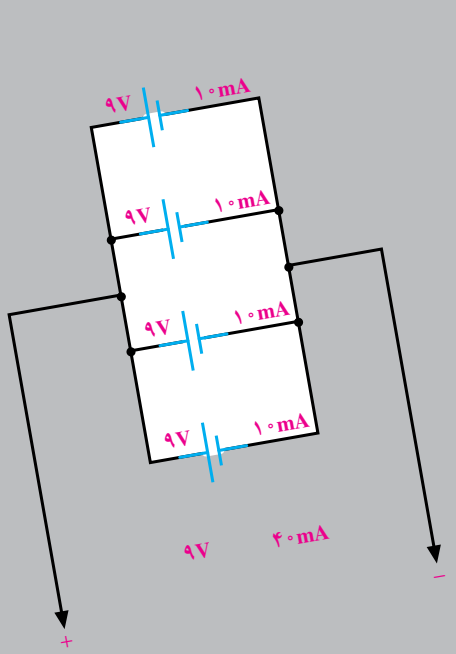
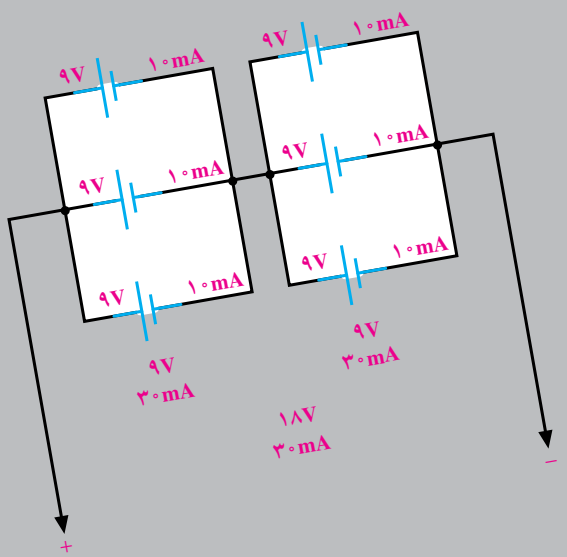


موازی

(الف)



سری ـ موازی

(ب)

فصل دوازدهم

اتّصال پیل‌ها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از دانش‌آموز انتظار می‌رود :

۱ــ اتّصال سری ــ موازی پیل‌ها را توضیح دهد.

۲ــ پیل‌ها را به طور سری، موازی و مختلط به یک‌دیگر اتّصال دهد.

۳ــ کاربرد پیل‌ها را به‌طور سری و موازی و مختلط توضیح دهد.

۴ــ مقاومت داخلی و اثرات آن را بیان کند.

۵ــ پلاریته‌ی نقاط مختلف را در اتّصال سری ــ موازی و مختلط مشخص کند.

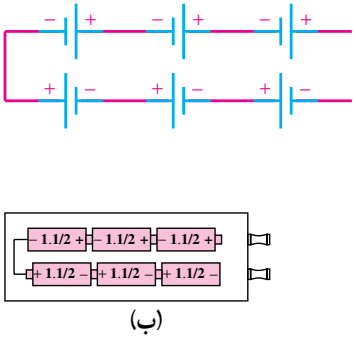
۶ــ اتّصال متقابل را توضیح دهد.

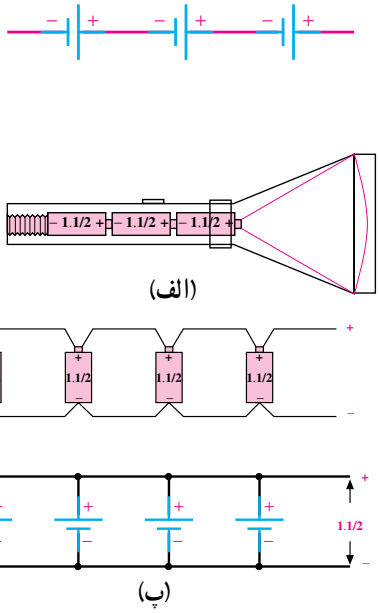
۷ــ باتری‌ها را از نظر توان (آمپر ساعت) با هم مقایسه کند.

