

اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز

هدف کلی

فراگیری مفاهیم توان، انرژی و اختلاف فاز

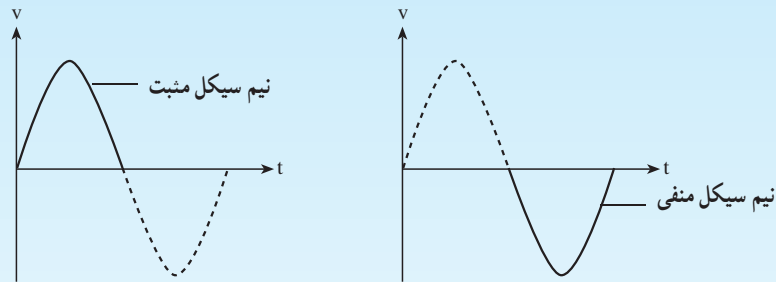
و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

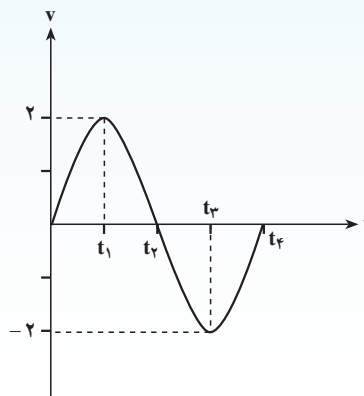
- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال وات‌متر به مدار را شرح دهد.
- انتخاب صحیح حوزه کار (رنج) را در یک وات‌متر، توضیح دهد.
- نکات ایمنی برای حفاظت وات‌متر در برابر خطرات را بیان کند.
- مقدار توان اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را بخواند.
- تفاوت بین توان AC و DC را شرح دهد.
- انرژی الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال کنتور را، در یک مدار، شرح دهد.
- اختلاف فاز را تعریف کند.
- عوامل ایجاد اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را، در یک مدار، شرح دهد.
- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال وات‌متر به مدار را شرح دهد.
- انتخاب صحیح حوزه کار (رنج) را در یک وات‌متر، توضیح دهد.
- نکات ایمنی برای حفاظت وات‌متر در برابر خطرات را بیان کند.
- مقدار توان اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را بخواند.
- تفاوت بین توان AC و DC را شرح دهد.
- انرژی الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال کنتور را، در یک مدار، شرح دهد.
- اختلاف فاز را تعریف کند.
- عوامل ایجاد اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را، در یک مدار، شرح دهد.
- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال وات‌متر به مدار را شرح دهد.
- انتخاب صحیح حوزه کار (رنج) را در یک وات‌متر، توضیح دهد.
- نکات ایمنی برای حفاظت وات‌متر در برابر خطرات را بیان کند.
- مقدار توان اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را بخواند.
- تفاوت بین توان AC و DC را شرح دهد.
- انرژی الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال کنتور را، در یک مدار، شرح دهد.
- اختلاف فاز را تعریف کند.
- عوامل ایجاد اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را، در یک مدار، شرح دهد.
- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال وات‌متر به مدار را شرح دهد.
- انتخاب صحیح حوزه کار (رنج) را در یک وات‌متر، توضیح دهد.
- نکات ایمنی برای حفاظت وات‌متر در برابر خطرات را بیان کند.
- مقدار توان اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را بخواند.
- تفاوت بین توان AC و DC را شرح دهد.
- انرژی الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال کنتور را، در یک مدار، شرح دهد.
- اختلاف فاز را تعریف کند.
- عوامل ایجاد اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را، در یک مدار، شرح دهد.

قبل از شروع این مبحث مفاهیم زیر را به خاطر بسپارید :

- ۱- موج سینوسی : همان طور که در مبحث قبل اشاره شد، موج سینوسی دارای قسمت مثبت و منفی است.
- ۲- معادله ریاضی موج سینوسی : معادله ریاضی موج سینوسی به صورت $V = V_m \sin 2\pi ft$ تعریف می شود. می خوانیم V مساوی است با V_m سینوس دویی ضربدر f ضربدر t . اگر با استفاده از قوانین ریاضی شکل موج معادله بالا را رسم کنیم یک شکل موج سینوسی به ما می دهد.
- ۳- هر موج سینوسی بعد از دو نیم سیکل (یک نیم سیکل مثبت و یک نیم سیکل منفی) تکرار می شود.
- ۴- نیم سیکل : عبارت است از فاصله ای که موج از صفر به ماکزیمم یا مینیمم و سپس به صفر می رسد.

