فصل پنجم

اندازه گيري توان و انرژي

اين مبحث در کتاب نيست . از Cooper يا ساوني بخوانيد.

اندازه گيري توان و انرژي

مطالب :

- مقدمه

ـ واتمتر الكترو دينامومتري

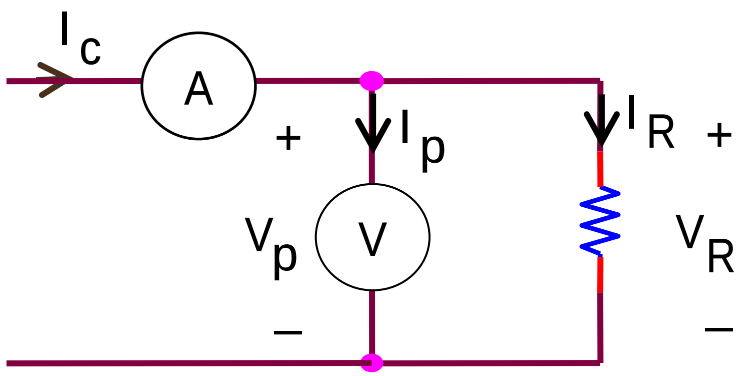
ـ اندازه گيري توان در سيستم 3 فاز

ـ اندازه گيري انرژي(كنتور)

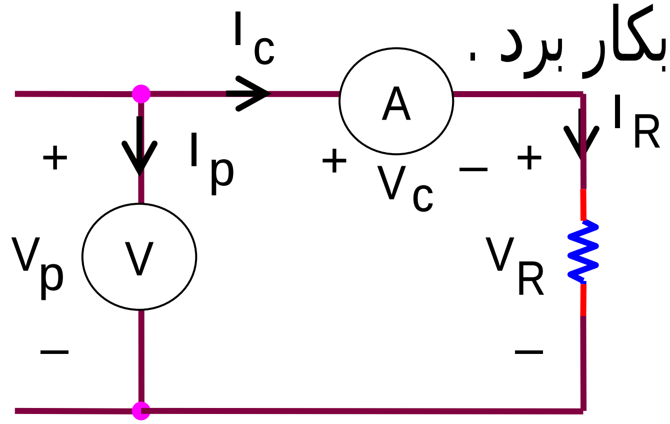
ـCosΦ متر

مقدمه :

براي اندازه گيري توان يك بار مقاومتي دريك شبكة DC مي توانيم ولتاژ و جريان را اندازه بگيريم . براي اين منظور دو روش را مي توان بكار برد .



1



2

1) $P_m = I_C V_P = (I_R + I_P) V_R = P_R + P_P$ where $P_P = \frac{V_R^{\ 2}}{R_V}$

2) $P_m = I_C V_P = (V_R + V_C) I_R = P_R + P_C$ where $P_C = R_A I_R^{\ 2}$

همانطور كه ملاحظه مي شود در هر دو روش P_m (تواني كه مي خوانيم) بيش از P_R (تواني كه واقعا در بار مصرف مي شود) است .

اگرجريان بار زياد باشد و ولتاژ آن كم روش اول بهتر است.
اگر جريان بار كم باشد و ولتاژ آن زياد روش دوم بهتر است.

معمولاً روش (1) را ترجيح مي دهيم :

الف) ولتمترهاي امروزي مقاومت ورودي خيلي زيادي دارند .

ب) اگر ولتاژ ثابت باشد اما بار متغير باشد مقدار $P_P = V^2 / R_V$ ثابت است و مي توان مقدار آنرا در حالت بي باري اندازه گرفت و از تمام قرائتها كم كرد.

معمولا بجاي اين كار از واتمتر استفاده مي كنيم كه ديگر احتياج به ضرب اعداد در هم نداشته باشيم و صحت هم بهتر است.

اندازه گيري توان و انرژي

مطالب :

- مقدمه
- واتمتر الكترو ديناموتري
- اندازه گيري توان در سيستم 3 فاز
- اندازه گيري انرژي (كنتور)
- CosΦ متر

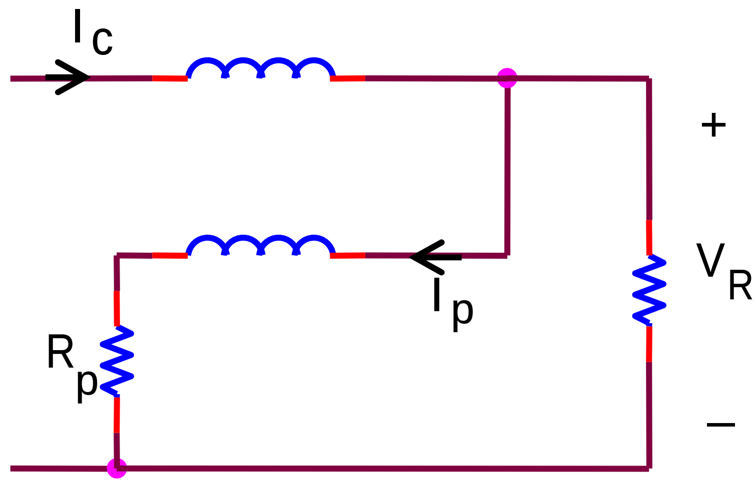
واتمتر الكترو دينامومتري:

متداولترين نوع واتمتر است كه مي تواند توان DC يا AC (سينوسي يا غير سينوسي) را اندازه بگيرد . (نوعهاي ديگر: اندوكسيوني، ترموكوپلي، الكترواستاتيكي، فرومغناطيسي)

ديديم كه درالكترو دينامومتر :

$$T = \frac{dM}{d\theta} I_C I_P$$

$$\theta = \frac{1}{S} \frac{dM}{d\theta} I_C I_P$$



حال اگر $I_c = I_R$ ، $I_p = V_R / R_p$ ، باشد داريم:

$$\theta = \frac{1}{S}\frac{dM}{d\theta} I_R \frac{V_R}{R_P} = K\frac{P}{R_P} \qquad \Rightarrow P = \frac{R_P}{K}\theta = \frac{\theta}{K'}$$

ولي در واقع ،

$$\theta = KI_C I_P = KI_C \frac{V_R}{R_P} \approx K\frac{I_R V_R}{R_P} = K'P$$

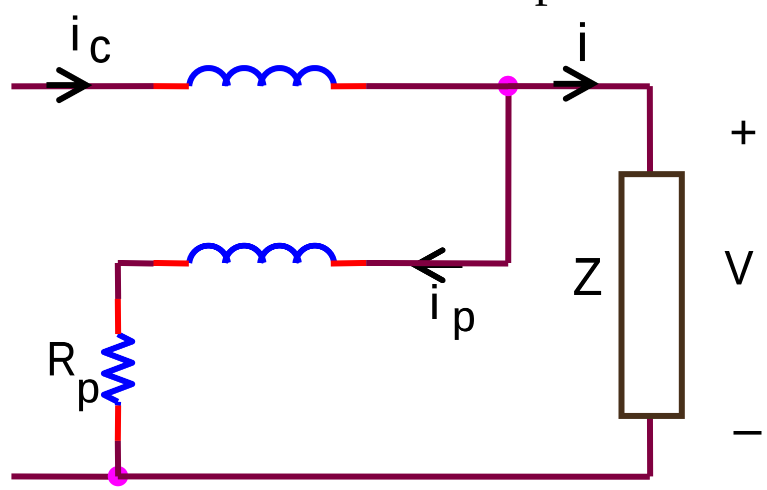
يعني $\theta \approx K'P$ در حالي که $\theta = K'P_m$ (يعني واتمتر بر اساس اين ضريب مدرج مي شود).

اگر جريانها ac باشند نيز

$$\theta = k\frac{1}{T}\int_0^T i_C i_P dt$$

و اگر $i = i_C$ و $i_P = \dfrac{V}{R_P}$ باشد داريم :

$$\theta = \frac{k}{R_P}\frac{1}{T}\int_0^T ivdt = \frac{k}{R_P}P = k'P$$



که $\dfrac{1}{T}\int_0^T ivdt$ همان تعريف توان اکتيو است که در مورد سينوسي $VICos(\varphi)$ مي شود .

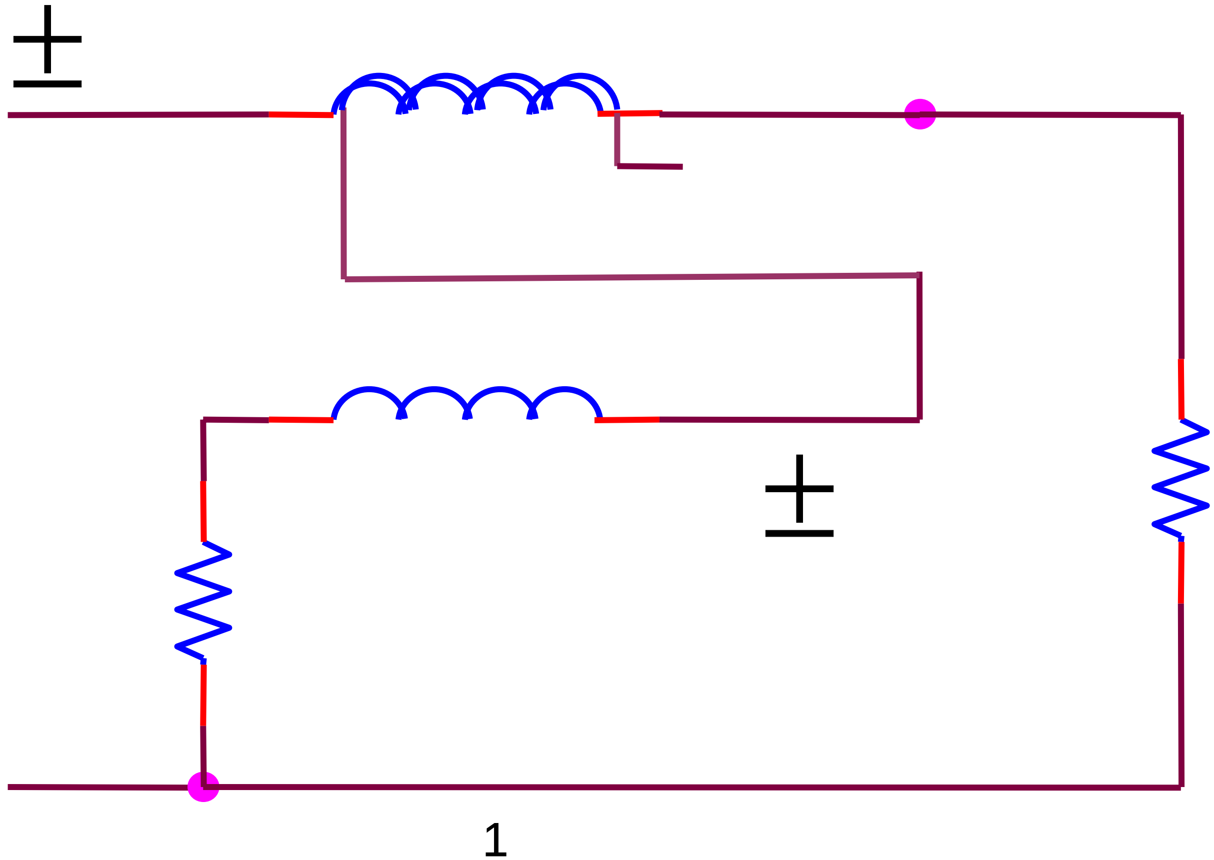
و يا :

