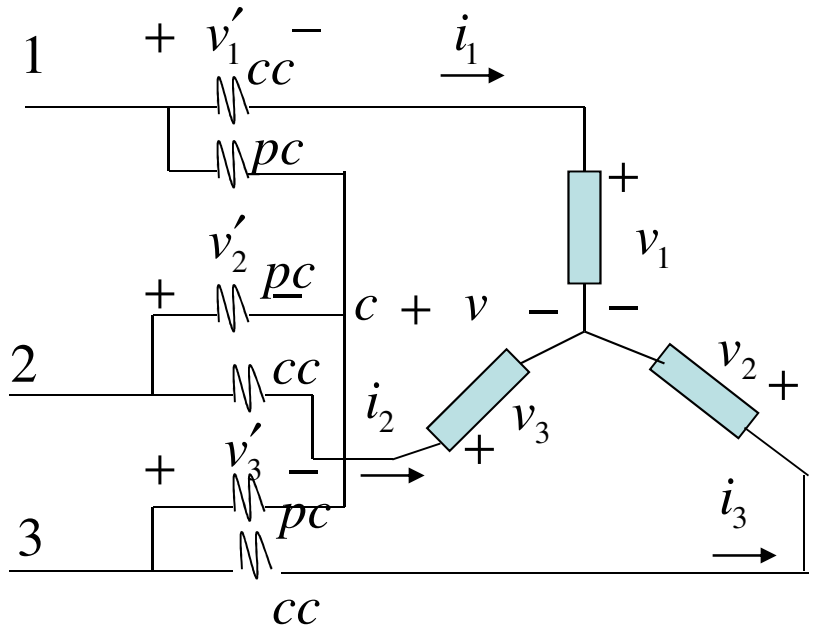
$$load: p = v_1 i_i + v_2 i_2 + v_3 i_3$$

خوانده وات سنجها:

$$P_1 = v_1' i_1, P_2 = v_2' i_2, P_3 = v_3' i_3$$

$$v_3 = v + v_3', v_2 = v + v_2', v_1 = v + v_1'$$

$$p_1 = (v_1 - v) i_1, p_2 = (v_2 - v) i_2, p_1 = (v_3 - v) i_3$$

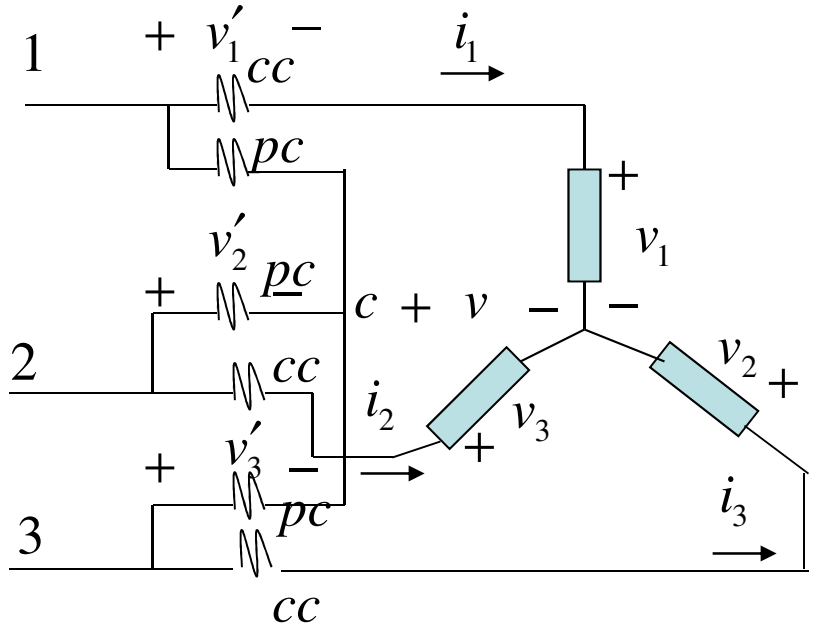


توان در سیستم های چند فاز

مجموع خوانده وات سنجها:

$$p = (v_1 - v)i_1 + (v_2 - v)i_2 + (v_3 - v)i_3 = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 - v(i_1 + i_2 + i_3) =$$
$$v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3$$