۱ــ۱۲ــ اتّصال باتری‌ها

یکی از منابع تأمین انرژی الکتریکی باتری‌ها هستند. باتری‌ها انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. نمونه‌ای از باتری‌ها، پیل‌های خشک و تر هستند که در چراغ قوه و اتومبیل به کار می‌روند.

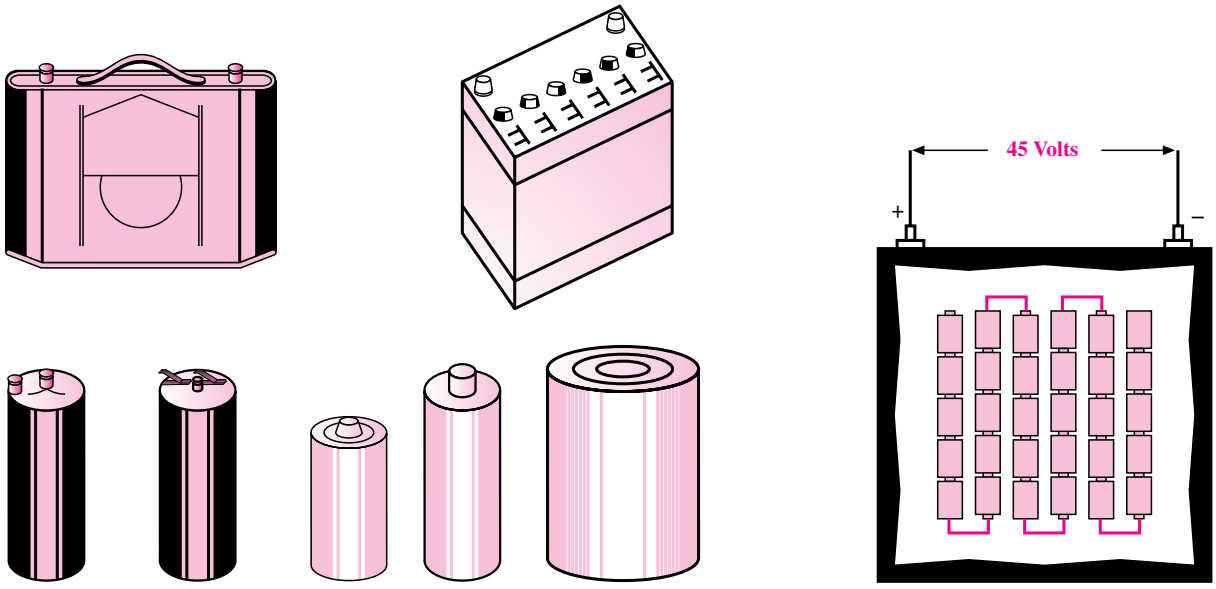
واژه‌ی باتری و پیل را معمولاً به جای یک‌دیگر به کار می‌برند اما این دو از نظر تکنیکی با هم تفاوت دارند. باتری از دو یا چند پیل تشکیل می‌شود که به طور سری یا موازی به هم وصل شده‌اند. به عبارت دیگر، پیل‌ها واحد تشکیل دهنده‌ی باتری‌ها هستند. در شکل ۱ــ۱۲ چند نوع باتری را می‌بینید که از تعدادی پیل تشکیل شده‌اند.





شکل ۱ــ۱۲ــ الف ــ باتری چراغ قوه متشکّل از ۳ پیل سری؛ ب ــ باتری ۹ ولتی متشکّل از ۶ پیل سری؛ پ ــ باتری ۱/۵ ولتی متشکّل از ۴ پیل موازی.