$$P_m = \frac{R_P}{k}\theta = \frac{R_P}{T}\int_0^T i_C i_P dt$$

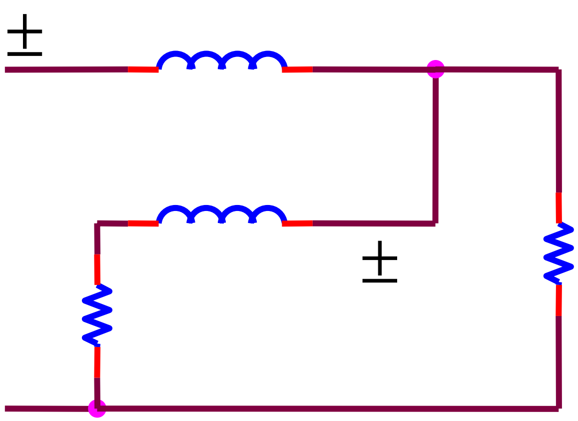
البته خطايي كه قبلا اشاره كرديم وجود دارد و در واقع :

$$\theta = \frac{k}{T}\int_0^T i_C i_P dt \approx \frac{k}{R_P}\frac{1}{T}\int_0^T i_C v dt \approx \frac{k}{R_P}\frac{1}{T}\int_0^T i v dt = k'P$$

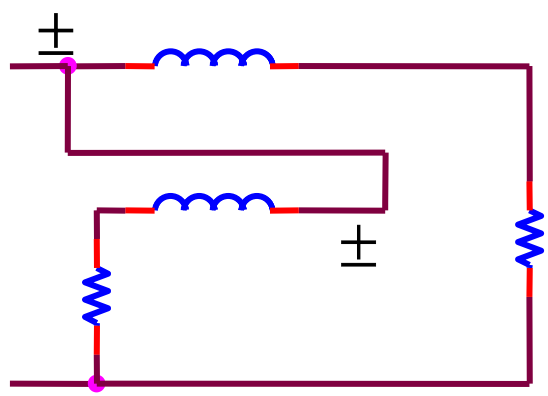
در اينجا نيز $P_m = \frac{R_p}{k}\theta$ ولي $P \approx \frac{R_p}{k}\theta$


±
±
1

در اينجا هم دو جور مي توان واتمتر را بست. معمولا يک سر سيم پيچ جريان و يک سر سيم پيچ ولتاژ با علامت ± مشخص شده است. جريان وارد قطب ± سيم پيچ جريان شده و قطب ± سيم پيچ ولتاژ به يک طرف سيم پيچ جريان وصل مي شود. (اگر ديديد عقربه برعکس منحرف مي شود جهت سيم پيچ جريان را تعويض کنيد).



1



2

که گفتيم معمولا روش اول ترجيح دارد چون ولتاژ برق شهر ثابت فرض شد پس P_p ثابت است که مي توان بازاي Z_L بينهايت آن را اندازه گيري کرد و هميشه از قرائتها کم کرد.

براي حذف اثر i_p در اندازه گيري جريان توسط سيم پيچ جريان مي توان سيم پيچ پتانسيل را در جهت خلاف دور سيم پيچ جريان پيچيد تا فلوي ايجاد شده متناسب با $i = i_c - i_p$ باشد (واتمتر جبران شده).

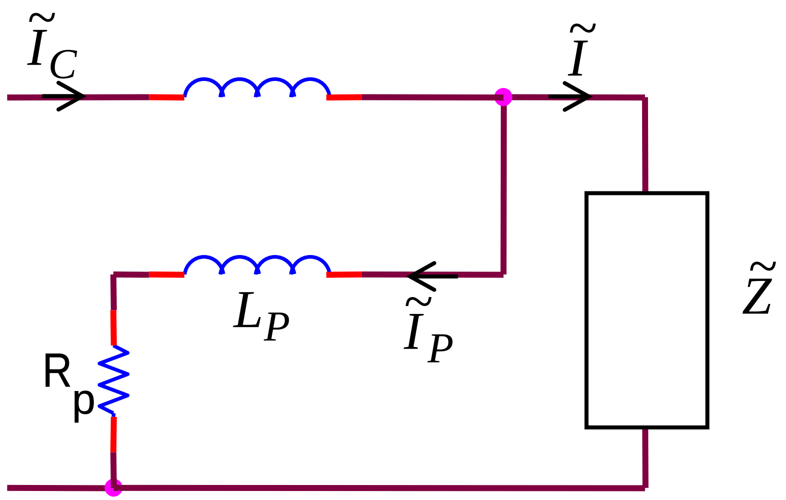
علاوه بر عامل فوق عامل ديگري که براي خطا در حالت ac داريم اين است که $i_p = V / R_p$ نيست و اندوکتانس سلف را هم داريم . در حالت سينوسي که متداولترين حالت است اين مساله را بررسي مي کنيم .

آناليز واتمتر در حالت دائمي سينوسي

$$i_C = I_C Cos(\omega t + \varphi_C) \quad \tilde{I}_C = I_C e^{j\varphi_C} \quad i_C = \mathrm{Re}\{\tilde{I}_C e^{j\omega t}\}$$

$$i_P = I_P Cos(\omega t + \varphi_P) \quad \tilde{I}_P = I_P e^{j\varphi_P} \quad i_P = \mathrm{Re}\{\tilde{I}_P e^{j\omega t}\}$$

$$v(t) = VCos(\omega t) \quad \tilde{V} = V < 0$$



دیدیم که $\theta = \mathrm{k}\frac{1}{\mathrm{T}}\int_0^{\mathrm{T}} \mathrm{i_C i_P dt}$ و $P_m = \frac{R_P}{T}\int_0^T i_C i_P dt$ اما

$$\frac{1}{T}\int_0^T i_C i_P dt = \frac{1}{2} I_C I_P Cos(\varphi_c - \varphi_P) = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\{\tilde{I}_C \tilde{I}^*{}_P\}$$

يعني :

$$P_m = \frac{R_P}{2} Re\{\tilde{I}_C \tilde{I}^*{}_P\}$$

حال براي بدست آوردن خطاي واتمتر:

$$\tilde{z} = ze^{j\varphi}$$

$$\tilde{z}_p = R_p + j\omega L_p = z_p e^{j\beta}$$

يا

$$\tilde{I}_C = \tilde{I} + \tilde{I}_P \quad \tilde{I} = \frac{\tilde{v}}{\tilde{z}} = \frac{V}{z} e^{-j\varphi} = Ie^{-j\varphi} \quad \tilde{I}_p = \frac{\tilde{v}}{\tilde{z}_p} = \frac{V}{z_p} e^{-j\beta}$$

$$P_m = \frac{1}{2} R_p \, Re\left[\left(\tilde{I} + \tilde{I}_p\right)\tilde{I}_p^{\,*}\right] = \frac{1}{2} R_P I_P^{\,2} + \frac{1}{2} R_P \, Re\left(\tilde{I}\tilde{I}_p^{\,*}\right)$$

$$= P_P + \frac{1}{2} R_P \, Re\left(Ie^{-j\varphi} \frac{V}{z_p} e^{+j\beta} \right)$$

$$= P_P + \frac{1}{2} VI \frac{R_P}{z_P} cos(\varphi - \beta)$$

$$= P_P + \frac{1}{2} VI \, cos(\beta) cos(\varphi - \beta)$$

زیرا :

$$\frac{\omega L_P}{z_P} = sin(\beta) \quad \text{و} \quad \frac{R_P}{z_P} = cos(\beta)$$

براي $\omega L_P = 0$ داريم $\tilde{z}_P = z_P = R_P$ و $\beta = 0$ ولذا:

$$P_m = P_P + \frac{1}{2} VI \cos(\varphi) = P_P + P$$

كه اين همان چيزي است كه مبحث قبل ديديم و اثر اندوكتانس L_P را در نظر نگرفته بوديم وگرنه در صورت صرف نظر از P_P داريم:(ضريب تصحيح)

$$\frac{P}{P_m} = \frac{\cos(\varphi)}{\cos(\beta)\cos(\varphi - \beta)}$$

معمولا اگرچه $L_P \neq 0$ ولي $R_P << \omega L_P$ و از تقريبي كه در ادامه خواهد آمد استفاده مي كنيم:

$$P_m = P_P + \frac{1}{2} VI \cos\beta (\cos\beta \ \cos\varphi + \sin\beta \ \sin\varphi)$$

$$= P_P + \frac{1}{2} VI \cos^2\beta (\cos\varphi + tg\beta \ \sin\varphi)$$

با فرض $R_P << \omega L_P$ بتا خيلي كوچك خواهد بود (معمولا چند دقيقه)
و لذا $\cos^2\beta \approx 1$ پس:

$$P_m \approx P_P + \frac{1}{2} VI (\cos\varphi + tg\beta \ \sin\varphi) \text{ where } \quad tg\beta = \frac{\omega L_P}{R_P}$$

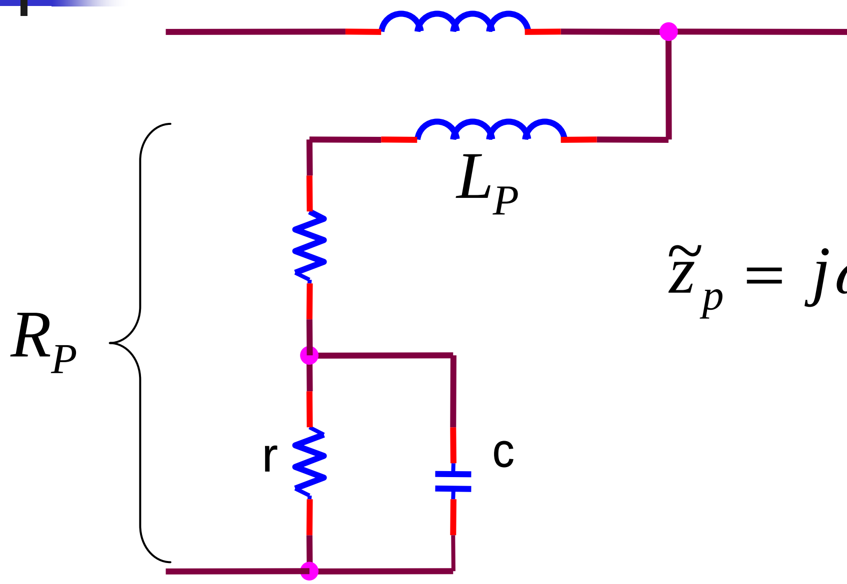
که خواهیم داشت :

$$P_m \approx P_p + P + \frac{1}{2} VI\, tg\beta \; sin\,\varphi$$

پس علاوه بر توان مصرفي در شاخه ولتمتر ، خطاي ديگر ناشي از اندوکتانس L_P مي باشد که مقدار خطا به زاويه فاز بار φ هم بستگي دارد. هر چه بار مقاومتي تر باشداين خطا کمتر خواهد بود (براي بار سلفي مثبت و براي بار خازني منفي ، سلف L_P سبب همفازتر شدن I_C و I_P مي شود).