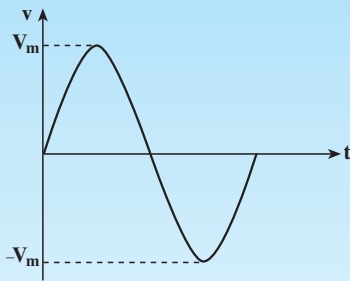


- ۵- سیکل : مجموعه یک نیم سیکل منفی و یک نیم سیکل مثبت را سیکل یا دوره تناوب می گویند.
- ۶- شکل موج : امواج می توانند شکل موج های مختلفی مانند : مربعی، مثلثی، دندانه اره ای و... داشته باشند. این امواج نیز دارای نیم سیکل های مثبت و منفی هستند و تعریف سیکل نیز برای آن ها صدق می کند.
- ۷- فرکانس : تعداد سیکل ها در یک ثانیه را فرکانس می نامند و آن را با f نشان می دهند.
- ۸- مقدار لحظه ای : به مقدار موج در هر لحظه از زمان مقدار لحظه ای می گویند. مثلاً در شکل زیر در t_1 مقدار دامنه 2 ولت و در لحظه t_3 مقدار دامنه -2 ولت است.

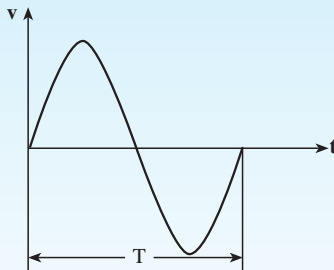


۹- مقدار V_m : در لحظه‌ای از هر نیم‌سیکل که موج سینوسی بیشترین مقدار را دارد، آن را V_m یا ولتاژ ماکزیمم

می‌نامند.



۱۰- زمان تناوب : زمان یک سیکل را زمان تناوب می‌نامند.



قابل توجه هنرآموزان محترم

در صورت امکان ضمن نشان دادن تجهیزات واقعی در کلاس و نحوه استفاده از آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار مولتی‌سیم موارد آموزش را برای هنرجویان به صورت آزمایشگاه مجازی به نمایش در آورید.

مقدمه

است. در شکل ۳-۱ یک سیکل کامل از برق شهر نشان داده شده است که واحد آن سیکل بر ثانیه یا هرتز است. فرکانس برق شهر در ایران 50° هرتز است.

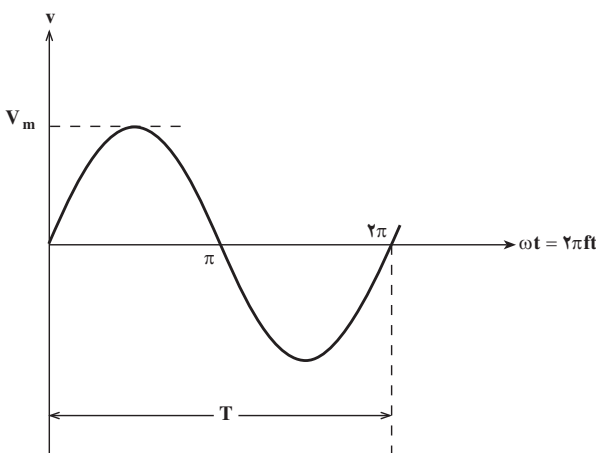
همه ما در زندگی روزمره خود از برق استفاده می‌کنیم. از یک منزل مسکونی ساده تا صنایع عظیم چون فولادسازی، همه جا، برق یک نیروی حیاتی است. برق در نیروگاه‌ها تولید می‌شود و بین مصرف‌کننده‌ها در سراسر کشور توزیع می‌شود. شکل ولتاژ تولید شده در تمامی نیروگاه‌ها به صورت سینوسی بوده و همین شکل موج ولتاژ بین تمامی مصرف‌کننده‌ها توزیع می‌گردد.