اغلب پیل‌های خشک را نمی‌توان دوباره شارژ (پُر) کرد. در صورتی که پیل‌های تر قابل شارژ هستند. در شکل ۲ــ۱۲ چند پیل تر و خشک را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲ــ۱۲

برای به دست آوردن ولتاژهای بیش‌تر، چند پیل را با هم سری می‌کنند. ولتاژ کل یک باتری با مجموع ولتاژ تک‌تک پیل‌های سری شده برابر است ؛ یعنی :

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3$$

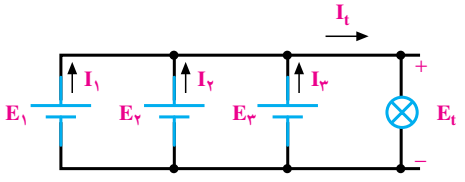
نمای مداری یک پیل به صورت دو خط موازی است که یکی بزرگ‌تر و دیگری کوچک‌تر می‌باشد (شکل ۳ــ۱۲).

شکل ۳ــ۱۲ــ نمای مداری یک پیل

خط بزرگ‌تر را معمولاً قطب مثبت و خط کوچک‌تر را قطب منفی در نظر می‌گیرند.

رابطه‌ی ولتاژ کل n پیل سری شده به صورت زیر است :

$$E_t = E_1 + E_2 + \cdots + E_n$$



شکل ۵ــ۱۲ــ نمای ظاهری و مداری چند پیل موازی

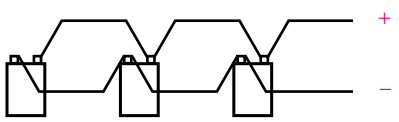
در شکل ۴ــ۱۲ اتصال سری چند پیل خشک و تر را می‌بینید.

الف: پیل خشک

ب: پیل‌تر

شکل ۴ــ۱۲ــ اتّصال سری پیل‌ها

برای بالا بردن ظرفیّت جریان دهی باتری، پیل‌ها به طور موازی بسته می‌شوند. در شکل ۵ــ۱۲ چند پیل موازی به صورت نمای الکتریکی و ظاهری نشان داده شده است.

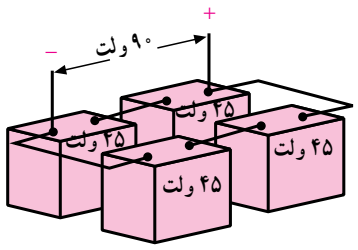


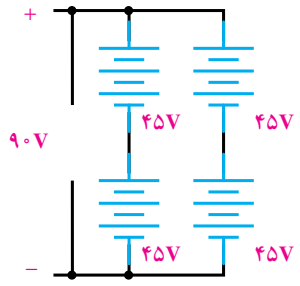
لازم به توضیح است که در مدار شکل ۵ــ۱۲ ولتاژ دو سر پیل‌ها باید با هم برابر باشد امّا ظرفیّت جریان‌دهی، متناسب با تعداد پیل‌ها افزایش می‌یابد ؛ یعنی :

$$E_t = E_1 = E_2 = E_3$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

اگر بخواهند ولتاژ باتری و ظرفیّت جریان‌دهی را افزایش دهند، پیل‌های تشکیل دهنده‌ی باتری را به طور سری ــ موازی به هم وصل می‌کنند (شکل ۶ــ۱۲).

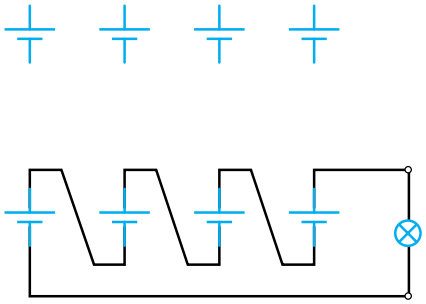




شکل ۶ــ۱۲ــ اتّصال ترکیبی باتری‌ها

مثال ۱: پیل‌های شکل ۷ــ۱۲ را طوری وصل کنید که حداکثر ولتاژ از آن‌ها به دست آید.