براي جبران اندوکتانس سيم پيچ پتانسيل کاري مي کنيم که

$$z_p \approx R_p \angle 0$$



$$\tilde{z}_p = j\omega L_P + (R_P - r) + \frac{r(1 - rj\omega c)}{1 + r^2c^2\omega^2}$$

اگر $r^2c^2\omega^2 << 1$ آنگاه ،

$$z_p \approx R_P - r + r + j\omega\left(L_P - r^2c\right)$$

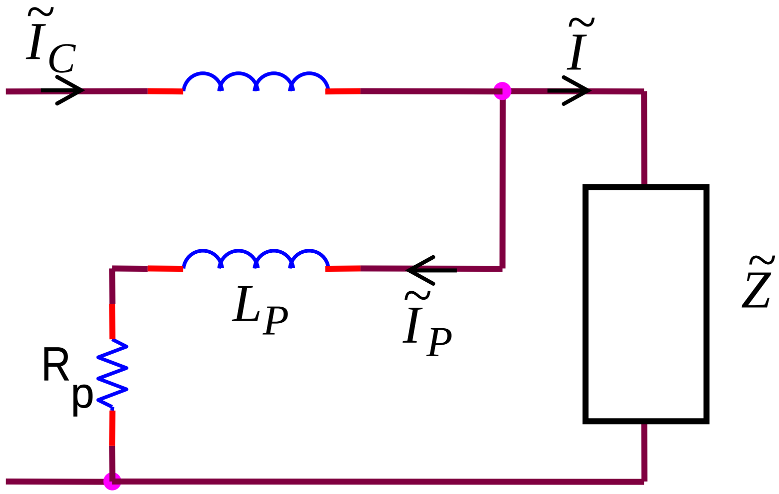
در نتیجه :

$$L_P = r^2 C$$

با این روش تا حدود فرکانس 10kHz اندوکتانس سیم پیچ جبران مي شود .

مثال :

يک وات سنج الکترودينامومتري مطابق شکل زير براي اندازه گيري توان در يک مدار تک فاز بکار رفته است . ولتاژ بار 100V و جريان بار9A و ضريب توان 0.1 پس فاز مي باشد . مدار ولتاژ واتمتر داراي مقاومت 3000 اهم و اندوکتانس 30mH مي باشد . (f=50Hz)



الف) درصد خطاي قرائت واتمتر راپيدا كنيد .

ب) در صورت صرف نظر از P_P ، براي چه ضريب تواني قرائت واتمتر صفر خواهد شد ؟

ج) چگونه مي توان خطاي ناشي از L_P را حذف كرد؟

حل :

الف)

$$P = VI\cos(\varphi) = 100 \times 9 \times 0.1 = 90W$$

$$P_m = P_P + VI\cos(\beta)\cos(\varphi - \beta)$$

$$\cos(\varphi) = 0.1 \Rightarrow \varphi = 84.26°$$

$$X_P = 2\pi(50)(30 \times 10^{-3}) = 9.42\Omega \quad , \quad R_P = 3000\Omega$$

$$\beta = tg^{-1}\left(\frac{9.42}{3000}\right) = 0.18°$$

$$P_P \approx \frac{V^2}{R_P} = \frac{100^2}{3000} = 3.33W \quad (X_P << R_P)$$

$$P_m = 3.33 + 100 \times 9 \times \cos(0.18)\cos(84.26 - 0.18) = 96.16W$$

در صد خطا $= \dfrac{96.16 - 90}{90} * 100 = \%6.8$

ب)

$$cos(\varphi - \beta) = 0 \Rightarrow \varphi - \beta = \pm 90° \Rightarrow \varphi - 0.18 = -90° \Rightarrow \varphi = -89.82$$

ج)

$$L_P = 0.03H = r^2 C$$

براي مثال :

$$C = 30nf, r = 1k\Omega, R_1 = 2k\Omega$$

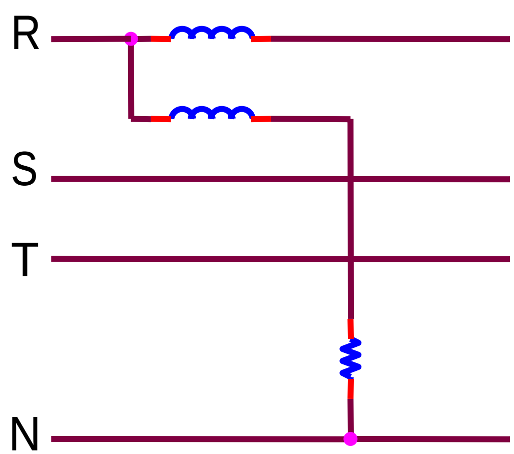
اندازه گيري توان و انرژي

مطالب :

- مقدمه
- واتمتر الكترو ديناموتري
- اندازه گيري توان در سيستم 3 فاز ←
- اندازه گيري انرژي (كنتور)
- CosΦ متر

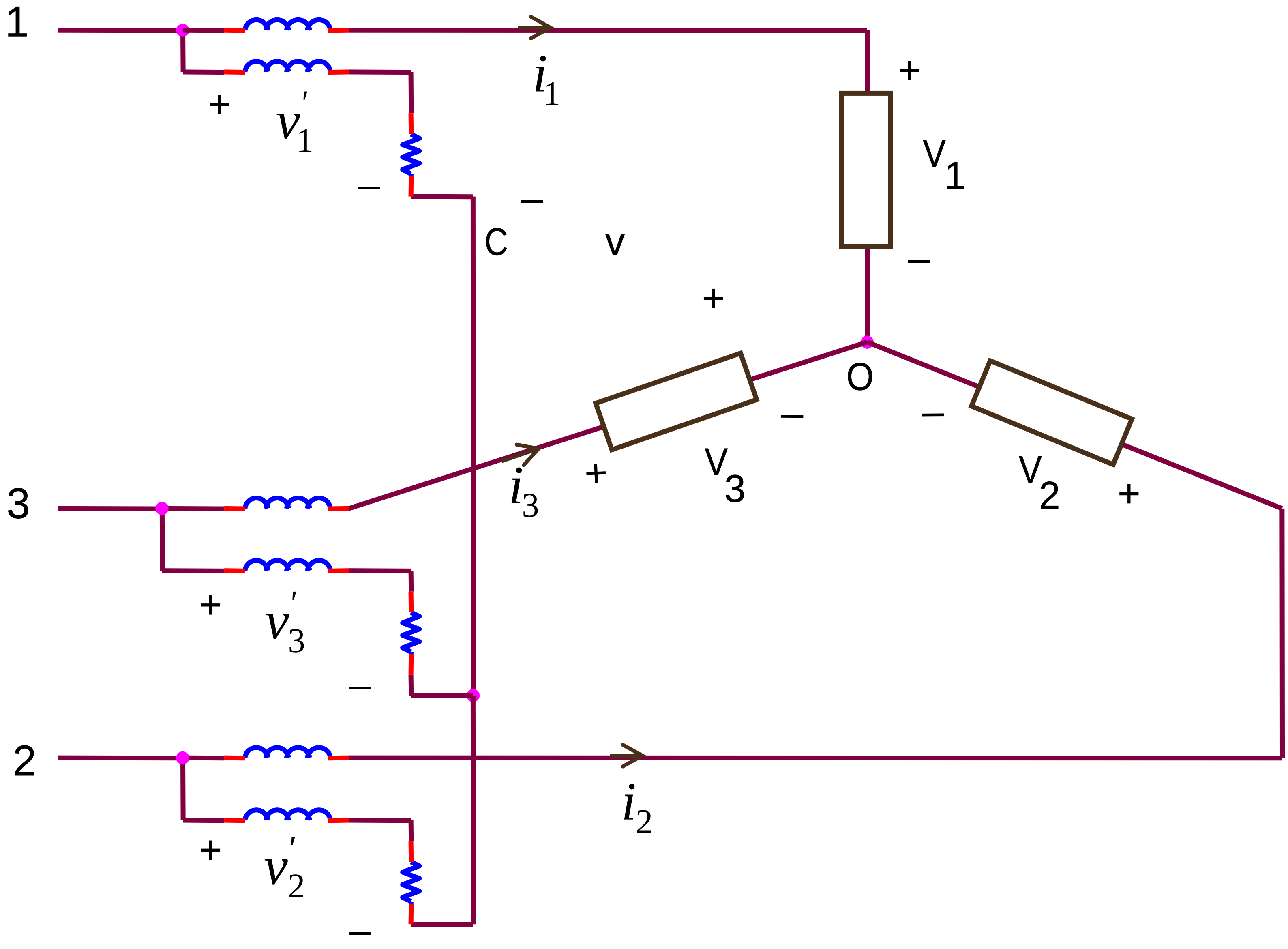
اندازه گيري توان در سيستم 3 فاز

اگر سيستم سه فاز متعادل 4 سيمه باشد مي توان توان يك فاز را با قرار دادن واتمتر بشكل زير اندازه گرفت و در 3 ضرب كرد . ولي اغلب بار نامتعادل است و از اين روش نمي توان استفاده نمود و بايد 3 واتمتر يا لااقل دو واتمتر(براي سيستم سه سيمه) داشته باشيم .



قضيه بلوندل: براي اندازه گيري توان سيستم N سيمه N-1 واتمتر كافي است. (يك سيم را مبنا قرار مي دهيم) .