مجموع خوانده وات سنجها برابر با توان بار است



اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز

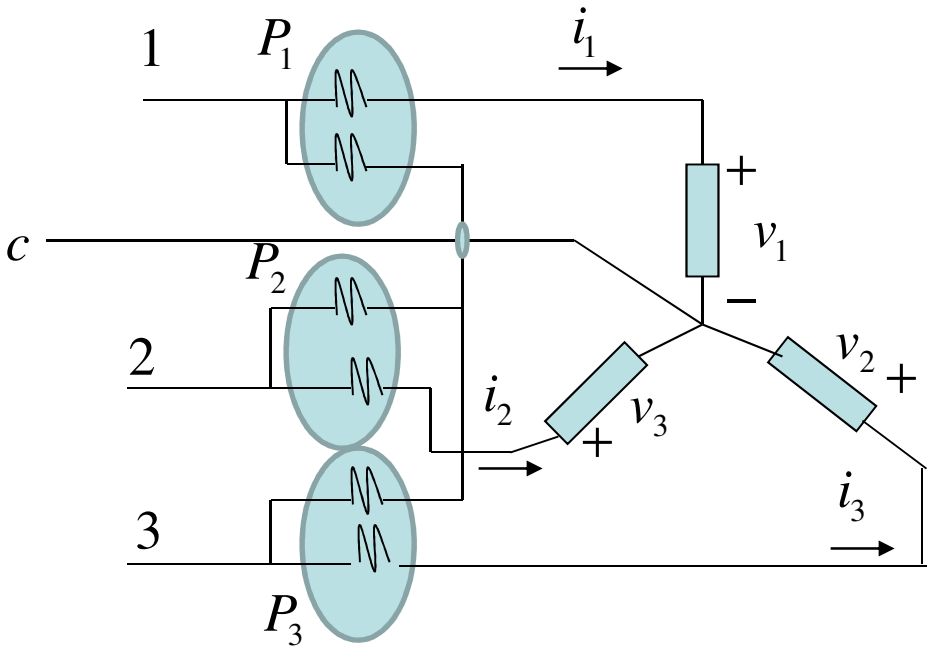
روش سه وات سنجه:

خوانده وات سنجها:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3$$

توان لحظه ای بار:

$$p_{load} = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3$$



اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز

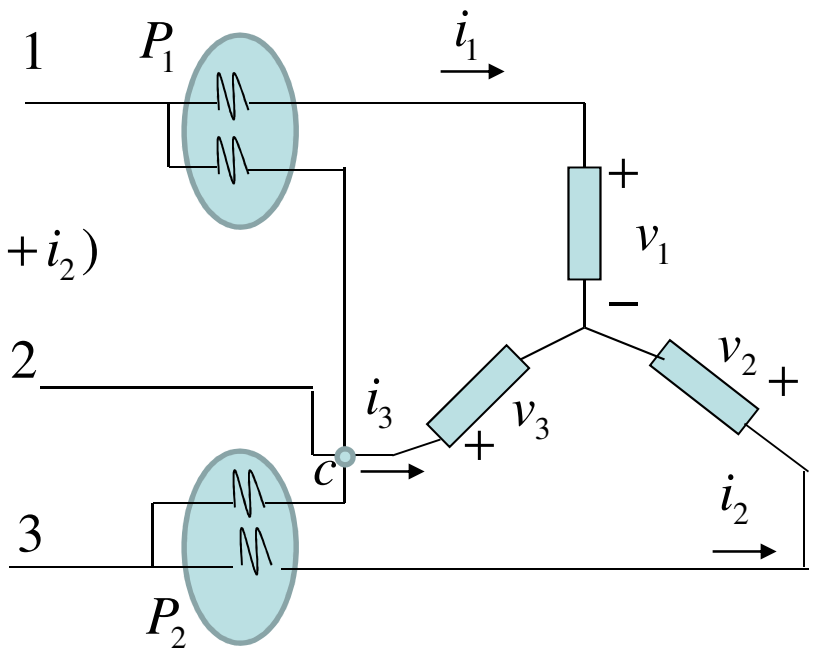
روش دو وات سنجه:

اگر نقطه مشترک بر روی یکی از خطوط قرار گیرد ما به دو دستگاه برای اندازه گیری توان احتیاج خواهیم داشت

توان لحظه ای بار

$$p = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3$$

اتصال ستاره



$$p_1 = i_1 (v_1 - v_3)$$

$$p_2 = i_2 (v_2 - v_3)$$

$$p_1 + p_2 = i_1 (v_1 - v_3) + i_2 (v_2 - v_3) = v_1 i_1 + v_2 i_2 - v_3 (i_1 + i_2)$$

طبق قانون کیرشهف

$$i_3 = -(i_1 + i_2) \; or \; i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