رابطه ریاضی و شکل موج ولتاژ سینوسی به صورت شکل

۳-۱ می‌باشد.

$$V = V_m \sin 2\pi ft \quad (3-1)$$

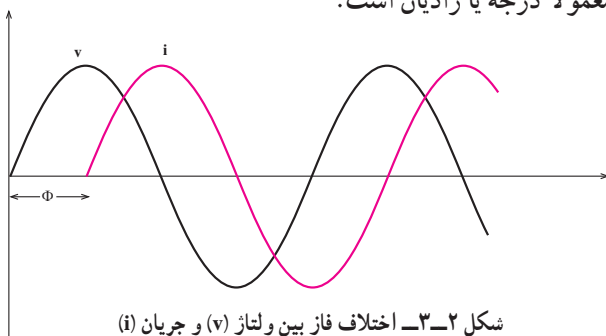
در رابطه ۳-۱، v مقدار ولتاژ در هر لحظه بر حسب ولت، و V_m دامنه ولتاژ یا ماکزیمم مقدار ولتاژ بر حسب ولت - که در شکل نشان داده شده است - و f فرکانس یا تعداد سیکل‌ها در ثانیه



شکل ۳-۱- یک سیکل کامل برق شهر

اگر به یک مدار ولتاژ متناوب سینوسی اعمال گردد در آن مدار جریان سینوسی جاری می‌گردد؛ فقط ممکن است به خاطر بعضی از عناصر موجود در مدار مانند سلف و یا خازن، شکل جریان مدار با شکل ولتاژ مدار، که هر دو سینوسی هستند، روی هم منطبق نباشند یعنی هر دو در یک لحظه با هم صفر و ماکزیمم نشوند؛ در این صورت گوئیم بین جریان و ولتاژ سینوسی اختلاف فاز وجود دارد. شکل ۳-۲ دو شکل موج سینوسی را نشان می‌دهد که با یکدیگر اختلاف فاز (به اندازه Φ) دارند:

اختلاف فاز را با حرف Φ (فی) نشان می‌دهند و واحد آن معمولاً درجه یا رادیان است.



شکل ۳-۲- اختلاف فاز بین ولتاژ (v) و جریان (i)

مدت زمانی را که طول می‌کشد تا جریان یک سیکل کامل طی کند زمان تناوب می‌نامند و آن را با حرف T نشان می‌دهند.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{رابطه T و f به صورت زیر است:} \quad (3-2)$$

با توجه به این که مقدار ولتاژ در هر لحظه تغییر می‌کند برای بیان مقدار ولتاژ، از پارامتری به نام مقدار مؤثر استفاده می‌کنند. مقدار مؤثر هر ولتاژ متناوب، برابر است با مقدار ولتاژ مستقیم یا DC که به همان مقدار کار، حرارت و ... تولید می‌نماید؛ به عبارت دیگر، مقدار جریان مستقیمی را که اثر حرارتی آن در یک مدت معین برابر اثر حرارتی ولتاژ متناوب مورد نظر باشد، مقدار مؤثر (Effective) آن ولتاژ متناوب می‌گویند. رابطه ولتاژ مؤثر و دامنه (پیک) به صورت زیر است:

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m \quad (3-3)$$

ویژگی‌های جریان‌های متناوب

حال اگر بخواهیم رابطه ریاضی بین ولتاژ و جریان را در ارتباط با یکدیگر نشان دهیم آن را باید به صورت زیر بنویسیم:

$$v = V_m \sin(2\pi ft) \quad (3-4)$$

$$i = I_m \sin(2\pi ft \pm \Phi) \quad (3-5)$$

الکتریکی گویند. اگر جریان و ولتاژ از نوع DC باشد رابطه توان حاصل ضرب ولتاژ لحظه‌ای در جریان لحظه‌ای را توان به صورت زیر در می‌آید:

$$P = V \cdot I \quad (3-6)$$

۳-۱- اندازه‌گیری توان

اگر ولتاژ و جریان هر دو سینوسی، با اختلاف فاز (Φ) باشند رابطه توان به صورت زیر خواهد بود:

$$P = v \cdot i = V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t \pm \Phi) \quad (3-7)$$