روش 3 واتمتري



سرهاي پتانسيل واتمترها را به نقطه مشترك (c) وصل مي كنيم. كه مثلا مي تواند همان O باشد.

$$P_1 = \frac{1}{T}\int_0^T v'_1 i_1 dt$$

$$P_2 = \frac{1}{T}\int_0^T v'_2 i_2 dt$$

$$P_3 = \frac{1}{T}\int_0^T v'_3 i_3 dt$$

$$v'_1 = v + v_1$$

$$v'_2 = v + v_2$$

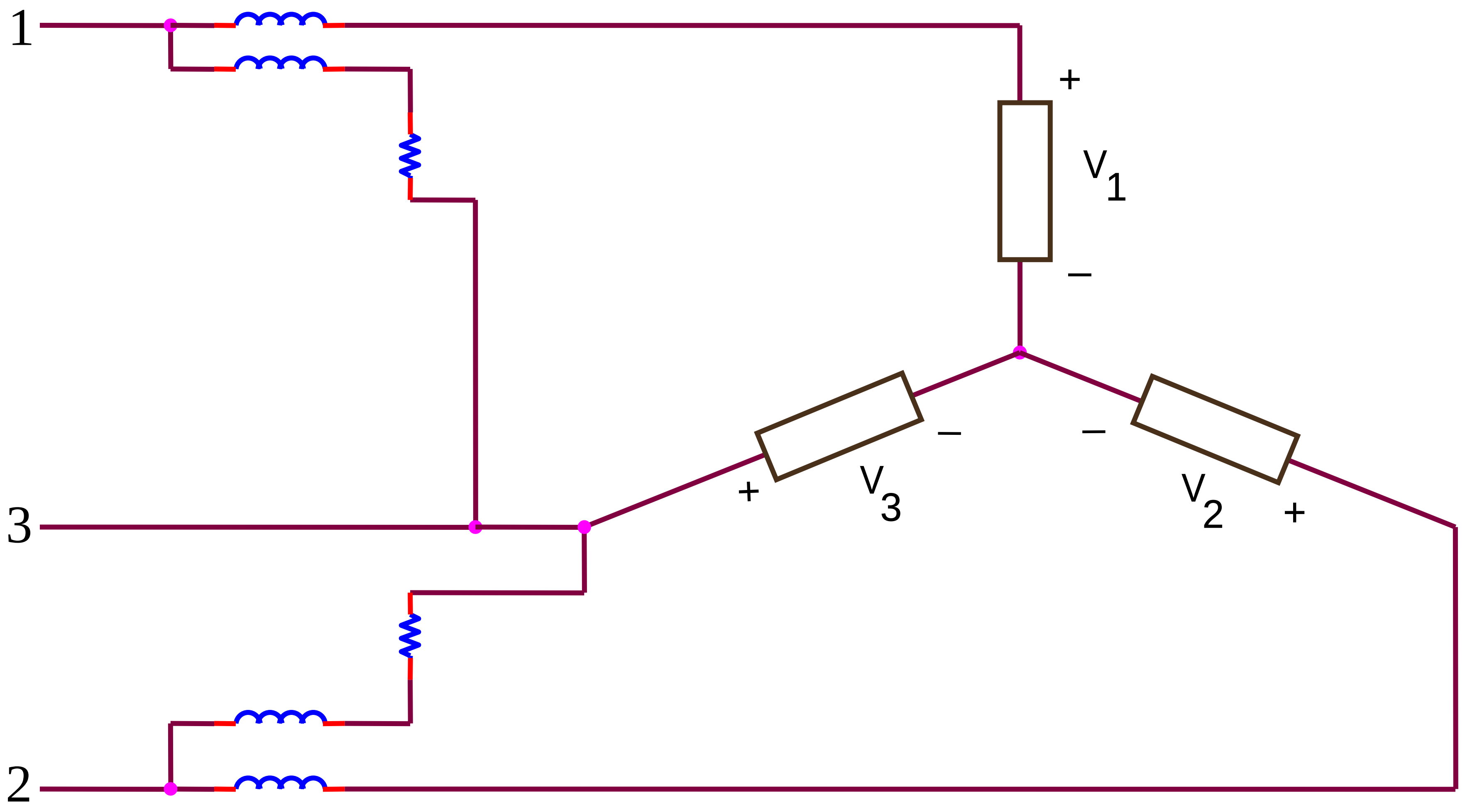
$$v'_3 = v + v_3$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = \frac{1}{T}\int_0^T \left(v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 + v\left(\underbrace{i_1 + i_2 + i_3}_{0} \right) \right) dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T \left(v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 \right) dt = P = \text{توان مصرفي بار}$$

روش 2 واتمتري

اگر نقطه مشترک سيم پيچهاي پتانسيل را روي يکي از خطوط بگيريم يک واتمتر کمتر لازم خواهد بود.



$$P_1 = \frac{1}{T}\int_0^T i_1(v_1 - v_3)dt$$

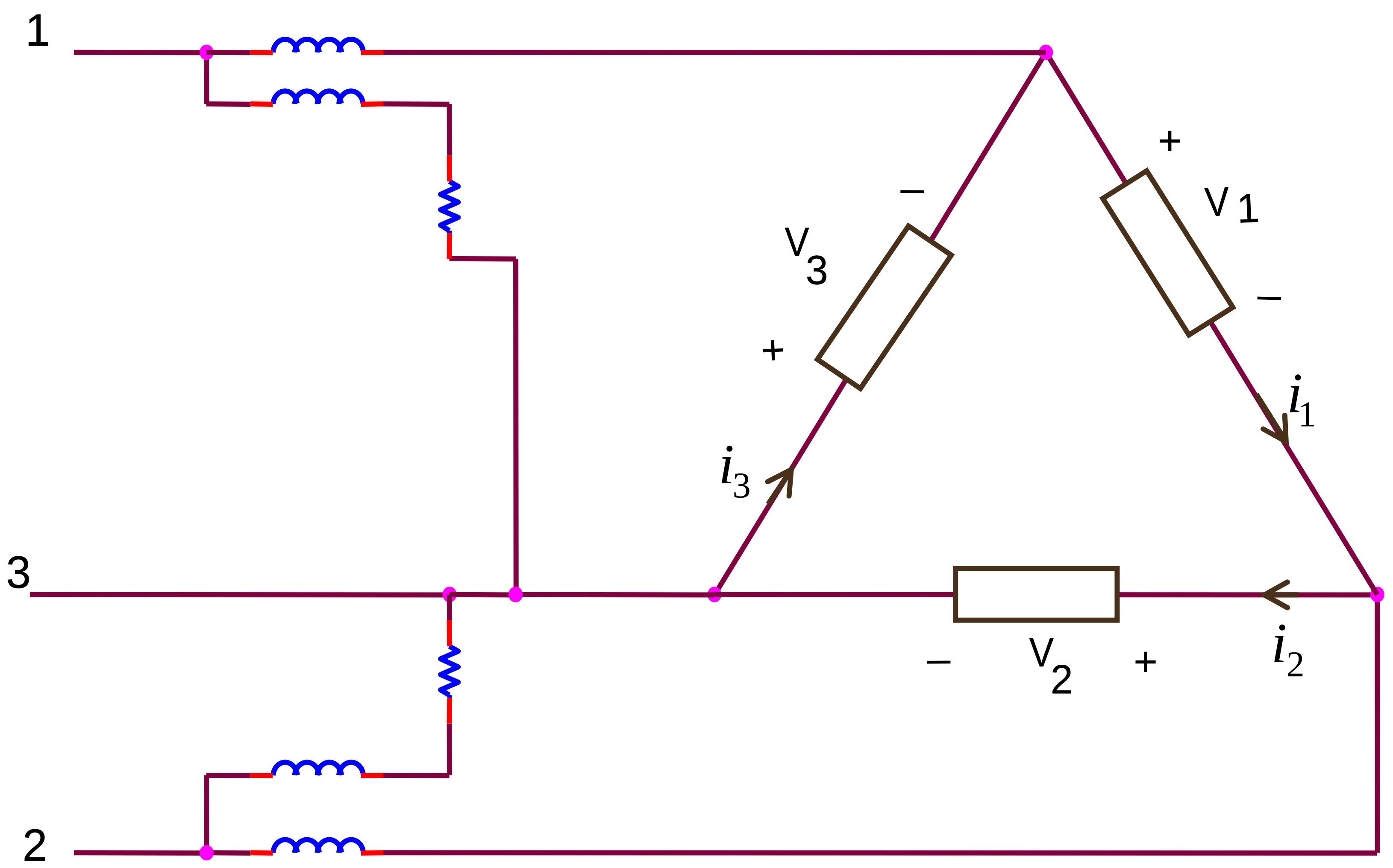
$$P_2 = \frac{1}{T}\int_0^T i_2(v_2 - v_3)dt$$

$$P_1 + P_2 = \frac{1}{T}\int_0^T \left(i_1(v_1 - v_3) + i_2(v_2 - v_3)\right)dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T \left(i_1 v_1 + i_2 v_2 + i_3 v_3\right)dt = P$$

زیرا : $i_3 = -(i_1 + i_2)$

در اتصال مثلث هم :



$$P_1 = \frac{1}{T}\int_0^T -v_3(i_1 - i_3)dt$$

$$P_2 = \frac{1}{T}\int_0^T v_2(i_2 - i_1)dt$$

$$P_1 + P_2 = \frac{1}{T}\int_0^T \left(v_3 i_3 + v_2 i_2 - i_1\left(v_2 + v_3\right)\right)dt$$

$$v_1 + v_2 + v_3 = 0$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T \left(i_1 v_1 + i_2 v_2 + i_3 v_3\right)dt = P$$

روابط فوق در حالت كلي برقرارند از جمله در حالت دائمي سينوسي .

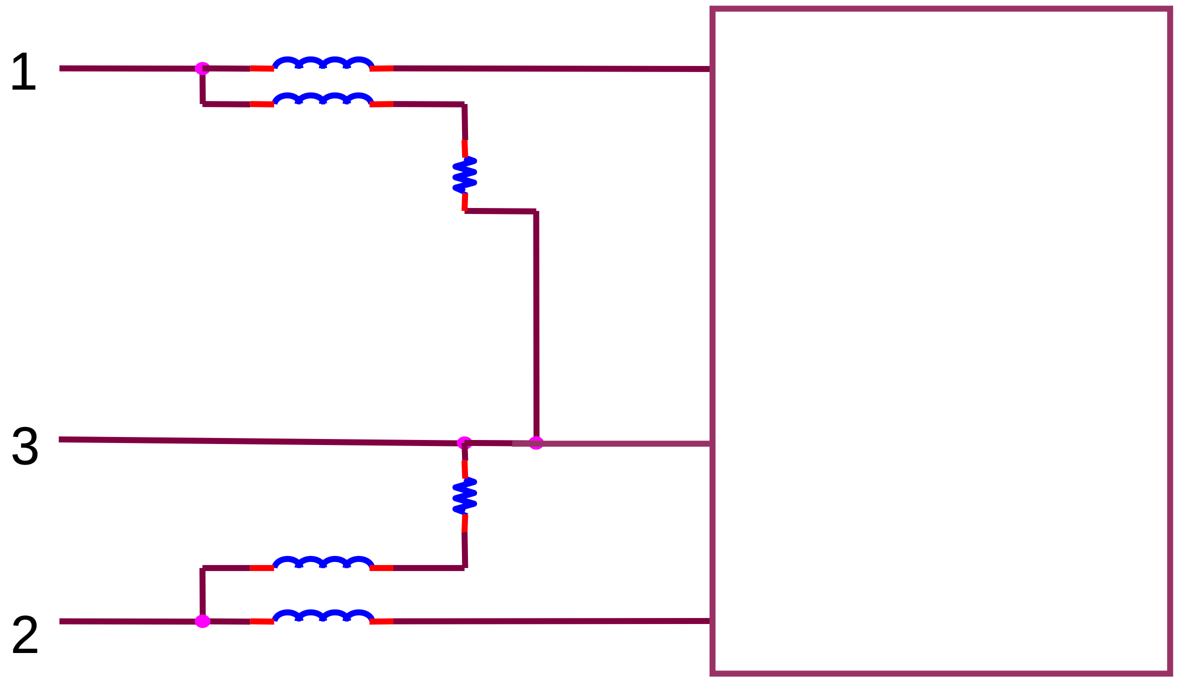
پس براي سينوسي با بار نامتعادل نيز روابط فوق برقرار بوده و $P_1 + P_2 = P$