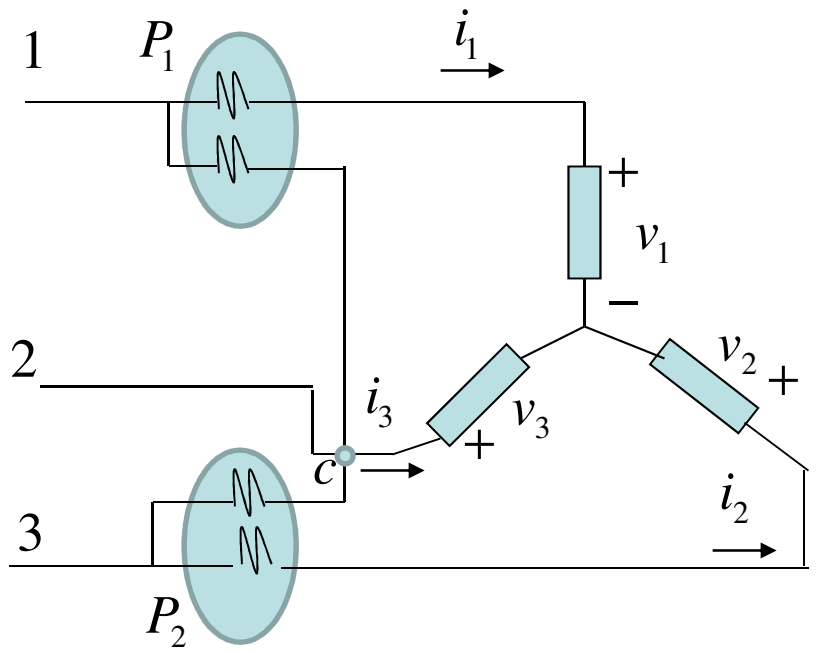
اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز

روش دو وات سنجه:

بنابراین جمع خوانده های وات سنجها بصورت زیر خواهد بود که همان توان مصرفی بار می باشد

$$v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3$$

اتصال ستاره



اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز

روش دو وات سنجه:

بنابراین جمع خوانده های وات سنجها بصورت زیر خواهد بود که همان توان مصرفی بار می باشد

$$P_1 = -v_3(i_1 - i_3)$$

$$P_2 = v_2(i_2 - i_1)$$

$$P_1 + P_2 = -v_3(i_1 - i_3) + v_2(i_2 - i_1) =$$
$$v_2 i_2 + v_3 i_3 - i_1(v_2 + v_3)$$

طبق قانون کیرشهف

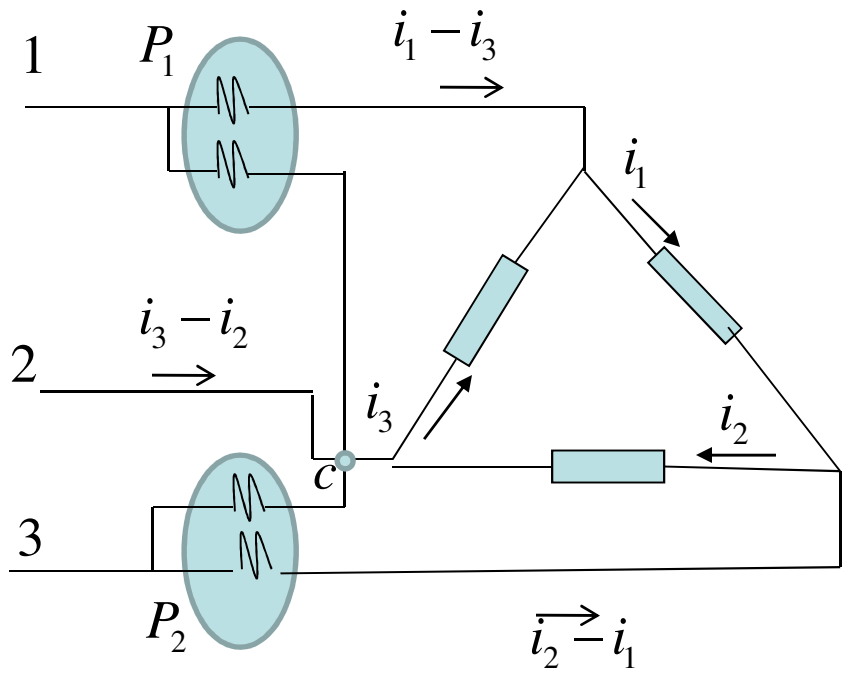
$$v_1 + v_2 + v_3 = 0 \text{ or } v_1 = -(v_2 + v_3)$$