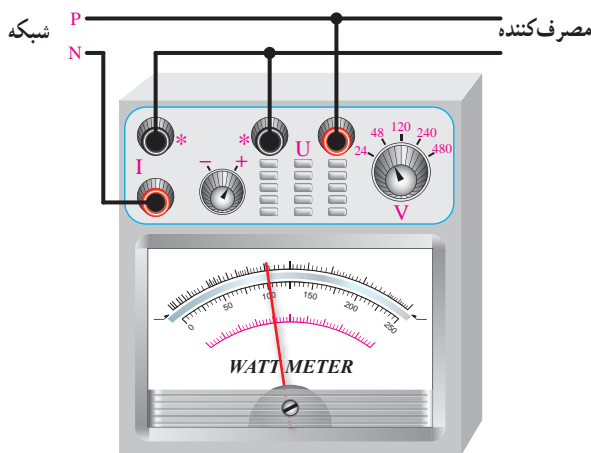
و برای توان متوسط خواهیم داشت:

$$P = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\Phi) \quad (3-8)$$

ویژگی‌های جریان‌های متناوب

چنانچه ولتاژ دو سر بار و جریان آن، هر دو DC باشند انحراف عقربه وات‌متر نشان‌دهنده حاصل ضرب این دو کمیت است، و اگر ولتاژ و جریان سینوسی باشند این انحراف حاصل ضرب دو کمیتی را که رابطه آن قبلاً بیان شد نشان می‌دهد.

بنابراین به هر وات‌متر باید ولتاژ دو سر بار و نیز جریان مصرف‌کننده را اعمال نمود. به همین منظور روی وات‌متر دو ترمینال، هر دو به نام I، که جریان مصرف‌کننده را با آن سری می‌کنند و دو ترمینال دیگر هر دو به نام U، (با V هم نشان داده می‌شود) که ولتاژ دو سر مصرف‌کننده را (به صورت موازی) به آن اعمال می‌نمایند وجود دارد. شکل ۳-۵ نحوه ارتباط یک وات‌متر به شبکه برق شهر و مصرف‌کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵- نحوه اتصال یک وات‌متر به شبکه برق شهر و مصرف‌کننده

روی اکثر وات‌مترها سلکتوری (کلید ولت‌متر) وجود دارد که با توجه به ولتاژ مصرف‌کننده تنظیم می‌گردد. مثلاً در شکل ۳-۵ رنج ولتاژ این کلید به صورت ۲۴، ۴۸، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ ولت می‌باشد. روی برخی از وات‌مترها سلکتور جریان نیز وجود دارد که هنگام کار، با توجه به جریان مصرف‌کننده، باید روی عدد مناسبی قرار گیرد؛ اما امروزه تعداد زیادی از وات‌مترها فاقد کلید جریان بوده و معمولاً دارای جریان نامی ۵ آمپر می‌باشند.

هر وات‌متر در هر رنج ولتاژ معمولاً دارای یک مقدار ماکزیمم ولتاژ نیز می‌باشد، مثلاً در رنج ۴۸۰ ولت، ممکن است وات‌متر بتواند تا ۷۵۰ ولت را نیز تحمل نماید. به این مقدار ولتاژ، مقدار ماکزیمم مجاز می‌گویند. در کاتالوگ هر وات‌متر برای هر رنج مقدار ماکزیمم

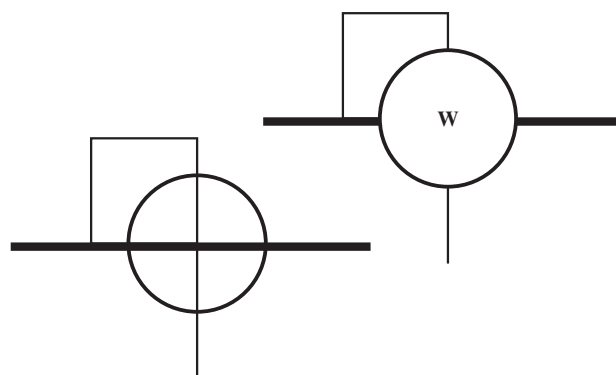
واحد توان الکتریکی وات می‌باشد. در الکترونیک از واحدهای کوچک‌تر این واحد چون میلی‌وات ($\frac{1}{1000} W$) و در الکتروتکنیک از واحدهای بزرگ‌تر آن مانند کیلووات ($1000 W$) و مگاوات ($1,000,000 W$) نیز فراوان استفاده می‌شود.