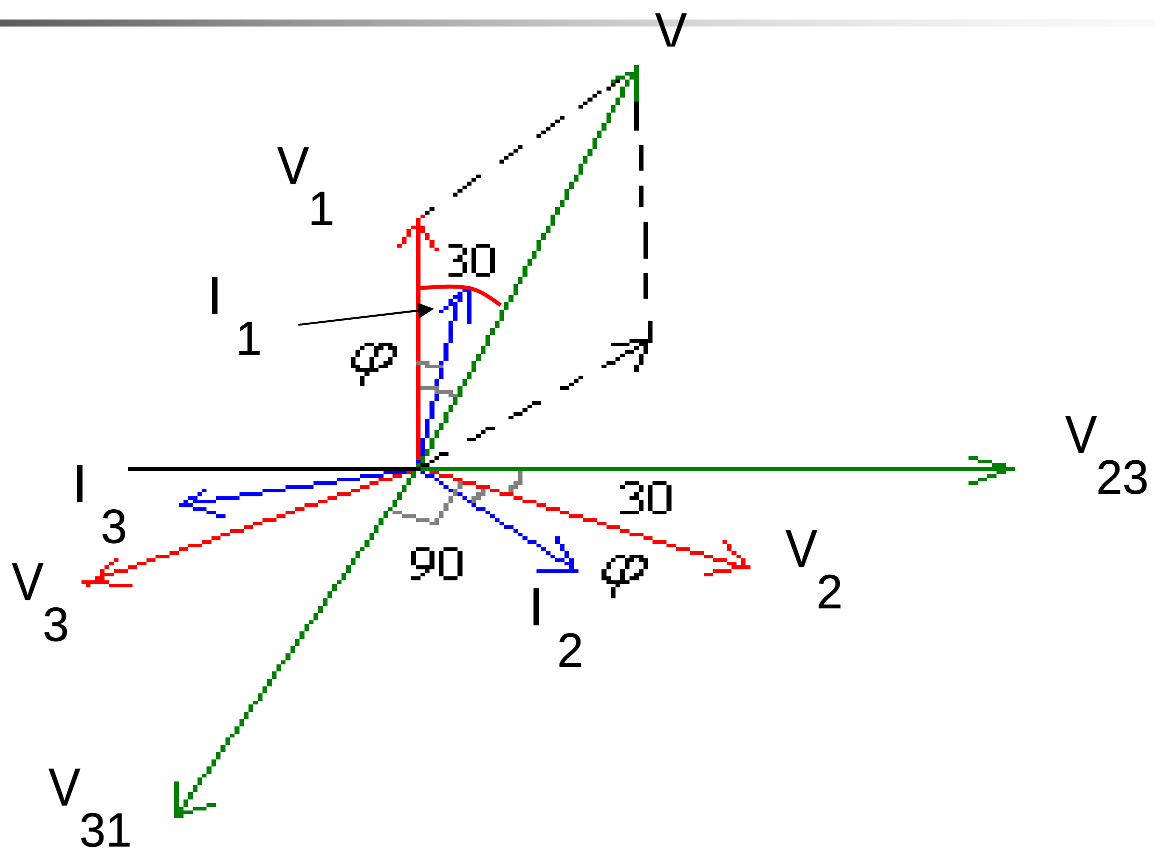
مثلا در حالت ستاره داريم :

$$P = V_1 I_1 \cos\varphi_1 + V_2 I_2 \cos\varphi_2 + V_3 I_3 \cos\varphi_3$$
$$= I_1 V_{13} \cos\varphi_{I_1,V_{13}} + I_2 V_{23} \cos\varphi_{I_2,V_{23}}$$

كه V_i و I_i ها مقادير rms هستند .

حال اگر در حالت دائمي سينوسي بار متعادل باشد ، اگر ولتاژ rms فازها را با V_1 و V_2 و V_3 نشان دهيم و جريان rms آنها را با I_1 و I_2 و I_3 نشان دهيم ، خواهيم داشت :





V
V
1
30
I
1
φ
V
23
I
3
30
V
2
V
3
90
φ
I
2
V
31

با فرض بار متعادل

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

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

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

$$P_2 = V_{23} I_2 \mathrm{C}os(30 + \varphi) = \sqrt{3}VI \cos(30 + \varphi)$$

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3}VI \left[\cos(30 + \varphi) + \cos(30 - \varphi)\right] = 3VI \cos(\varphi) = P$$

$$P_1 - P_2 = \sqrt{3}VI \sin(\varphi) = \frac{Q}{\sqrt{3}}$$

$$\Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \frac{\sqrt{3}VI \sin(\varphi)}{3VI \cos(\varphi)} = \frac{tg(\varphi)}{\sqrt{3}}$$

يعني اگر بار متعادل باشد درحالت دائمی سينوسی با روش دو واتمتري مي توان علاوه بر توان اکتيو ، توان راکتيو يا φ را نيز اندازه گرفت.

$$\varphi = 0, \cos\varphi = 1 \Rightarrow P = 3VI, P_1 = P_2 = \frac{3}{2}VI$$

$$\varphi = 60, \cos\varphi = 0.5 \Rightarrow P = \frac{3}{2}VI, P_1 = \frac{3}{2}VI, P_2 = 0$$

$$\varphi > 60, \cos\varphi < 0.5 \Rightarrow P_2 < 0$$

$$\varphi = 90, \cos\varphi = 0 \Rightarrow P_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}VI, P_2 = -\frac{\sqrt{3}}{2}VI \Rightarrow P = 0$$

$$\varphi = -60 \Rightarrow P = \frac{3}{2}VI, P_1 = 0, P_2 = \frac{3}{2}VI$$

$$\varphi < -60 \Rightarrow P_1 < 0$$

اگر واتمتري منفي نشان مي دهد ، بايد جهت يكي از سيم پيچها را عوض كرد تا قرائت مثبت شود ولي بايد علامت منفي را خودمان درنظر بگيريم.

مثال:

توان يك سيستم 3 فاز 3 سيمه متعادل به روش دو واتمتري اندازه گيري شده است. قرائت واتمتر 1 ، 7500w و قرائت واتمتر 2، 1500w- است.

الف) ضريب توان بار؟

ب) اگرولتاژ خط 400v باشد چه ظرفيتي(خازني) درهر فاز بايد اضافه كرد تا كل توان اندازه گيري شده روي واتمتر 1 ظاهر شود ؟

الف)

$$P_1 = 7500w, P_2 = -1500w$$

$$P = P_1 + P_2 = 6000w$$

$$\varphi = tg^{-1}\sqrt{3}\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = 68.9° \Rightarrow cos(\varphi) = 0.359$$

ب)

براي اين منظور بايد داشته باشيم :

$$\varphi = 60°$$

قبل از اضافه کردن خازن داریم :

ولتاژ فاز $V = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231v$

هر فاز $P = \frac{6000}{3} = 2000w$

$$\Rightarrow I = \frac{2000}{231 \times 0.359} = 24.11A$$

$$Z = \frac{231v}{24.1A} = 9.58\Omega$$

$$R = Z\cos(\varphi) = 3.44\Omega$$

$$X = Z\sin(\varphi) = 8.94\Omega$$

$$tg(\varphi') = \sqrt{3} = 1.73$$

$$X = Rtg(\varphi') = 3.44 \times 1.73 = 5.96$$

$$\Rightarrow Capacitor's\_Reactance = 8.94 - 5.96 = 2.98\Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi(50)(2.98)} = 1068\mu F$$

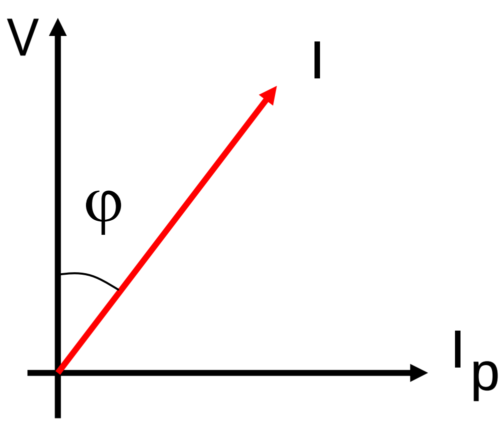
واتمتر 3 فاز:

يك واتمتر است كه داراي دو سيم پيچ ولتاژ و دو سيم پيچ جريان است و كار 2 واتمتر P1 و P2 را يكجا انجام مي دهد و حاصل جمع را به ما مي دهد.

وارمتر

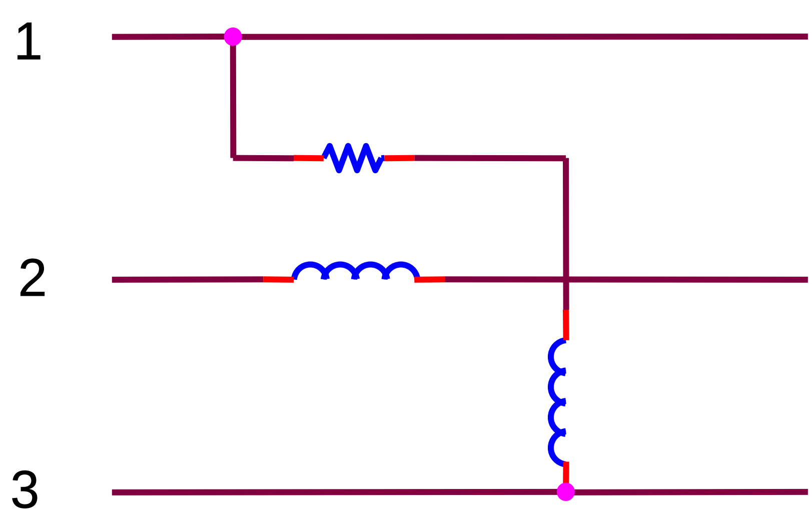
این وسیله براي اندازه گیري توان راکتیو استفاده مي شود. در واتمتر تکفاز اگر بجاي سري کردن مقاومت ، سلف بزرگي با سیم پیچ پتانسیل الکترو دینامومتر سري کنیم جریان گذرنده از سیم پیچ با ولتاژ آن تقریباً 90 اختلاف فاز خواهد داشت .