جمع خوانده های وات سنجها:

$$P_1 + P_2 = v_2 i_2 + v_3 i_3 - i_1(-v_1) = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3$$

که با توان مصرفی بار برابر است

اتصال مثلث



اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز

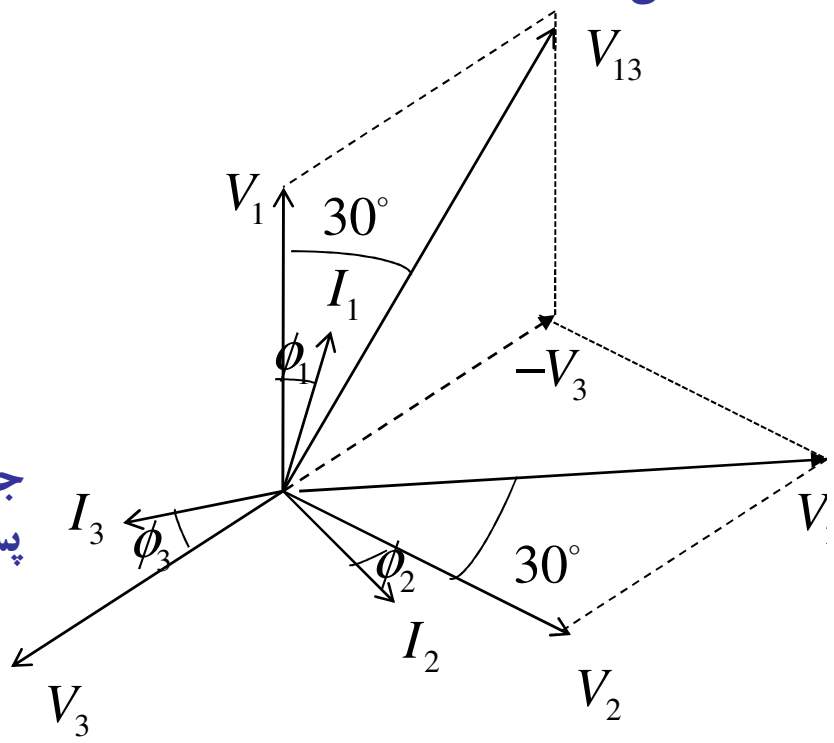
روش دو وات سنجه:

نمودار فازوری برای بار ستاره ای متعادل

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

$$V_{12} = V_{23} = V_{13} = \sqrt{3}V$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$



ضریب توان

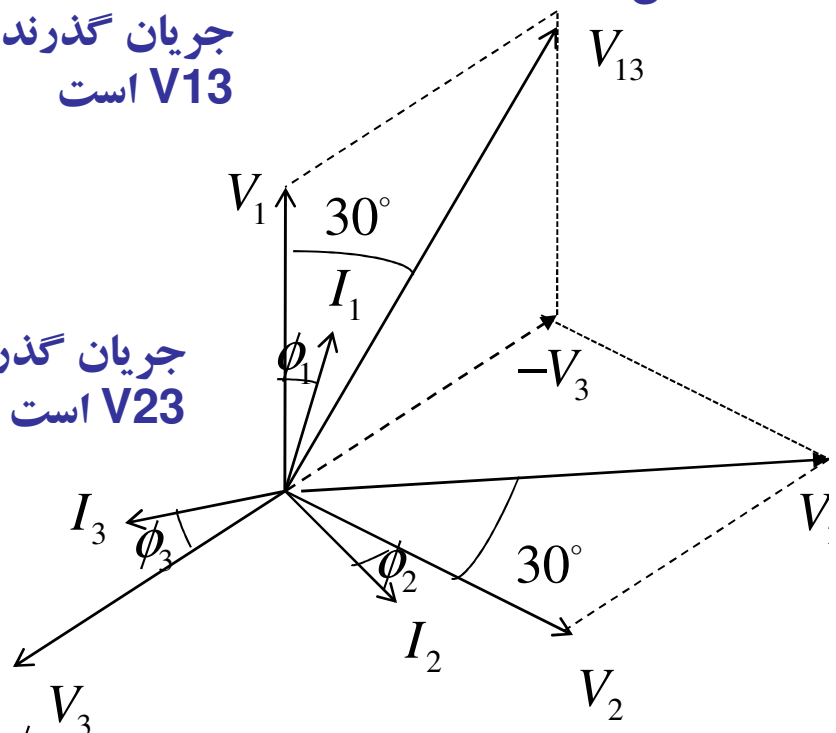
$\cos\phi$

جریان هر فاز نسبت به ولتاژ فاز متناظرش به اندازه ϕ زاویه پس افت دارد

اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز

روش دو وات سنجه:

نمودار فازوری برای بار ستاره ای متعادل



جریان گذرنده از وات سنج P1 برابر با I1 و ولتاژ دو سر پیچک فشار آن V13 است

$$P_1 = V_{13} I_1 \cos(30 - \phi) = \sqrt{3} VI \cos(30 - \phi)$$

جریان گذرنده از وات سنج P2 برابر با I2 و ولتاژ دو سر پیچک فشار آن V23 است

$$P_2 = V_{23} I_2 \cos(30 + \phi) = \sqrt{3} VI \cos(30 + \phi)$$

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} VI (\cos(30 - \phi) + \cos(30 + \phi)) = 3VI \cos\phi$$

که برابر با جمع توان مصرفی بار است

اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز

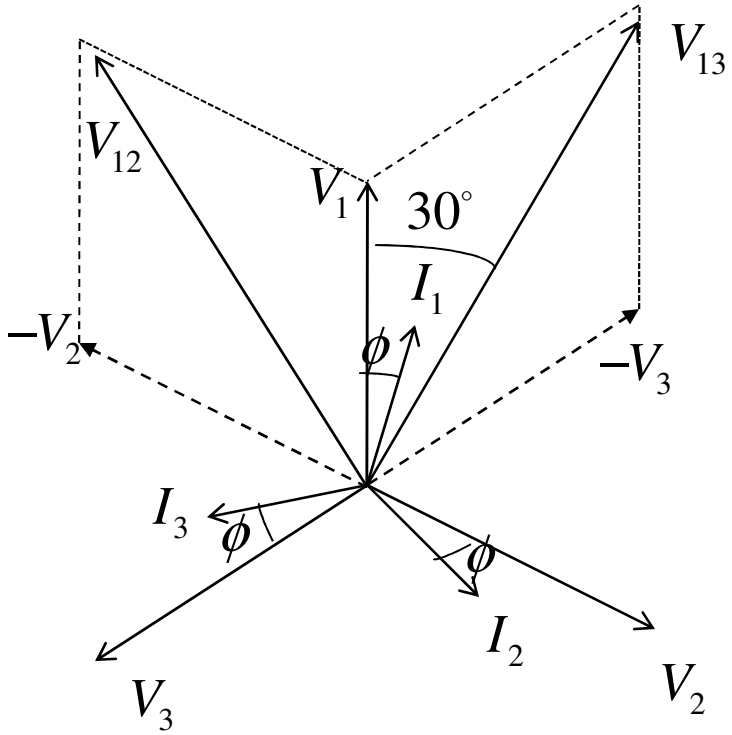
روش یک وات سنجه (قابل کاربرد برای بارهای متعادل):

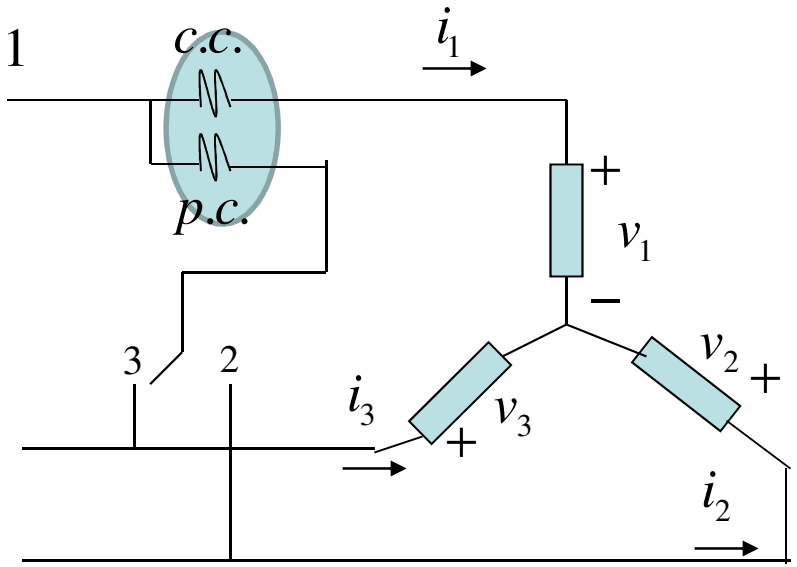
یک سر روی خط ۱ است و سر دیگر به نوبت به خطهای ۲ و۳ متصل می گردد

$$V_{13} = V_{12} = \sqrt{3}V, I_1 = I_2 = I_3 = I, V_1 = V_2 = V_3 = V$$

$$P_1 = V_{13} I_1 \cos(30 - \phi) = \sqrt{3} VI \cos(30 - \phi)$$

$$P_2 = V_{12} I_1 \cos(30 + \phi) = \sqrt{3} VI \cos(30 + \phi)$$





اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز

وات سنج سه فاز: متشکل از دو جزء متحرک وات سنج است که در یک جعبه قرار گرفته اند و دو پیچک متحرک بر روی یک محور سوارند. در این وات سنج دو پیچک جریان و دو پیچک فشار وجود دارد.