دستگاهی که توان را اندازه می‌گیرد **وات‌متر** نام دارد. شکل ۳-۳ دو نمونه وات‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳- دو نمونه وات‌متر

علامت فنی وات‌متر در مدارها به صورتی است که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۴- علامت فنی وات‌متر

۲-۳- اندازه‌گیری مقدار انرژی

انرژی الکتریکی عبارت است از حاصل ضرب توان در زمان یعنی:

$$W = P \cdot t \quad (3-10)$$

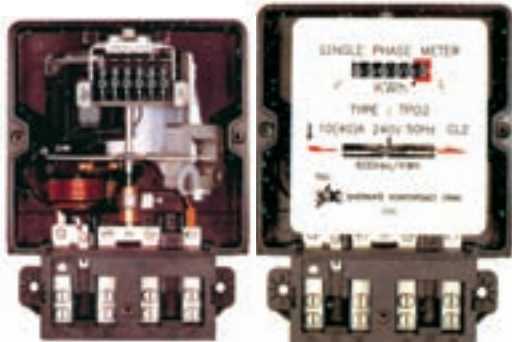
در رابطه فوق P توان الکتریکی بر حسب وات، t زمان بر حسب ثانیه، W مقدار انرژی بر حسب وات-ثانیه یا ژول می‌باشد. در عمل از واحدهای بزرگ‌تری مانند کیلووات ساعت (P) بر حسب کیلووات و t بر حسب ساعت) و یا مگاوات ساعت (P) بر حسب مگاوات و t بر حسب ساعت) نیز استفاده می‌کنند. برای اندازه‌گیری مقدار انرژی مصرف شده توسط یک مصرف‌کننده الکتریکی، احتیاج به یک شمارنده داریم، زیرا با توجه به رابطه

$$W = P \cdot t$$

مقدار W نسبت به زمان دائماً در حال زیاد شدن است. کار این شمارنده شمارش و نمایش مقدار انرژی مصرف شده از یک لحظه به خصوص تا زمان حال می‌باشد.

اگر بتوانیم یک محور و یا یک صفحه دوار داشته باشیم به طوری که سرعت آن متناسب با توان باشد، تعداد دورهایی که این محور یا صفحه دوار در یک فاصله زمانی می‌زند متناسب با کل انرژی مصرف شده در آن مدت می‌باشد که این دستگاه خود نمونه‌ای از یک شمارشگر است.

معمول‌ترین وسیله اندازه‌گیری انرژی الکتریکی، دستگاه **کیلووات ساعت متر یا کنتور** می‌باشد. شکل ۳-۶ نمای ظاهری و داخلی یک نمونه کنتور تک‌فاز را که در منازل برای اندازه‌گیری انرژی مصرف شده به کار می‌رود نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶- یک نمونه کنتور تک‌فاز

آن نیز قید شده است و همین‌طور برای هر رنج جریان، یک مقدار ماکزیمم در نظر گرفته می‌شود. در وات‌مترهایی که فقط دارای یک رنج جریان (۵A) می‌باشند مقدار ماکزیمم جریان معمولاً ۷ آمپر است.

برای خواندن توان مصرف‌کننده از روی صفحه مدرج وات‌متر، از ضریب ثابت سنجش استفاده می‌شود. در ابتدا باید ببینیم هر قسمت درجه‌بندی، چند وات را نشان می‌دهد. برای این کار رنج ولتاژ و ولت‌متر را در عدد رنج جریان وات‌متر (در صورت نداشتن رنج جریان همان ۵A را در نظر می‌گیریم) ضرب می‌کنیم. عددی که به دست می‌آید نشان دهنده حداکثر توانی است که در انحراف کامل حاصل می‌شود. حال اگر این عدد را بر تعداد کل تقسیمات وات‌متر تقسیم نماییم، مقدار توان را به ازای انحراف هر قسمت یافته‌ایم که به آن **ضریب ثابت سنجش** می‌گویند. در روی صفحه مدرج اکثر وات‌مترها ضریب ثابت سنجش به ازای هر ولتاژ نوشته شده است. بنابراین می‌توان با توجه به انحراف عقربه مقدار توان مصرف‌کننده را به صورت رابطه زیر بدست آورد:

مقدار توانی که وات‌متر نشان می‌دهد برابر است با:

تعداد قسمت‌های منحرف شده عقربه \times ضریب ثابت سنجش (۳-۹)