$$Q_m = VI\cos(90-\varphi) = VI\sin(\varphi)$$



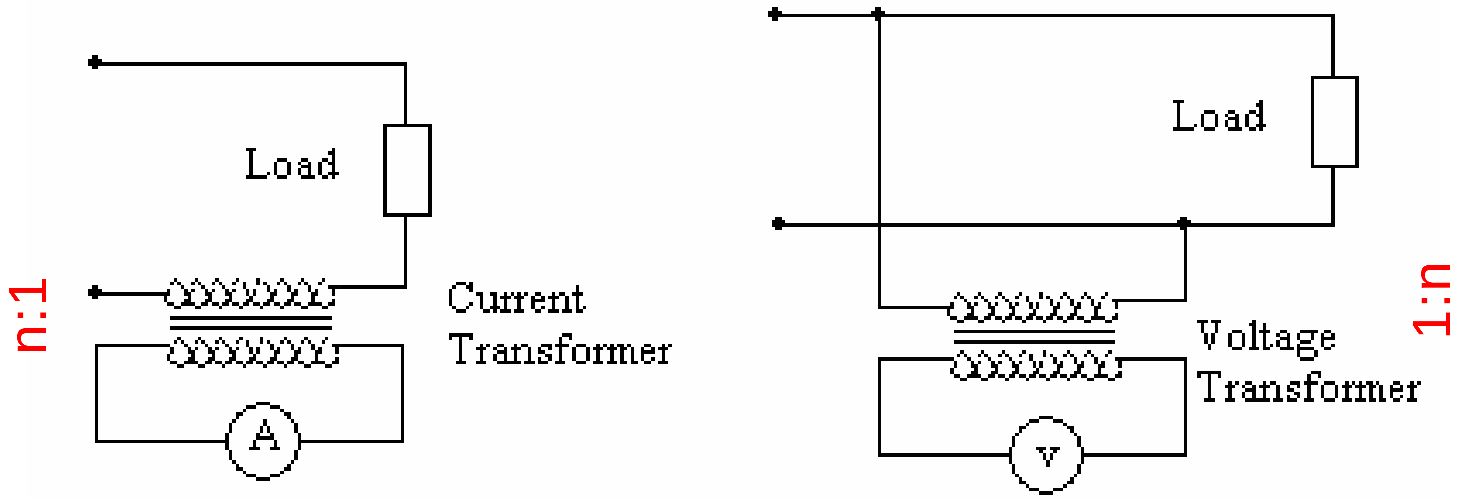
براي اندازه گيري توان راكتيو در مدار سه فاز متعادل:

$$P_m = V_{31} I_2 Cos(90-\varphi) = \sqrt{3} VISin(\varphi)$$

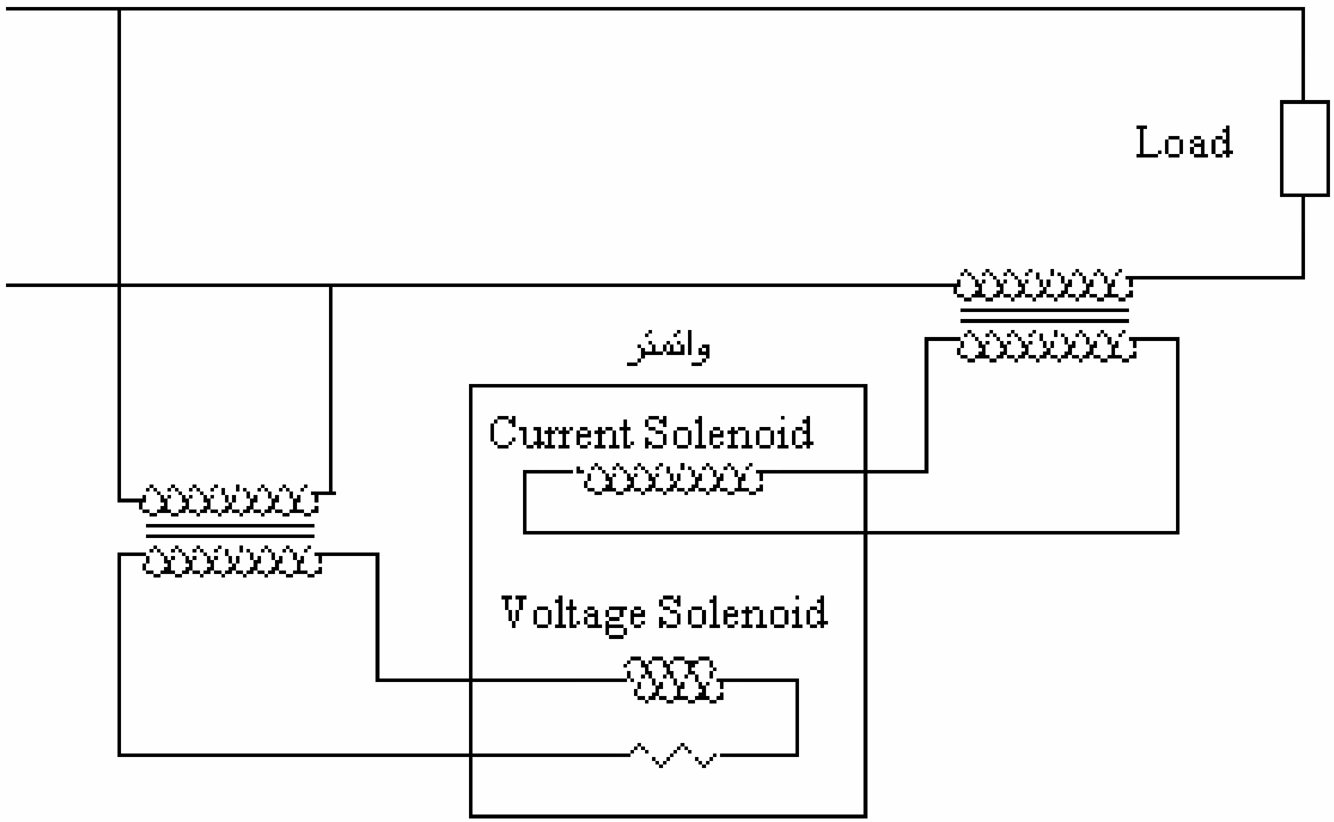


ترانسفورمرهاي اندازه گيري :

در ادواتي از قبيل الكترودينامو متر استفاده از مقاومت شنت يا ضرب كننده به دليل وجود اندوكتانس سيم پيچها ، نسبت ثابتي را با تغيير فركانس نمي دهد . راه ديگر استفاده از ترانس است كه علاوه بر نسبت ثابت ، ايزولاسيون هم ايجاد مي كند وگرنه آوردن يک ولتاژ خيلي زياد به دستگاه هم خطرناک است و هم در ابعاد كوچک دستگاه عايقها تحمل نمي كنند.



n:1
Load
Current Transformer
A
Load
Voltage Transformer
V
1:n


Load
واتمتر
Current Solenoid
Voltage Solenoid

ترانس جريان ترانسي است كه تعداد دور ثانويه بيشتر از اوليه است و طوري طراحي شده است كه در حالت اتصال كوتاه ثانويه (آمپرمتر يا رله يا ...) بتواند كار كند (جريان زيادي رد مي شود). هرگز نبايد ثانويه ترانس جريان را زير بار مدار باز كرد والا emf بزرگي كه ايجاد مي شود مي تواند عايق را به شكست ببرد. اصولا اگر مقاومت بار ترانس جريان ، بزرگ باشد با توجه به جرياني كه از ثانويه مي گذرد (1/n جريان اوليه) RI^2 زياد شده و ولتاژ زياد حاصله ترانس را مي سوزاند . مثلا اگر نسبت 1 به 100 باشد و اوليه 5A باشد ، جريان ثانويه 0.05A خواهد بود كه براي R=100K , توان 250 وات و ولتاژ 5KV مي شود.

ترانس ولتاژ ترانسي است با تعداد دور اوليه بيشتر از ثانويه که طوري طراحي شده است که در حالت مدارباز بودن ثانويه بتواند کار کند(جريان چندان رد نمي شود ولي اختلاف پتانسيل زياد است).ضمناً وجود ترانسهای فوق سبب کاهش اثر بارگذاري شده است.

بعضا در ترانس جريان براي اينکه مجبور به قطع سيمي که مي خواهيم جريان آنرا اندازه بگيريم نشويم از خود آن سيم بعنوان اوليه استفاده مي کنند اما ترانس ، dc را عبور نمي دهد و حتي وجود dc باعث اشباع مغناطيسي مي شود لذا در پروبهاي جريان و هرجا احتياج به تبديل جريان با پاسخ فرکانسي شامل dc داشته باشيم از اثر هال استفاده مي شود. اولين clip-on milliammeter اثر هال را HP در سال 1958 به بازار داد .

اندازه گيري توان و انرژي

مطالب :

- مقدمه
- واتمتر الكترو ديناموتري
- اندازه گيري توان در سيستم 3 فاز
- اندازه گيري انرژي (كنتور)
- CosΦ متر

اندازه گيري انرژي(كنتور)

انرژي، انتگرال توان برحسب زمان است.

$$W(t)=\int_0^t P(t')dt'$$

مبناي محاسبه قيمت ، ميزان مصرف انرژي بر حسب kwh است. متداولترين وسيله اندازه گيري انرژي الكتريكي ، كيلووات ساعت متر اندوكسيوني (كنتور اندوكسيوني) است .

كيلووات ساعت متر اندوكسيوني :

دراين دستگاه يك صفحة چرخنده داريم كه سرعت چرخش آن متناسب است با توان مصرفي بنابراين تعداد دور زده شده متناسب با انرژي مصرفي خواهد بود . دراينجا برخلاف واتمتر كه گشتاور مقاوم درآن متناسب با θ بود، گشتاور مقاوم متناسب با dθ/dt است.