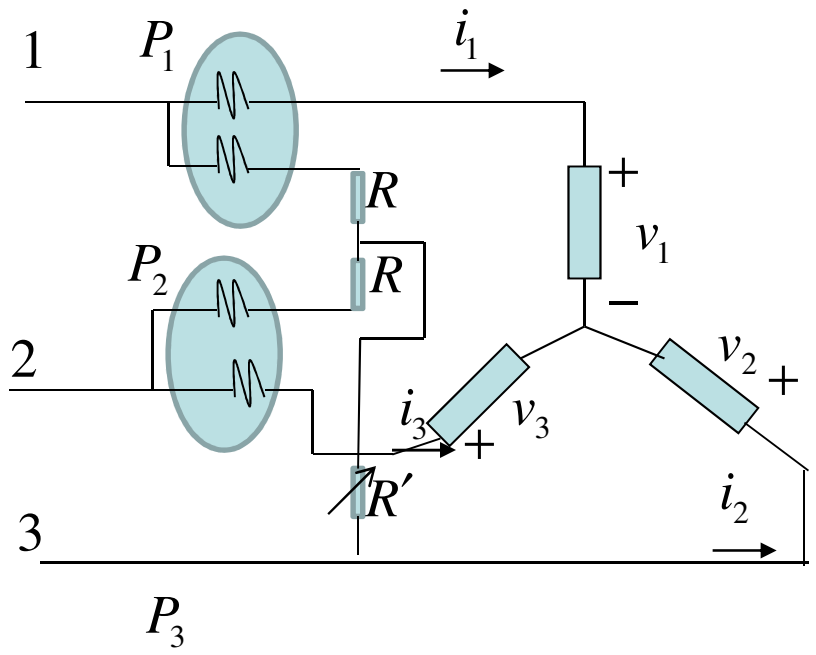
اتصال ۲ عنصر وات سنج سه فاز، همانند اتصال روش دو وات سنجه با استفاده از دو وات سنج تکفاز است

گشتاور اعمال شونده به هر عنصر متناسب با توانی است که آن عنصر اندازه گیری می کند. گشتاور کلی که به سیستم انحراف می دهد مجموع گشتاور انحراف دهنده دو عنصر است

گشتاور انحراف دهنده عنصر ۱ $\propto p_1$

گشتاور انحراف دهنده عنصر ۲ $\propto p_2$

گشتاور کل $\propto (p_1 + p_2) \propto P$



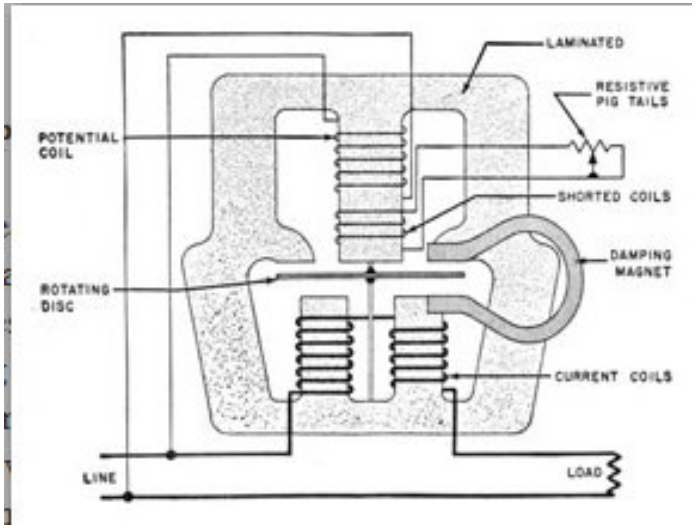
وات ساعت سنج القایی تک فاز

سیستم محرک: مشتمل بر دو آهنربای الکتریکی است. پیچک یکی از این آهنرباها را جریان بار تحریک می کند که به آن پیچک جریان گویند. پیچک آهنربای دوم بین دو سر منبع وصل شده که به آن پیچک ولتاژ اطلاق می گردد و جریانی متناسب با ولتاژ از آن عبور می کند. دو آهنربای فوق را به ترتیب آهنربای متوالی و شنت نامگذاری می کنند.