مثال: در یک وات‌متر کل صفحه به 120° قسمت تقسیم شده است و کلید ولت‌متر روی 480° ولت قرار دارد. اگر جریان نامی روی عدد ۵A باشد و عقربه $38/5$ قسمت منحرف شده باشد وات‌متر چه توانی را نشان می‌دهد:

$$\text{حل: } P = 480 \times 5 = 2400 \text{ W}$$

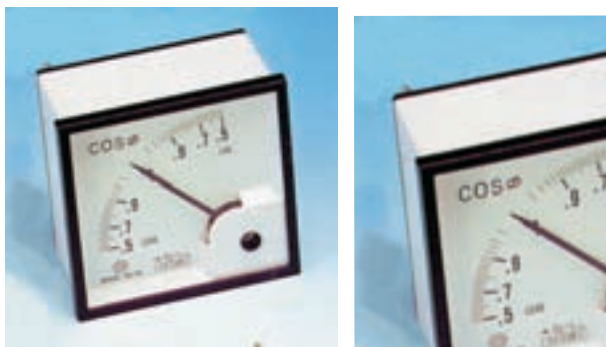
$$C = \frac{2400}{120} = 20 \text{ W}$$

مقدار توانی که وات‌متر نشان می‌دهد برابر است با:

$$P = 38/5 \times 20 = 770 \text{ W}$$

اگر هنگام اتصال وات‌متر به شبکه و مصرف‌کننده، ولتاژ خط و یا جریان مصرف‌کننده مشخص نباشد باید رنج ولتاژ را در حداکثر مقدار خود قرار داد، و چنانچه رنج جریان قابل تنظیم باشد باید حداکثر رنج را برای آن در نظر گرفت تا آسیبی به وات‌متر وارد نیاید.

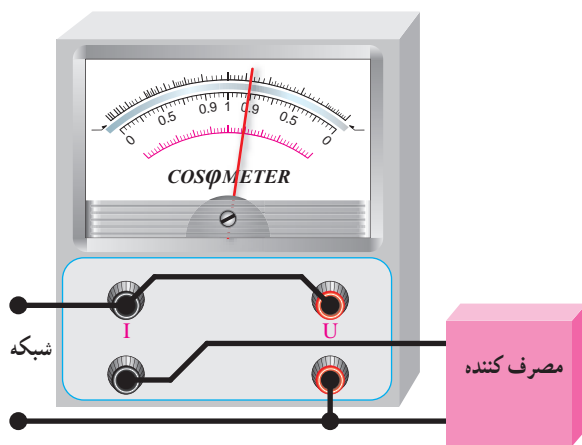
دستگاهی که می‌تواند اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را اندازه بگیرد $\cos\Phi$ متر نام دارد. پس می‌توان گفت: کسینوس فی متر دستگاهی است که حرکت عقربه آن نشان دهنده مقدار اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌باشد. بر روی صفحه مدرج کسینوس فی مترها، معمولاً مقدار اختلاف فاز برحسب درجه و نیز کسینوس اختلاف فاز را می‌نویسند. شکل ۸-۳ دو نمونه کسینوس فی متر را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۳ دو نمونه $\cos\Phi$ متر

با توجه به این که کسینوس فی متر باید اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را اندازه بگیرد لذا باید نمونه جریان مصرف کننده و نیز نمونه ولتاژ را به آن اعمال نمود.

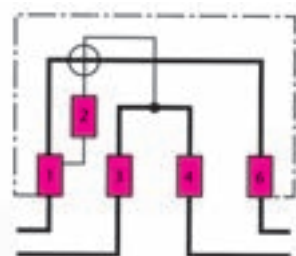
شکل ۹-۳ نحوه اتصال کسینوس فی متر به مصرف کننده و شبکه برق شهر را نشان می‌دهد. این اتصال همانند وات متر می‌باشد.



شکل ۹-۳ نحوه اتصال کسینوس فی متر به شبکه برق شهر و مصرف کننده

کنتور انرژی الکتریکی را برحسب کیلووات ساعت به کمک رقم‌های یک شمارنده مکانیکی که در روی آن نصب شده است، نشان می‌دهد. نحوه اتصال کنتور به شبکه و مصرف کننده همانند وات متر است، به این معنی که باید ولتاژ و جریان مصرف کننده را به آن اعمال نمود؛ زیرا سرعت چرخش صفحه گردان متناسب با توان مصرف کننده می‌باشد.

شکل ۷-۳ شمای الکتریکی (سمبل) کنتور را، همراه با یک مصرف کننده و شبکه برق شهر، نشان می‌دهد.