اصول کار موتور اندوکسیوني :

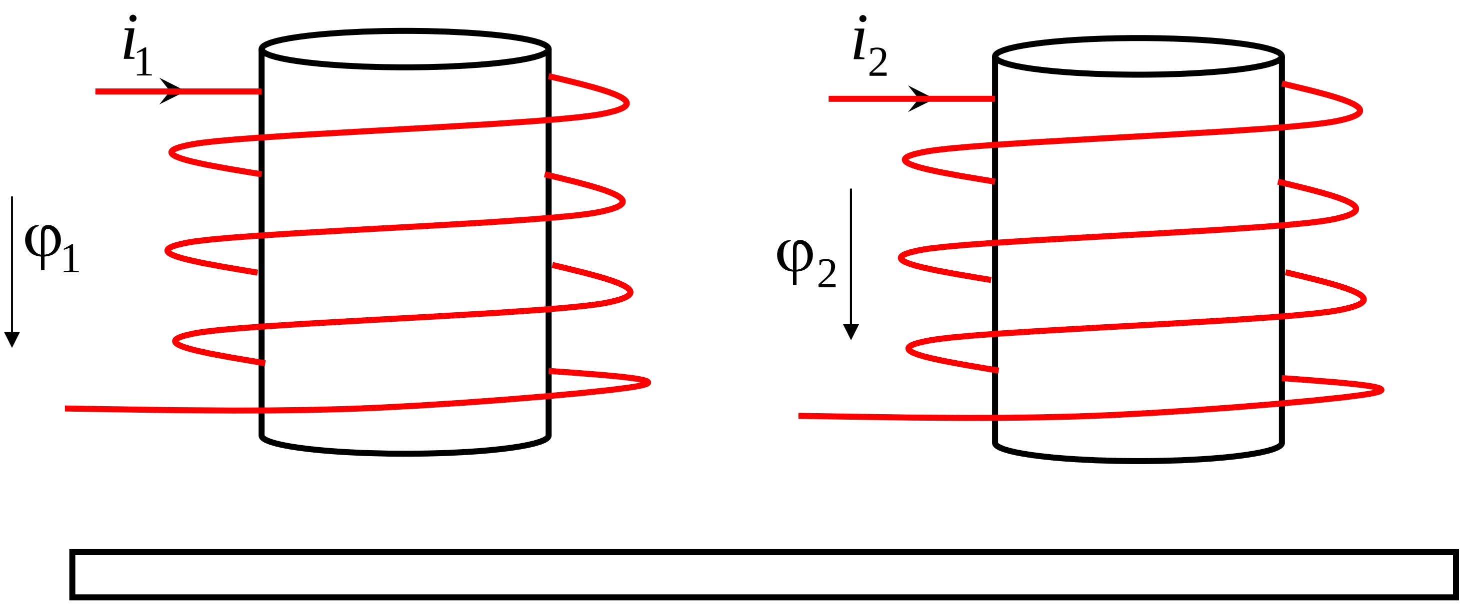
اگر حلقه اي حاوي جريان i داخل ميدان مغناطيسي B قرار بگيرد، گشتاوري برابر با BAi برآن وارد مي شود. بعبارت ديگر گشتاور وارده متناسب است با φi
و اگر φ و i هر دو ac باشند و داشته باشيم:

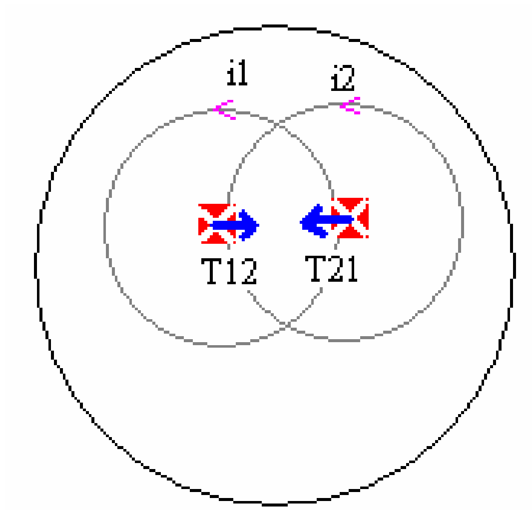
$$\varphi = \Phi \sin \omega t$$

$$i = I \sin(\omega t - \alpha)$$

$$\Rightarrow \quad \text{گشتاور متوسط} \propto \frac{1}{T}\int_0^T \varphi(t) i(t) dt = \frac{1}{2}\Phi I \cos(\alpha)$$

* در كنتور از دو سيم پيچ و يك صفحة دوار آلومينيومي به شكل زير استفاده مي شود(قراردادهاي جهت مثبت φ و i):





چون φ_1 و φ_2 متغير با زمان هستند، ايجاد emf القايي و نتيجتاً جريان فوكو در صفحة آلومينيومي مي كنند . با فرض كاملا مقاومتي بودن مسير جريان و صرف نظر از اندوكتانس مسير :

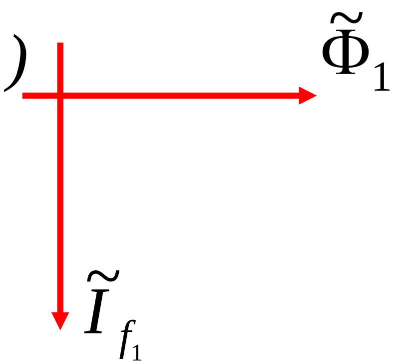
$$e_1 = -\frac{d\varphi_1}{dt} \quad i_{f_1} = \frac{e_1}{R_1}$$

كه R_1 مقاومت مسير است.

اگر:

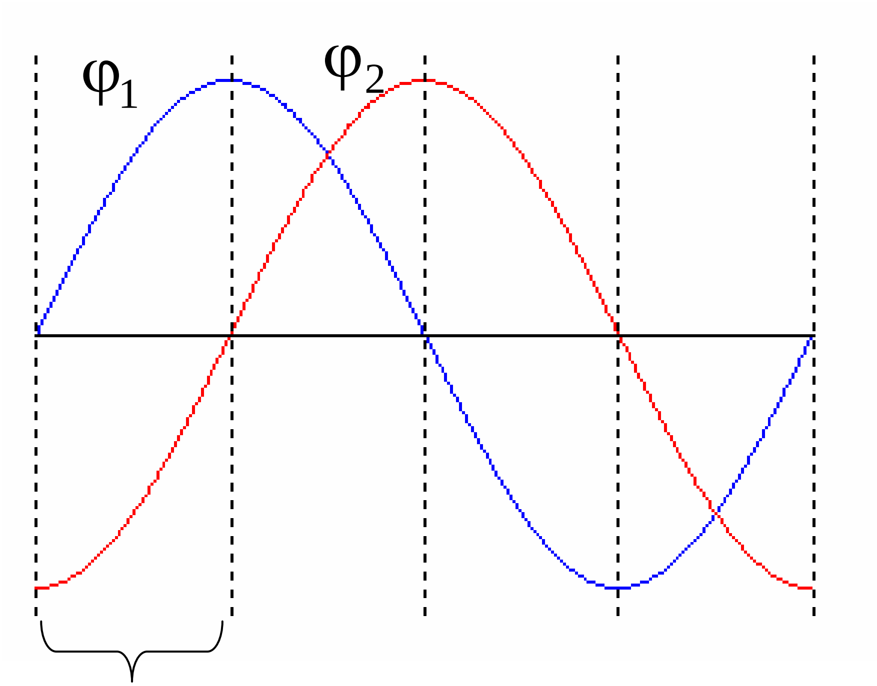
$$\varphi_1 = \Phi_1 \sin(\omega t)$$

$$\Rightarrow i_{f_1} = -\frac{\omega \Phi_1}{R_1} \cos \omega t = \frac{\omega \Phi_1}{R_1} \sin(\omega t - 90) = I_{f_1} \sin(\omega t - 90)$$



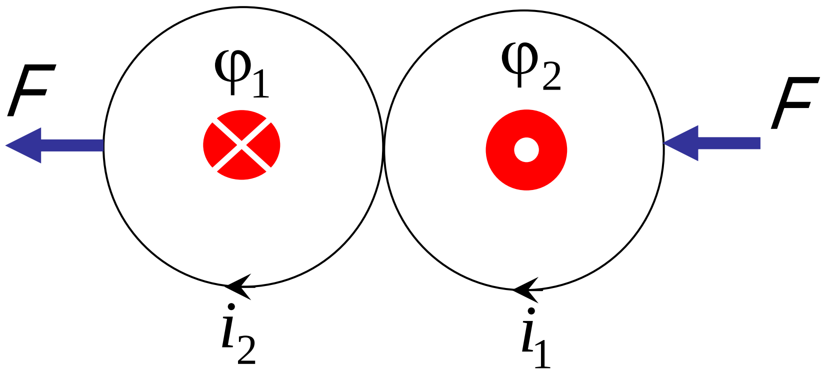
به همین ترتیب $\tilde{I}_{f_2}$ ، 90 درجه پس فاز از $\tilde{\varphi}_2$ است. ملاحظه مي کنید که با توجه به زاویه 90 درجه اي بین $\tilde{I}_{f_2}$ و $\tilde{\varphi}_2$ گشتاور حاصل از آنها صفر است (در واقع مسیرهاي فوکو کاملا مقاومتي نیستند و اینها قدري ایجاد ترمز مي کنند).

اما اگر $\tilde{\varphi}_1$ و $\tilde{\varphi}_2$ اختلاف فاز داشته باشند اثر متقابل $\tilde{I}_{f_2}$ و $\tilde{\varphi}_1$ و نیز $\tilde{I}_{f_1}$ و $\tilde{\varphi}_2$ ایجاد گشتاور محرک مي کند .

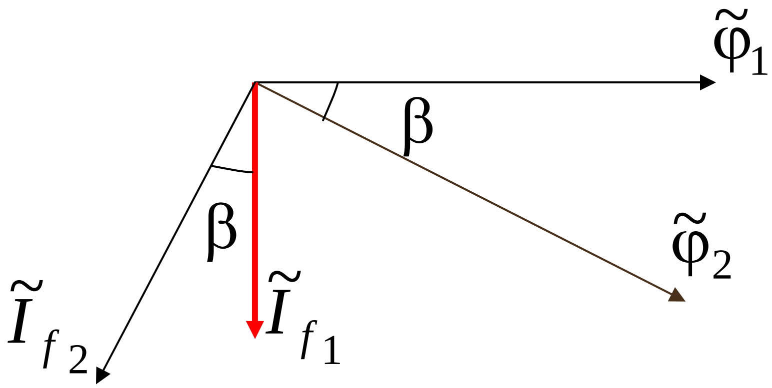


$\varphi_1 > 0, i_1 < 0, \varphi_2 < 0, i_2 < 0$

$\Rightarrow$ هم جهت T_{12}, T_{21}



اگر $\tilde{\varphi}_1$ و $\tilde{\varphi}_2$ باندازه β درجه اختلاف فاز داشته باشند ، داریم:



$$T_{12} \propto \Phi_1 I_{f_2} \cos(90+\beta) \propto \Phi_1 \Phi_2 \cos(90+\beta)$$

$$T_{21} \propto \Phi_2 I_{f_1} \cos(90-\beta) \propto \Phi_1 \Phi_2 \cos(90-\beta)$$

با نوشتن روابط خواهيم داشت :

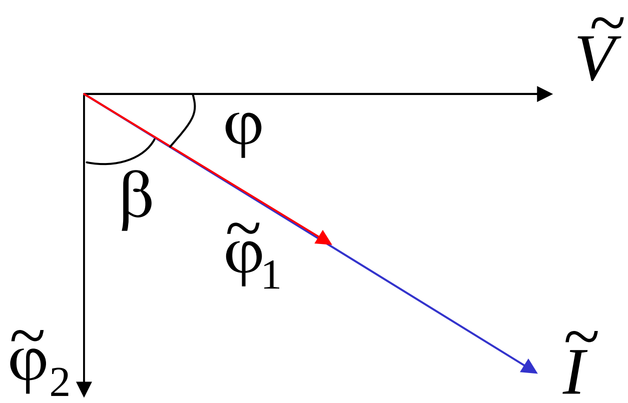
$$T \propto T_{21} - T_{12} \propto \Phi_1 \Phi_2 \, sin(\beta)$$

* اگر $\beta = 0$ باشد T=0 است. بيشترين گشتاور وقتي است كه $\beta = 90°$.