سیستم متحرک: یک دیسک آلومینیمی که در فضای بین دو آهنربا حرکت می کند و بر روی یک محور سوار می باشد. یک چرخ دهنده واسطه محور را با مکانیزم ثبت یا شمارش درگیر می کند.

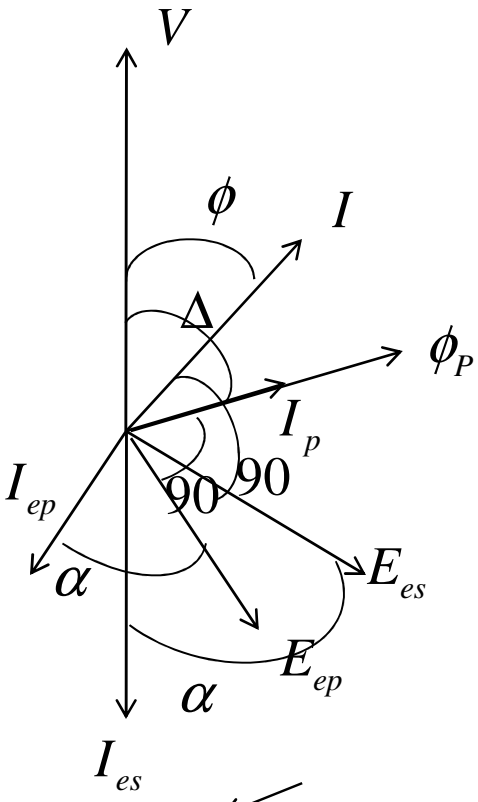
سیستم ترمز کننده: آهنربای دائم که نزدیک لبه دیسک قرار دارد.

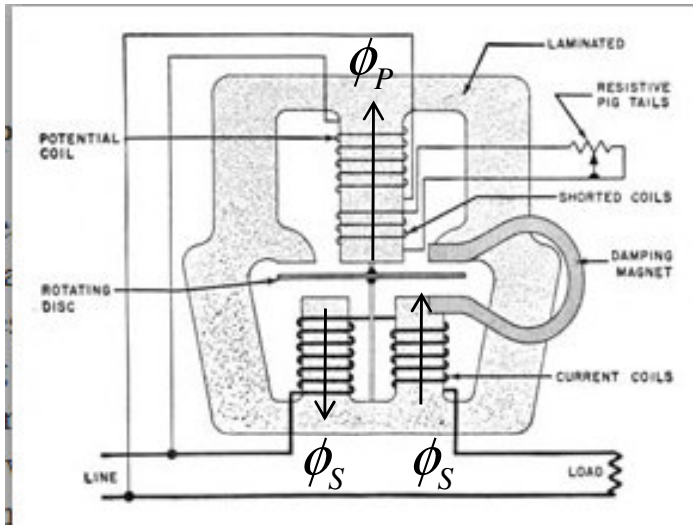
مکانیزم ثبت یا شمارش: پیوسته عددی را متناسب با چرخشهای سیستم ثبت می کند.

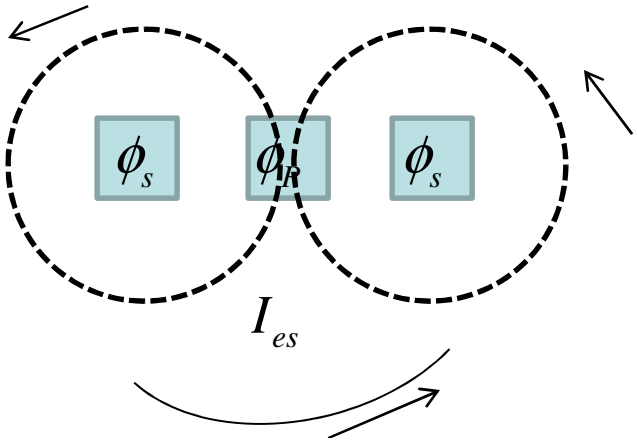


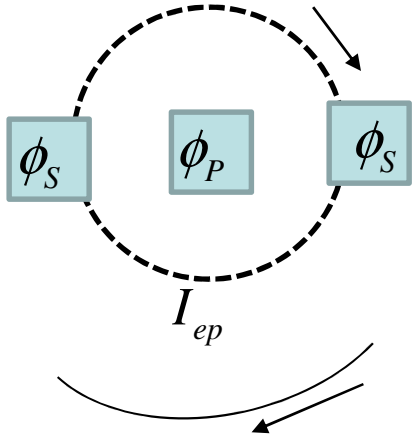
وات ساعت سنج القایی تک فاز

مبنای کار:







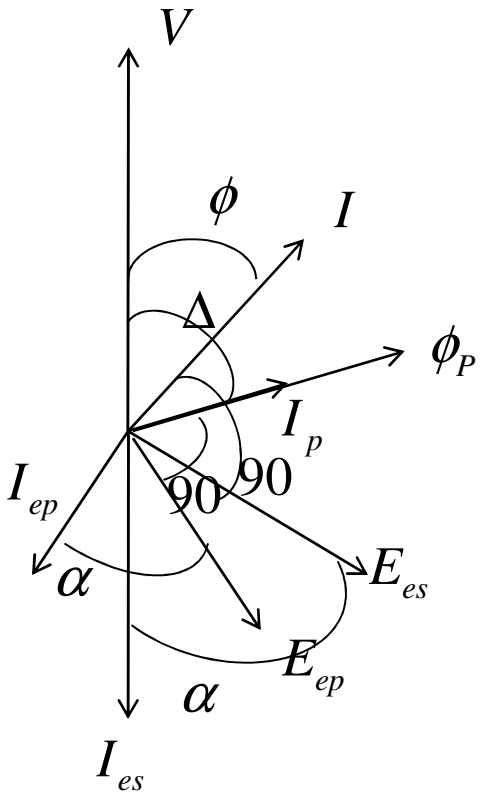


گشتاور

وات ساعت سنج القایی تک فاز

مبنای کار:

گشتاور محرک بصورت زیر خواهد بود:



$$T_d \propto \phi_1\phi_2 \frac{f}{Z}\sin\beta\cos\alpha = K_1\phi_1\phi_2 \frac{f}{Z}\sin\beta\cos\alpha$$

β : **اختلاف فاز مابین شارهای** ϕ_1 **و** ϕ_2

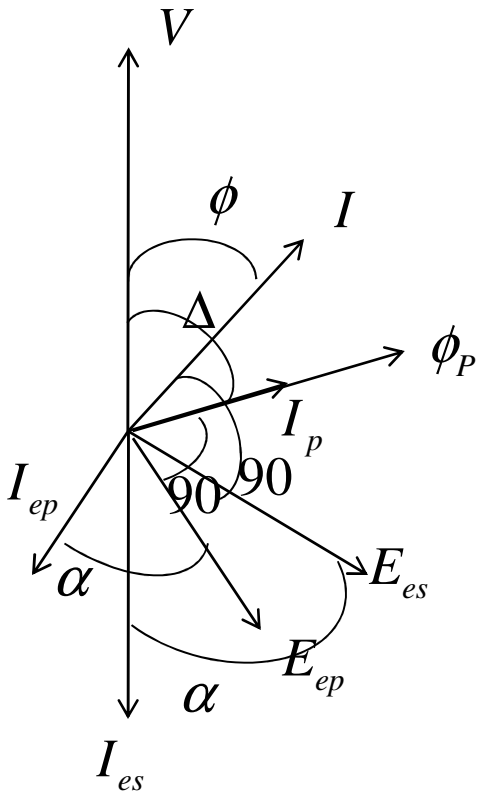
$$\beta = \Delta - \phi$$

$$T_d = K_1\phi_p\phi_s \frac{f}{Z}\sin(\Delta-\phi)\cos\alpha$$

$$\phi_p \propto V, \phi_s \propto I$$

وات ساعت سنج القایی تک فاز

مبنای کار:



گشتاور محرک بصورت زیر خواهد بود:

$$T_d = K_1 VI \frac{f}{Z} \sin(\Delta - \phi)\cos\alpha$$

چون f, Z, α **ثابت هستند**

$$T_d = K_3 VI \sin(\Delta - \varphi)$$

گشتاور ترمز کننده در حالت مانا

$$T_4 = K_4 N$$

در سرعت مانا:

$$K_4 N = K_3 VI \sin(\Delta - \phi)$$

اگر $\Delta = 90^\circ$

$$N = KVI \sin(90 - \phi) = KVI \cos\phi = K * (power)$$

برای اینکه تعداد دور گردش متناسب با توان باشد باید زاویه $\Delta = 90^\circ$ **گردد**

وات ساعت سنج القایی تک فاز

مبنای کار:

پس کل دورها برابر خواهد بود با:

$$\int Ndt = K\int VI\sin(\Delta-\phi)dt = K\int(VI\cos\phi)dt = K*\int powre = energy$$