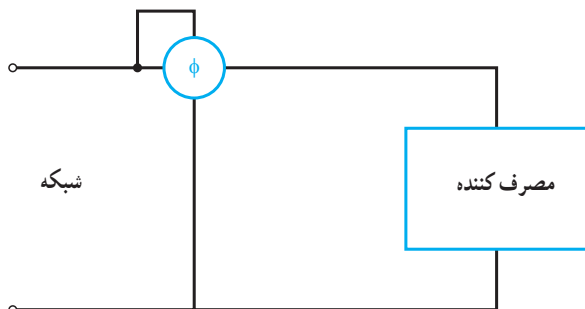
شکل ۷-۳ نحوه اتصال کنتور به شبکه برق و مصرف کننده

کنتورها، برای جریان‌ها و ولتاژهای مختلف، به صورت تک فازه و سه فازه ساخته می‌شوند. معمول‌ترین آن‌ها کنتور ۲۲۰ ولت تک فازه ۲۵A است که اداره برق در منازل مسکونی جهت اندازه گیری مصرف برق نصب می‌کند.

۳-۳- اندازه گیری اختلاف فاز

اختلاف زمانی بین دو کمیت الکتریکی را اختلاف فاز می‌نامند. چون اختلاف فاز بین دو سیگنال سینوسی هم فرکانس مطرح می‌باشد (مفهوم می‌دهد) و از طرفی هر سیکل کامل سینوسی را می‌توان معادل 360° یا 2π رادیان در نظر گرفت (روی محور زمان) لذا اختلاف زمانی بین دو کمیت الکتریکی را نیز می‌توان برحسب درجه یا رادیان مطرح نمود. بحث ما در اینجا اندازه گیری اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در یک مدار الکتریکی می‌باشد، همان طور که می‌دانید وجود بارهای سلفی (مانند موتورهای الکتریکی و ...) و یا وجود بارهای خازنی (در عمل، بار، به ندرت خازنی است) باعث ایجاد اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌شود.

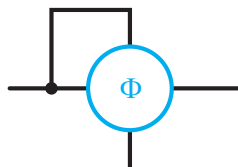
شکل ۳-۱۱ شمای الکتریکی اتصال یک کسینوس فی متر را به یک مصرف کننده و شبکه برق شهر نشان می دهد.



شکل ۳-۱۱ شمای الکتریکی اتصال یک کسینوس فی متر به مصرف کننده و برق شهر

اکثر کسینوس فی مترها ضمن نشان دادن اختلاف فاز، نوع بار (سلفی یا خازنی) را نیز مشخص می کنند. اگر عقربه از وسط صفحه به سمت راست یا سمت (ind) حرکت کند نوع بار سلفی است، یعنی جریان به اندازه Φ درجه، که عقربه نشان می دهد، عقب تر است (تأخیر فاز دارد) و چنانچه عقربه از وسط صفحه به سمت چپ یا سمت (cap) حرکت نماید جریان از ولتاژ به اندازه Φ درجه، که عقربه نشان می دهد، جلوتر است (تقدم فاز دارد).

کسینوس فی مترها را در مدارهای الکتریکی به صورت شکل ۳-۱۰ نمایش می دهند.



شکل ۳-۱۰ علامت فنی کسینوس فی متر

استفاده از آزمایشگاه های مجازی موجب عمق بخشیدن به آموزش و صرفه جویی در زمان و تجهیزات

می شود.



۳-۲-۶ الکتریکی پررشی

تشریحی

- ۱- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کنید.
- ۲- نحوه اتصال یک وات متر به یک شبکه الکتریکی و مصرف کننده را رسم کنید و درباره آن توضیح دهید.
- ۳- نحوه خواندن مقادیر روی صفحه مدرج وات متر چگونه است؟
- ۴- انرژی و واحد آن را تعریف کنید.
- ۵- نحوه اتصال کنتور به شبکه برق و مصرف کننده را رسم کرده و آن را شرح دهید.
- ۶- اختلاف فاز را تعریف کنید.
- ۷- نحوه اتصال یک کسینوس فی متر به یک شبکه الکتریکی و مصرف کننده را رسم نموده و راجع به آن توضیح

دهید.

محاسباتی

- ۸- در یک وات متر کل صفحه به 25° قسمت تقسیم شده است. کلید رنج ولت متر روی 5° ولت و کلید رنج آمپر روی ۵ آمپر قرار دارد. عقربه روی صفحه مدرج 75° قسمت منحرف شده است. توانی که وات متر اندازه می گیرد را محاسبه کنید.