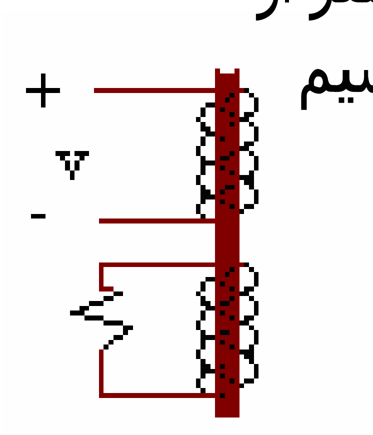
اصول کار کنتور :

در کنتور اندوکسيوني يک سيم پيچ φ_1 متناسب با جريان و φ_2 متناسب با ولتاژ ولي با اختلاف فاز 90 درجه است (سيم پيچ پتانسيل اندوکتانس زيادي دارد). مي خواهيم T متناسب با توان مصرفي باشد پس کافيست Φ_1 متناسب با جريان وΦ_2 متناسب با ولتاژ بار باشد ولي با 90 اختلاف فاز نسبت به ولتاژ بار است. لذا :

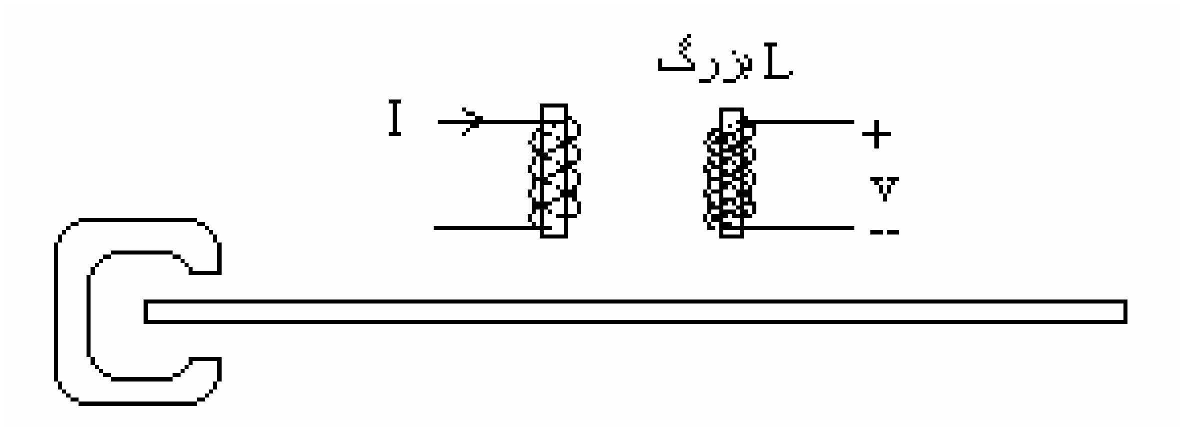
$$T \propto IV\,sin(90-\varphi) = IV\,cos(\varphi) = P$$



در واقع در سيم پيچ پتانسيل اختلاف فاز ولتاژ و جريان قدري كمتر از 90 درجه مي باشد كه براي جبران آن تمهيداتي شده است.(سيم پيچ سايه انداز در كنار سيم پيچ پتانسيل).



براي ايجاد گشتاور مقاوم از آهنرباي دائمي استفاده مي شود .



شبيه رابطه اي که براي گشتاور مقاوم حاصل از گردش سيم پيچ متحرک گالوانومتر در ميدان مغناطيسي داشتيم($\frac{(NBA)^2}{R}\frac{d\theta}{dt}$) ،

در اينجا نيز :

سرعت چرخش $\frac{d\theta}{dt} = n \propto$ گشتاورمقاوم

لذا :

گشتاور محرک=گشتاور مقاوم $\Rightarrow n \propto P$

چون سرعت چرخش صفحه متناسب با توان مصرفي است ، تعداد دور زده شده متناسب با انرژي مصرفي خواهد بود .

اگر از فنر بجاي گشتاور مقاوم استفاده مي كرديم ، واتمتر اندوكسيوني داشتيم.

با تغيير محل آهنرباي دائمي مي توان ميزان گشتاور مقاوم را تغيير داد. گشتاور مقاوم متناسب با R فاصله آهنربا از مركز است و اگر فاصله از مركز زياد گردد ، Tمقاوم بيشتر شده ، و صفحه كندتر مي چرخد . به اين ترتيب مي توان كنتور را كاليبره كرد (كاليبراسيون در بار كامل) (همچنين كاليبراسيون در 10% بار كامل توسط تنظيم سيم پيچ سايه انداز صورت مي گيرد) .

جنس آهنربا بايد بسيار خوب باشد تا در اثر گذشت زمان ضعيف نشود.
با افزايش درجه حرارت خاصيت آهنربايي كم و مقاومت مسير افزايش مي يابد ، يعني گشتاور مقاوم كم ميشود .

* دركنتور سه فاز هر فاز سيم پيچها و صفحه آلومينيومي مخصوص به خود را دارد ولي همة گشتاورهاي اين سه، به يك شفت متصل مي شوند كه در نهايت سرعت آن متناسب با كل توان مصرفي سه فاز است .

اندازه گيري توان و انرژي

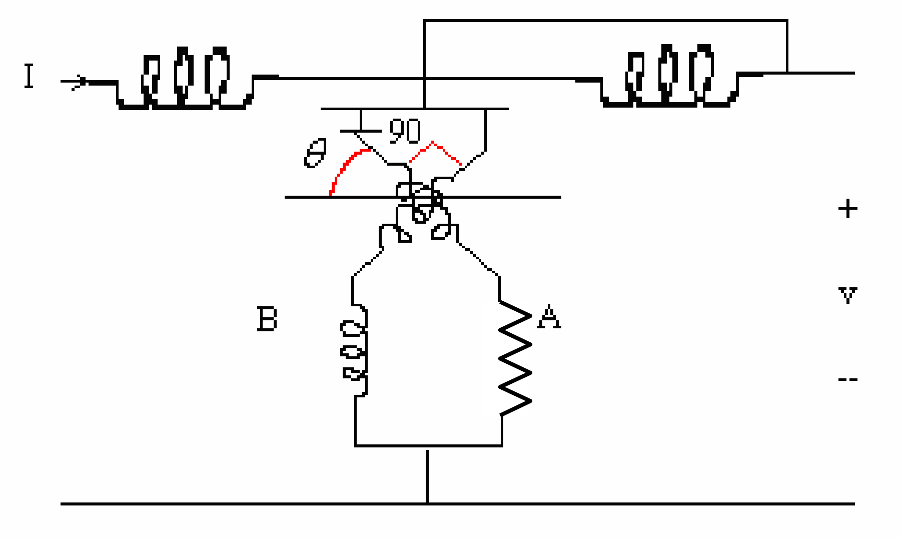
مطالب :

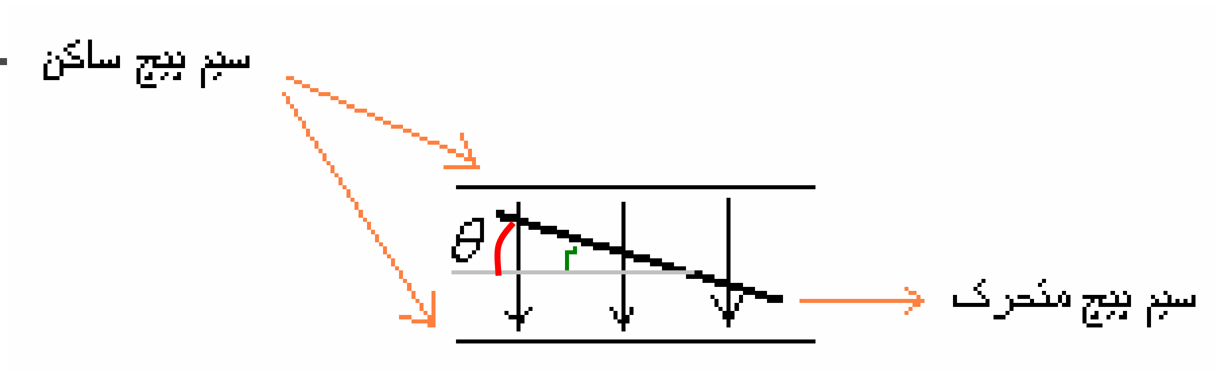
- مقدمه
- ـ واتمتر الکترو ديناموتري
- ـ اندازه گيري توان در سيستم 3 فاز
- ـ اندازه گيري انرژي (کنتور)
- ـ CosΦ متر

اندازه گيري ضريب توان

دستگاه Cosφ متر، الكترو ديناموميتري است كه بجاي يك سيم پيچ متحرك، دو سيم پيچ متحرك متقاطع (عمود برهم) دارد. مي دانيم در الكترو دينامومتر:

$$T = \frac{dM}{d\theta} I_1 I_2$$





اگر میدان بصورت بالا باشد:

$$M \propto \cos\theta \rightarrow \frac{dM}{d\theta} \propto \sin\theta$$

جهت سیم پیچهاي A و B طوري بسته شده است که گشتاورهاي آنها برخلاف هم باشد . در واقع گشتاور مقاوم به این صورت ایجاد میشود و دستگاه فنري ندارد بخاطر همین هم هست که پس از قرائت ، عقربه سر جایش میماند .

$$T_A = KVI\cos(\varphi)\sin(\theta)$$

$$T_B = KVI\cos(90-\varphi)\sin(90+\theta) = KVI\sin(\varphi)\cos(\theta)$$

درحالت تعادل:

$$T_A = T_B \Rightarrow \cos\theta\sin\varphi = \cos\varphi\sin\theta \Rightarrow tg\theta = tg\varphi \Rightarrow \theta = \varphi$$

صفحة دستگاه را برحسب Cosφ مدرج مي كنند . براي 50Hz كاليبره شده است و در فركانسهاي ديگر خطا خواهد داشت.

در Cosφ متر سه فاز، فاز 1 را از سيم پيچ ثابت عبور ميدهند ودو سيم پيچ ديگر را با مقاومت به V_{12} و V_{13} وصل مي كنند. در اين صورت ميتوان نشان داد كه با فرض متعادل بودن فازها $\theta = \varphi$ خواهد بود .

مراجعه كنيد به ساوني صفحه 622.