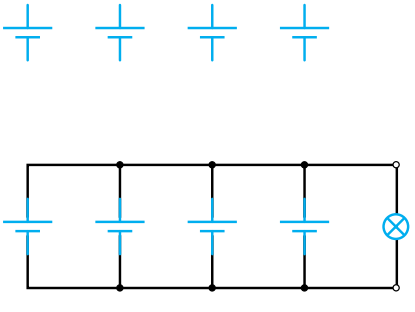
راه حل:



شکل ۷ــ۱۲

مثال ۲: پیل‌های شکل ۸ــ۱۲ را برای به دست آوردن حداکثر ظرفیّت جریان به یک‌دیگر اتّصال دهید.

راه حل:

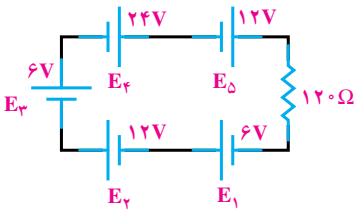


شکل ۸ــ۱۲

باتری‌ها را نیز می‌توان با یک‌دیگر به‌طور سری یا موازی بست. در صورتی که بخواهیم ولتاژ کل را بالا ببریم، باتری‌ها را سری می‌بندیم (ولتاژ باتری‌ها می‌تواند مساوی یا نامساوی باشد).

در صورتی که بخواهیم ظرفیّت جریان را بالا ببریم، باتری‌ها را موازی می‌بندیم اگر ولتاژ باتری‌ها مساوی باشد، هر باتری در افزایش ظرفیّت جریان کل شریک است امّا اگر ولتاژ یک یا چند باتری از ولتاژ سایر باتری‌ها کم‌تر باشد، باتری‌های با ولتاژ کم‌تر مانند مصرف‌کننده عمل می‌کنند و علاوه بر این که در تولید جریان همکاری ندارند، جریان نیز مصرف می‌کنند.

مثال ۳: در مدار شکل ۹ــ۱۲ ولتاژ و جریان دو سر مصرف کننده چه‌قدر است؟



شکل ۹ــ۱۲

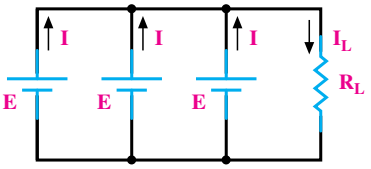
راه حل:

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$$

$$E_t = 6V + 12V + 6V + 24V + 12V = 60V$$

$$I = \frac{E_t}{۱۲۰\Omega} = \frac{۶۰V}{۱۲۰\Omega} = ۰/۵A$$

مثال ۴: در مدار شکل ۱۰ــ۱۲ ولتاژ و جریان دو سر بار چه‌قدر است؟



شکل ۱۰ــ۱۲

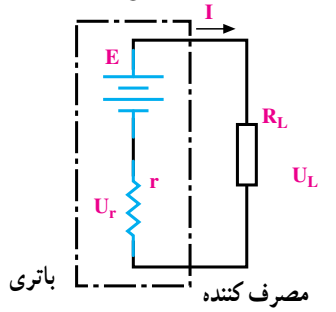
راه حل:

$$U_L = E_t = E$$

$$I_L = I + I + I = ۳I$$

۲ــ۱۲ــ مقاومت داخلی پیل‌ها (باتری)

یک مولّد (باتری) را در نظر می‌گیریم ؛ ابتدا به کمک ولت‌متر، ولتاژ دو سر باتری را اندازه‌گیری کرده مقدار آن را یادداشت می‌کنیم. سپس باتری را به دو سر یک مقاومت می‌بندیم. بار دیگر ولتاژ دوسر باتری را اندازه می‌گیریم و یادداشت می‌کنیم. از مقایسه‌ی ولتاژها، متوجه می‌شویم که ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی دوم از ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی اوّل کم‌تر است ؛ در صورتی که انتظار می‌رفت، ولتاژ اندازه‌گیری شده در هر دو مرحله برابر باشد. از این‌رو اختلاف ولتاژ اندازه‌گیری شده را این گونه تعبیر می‌کنیم که باید حتماً در داخل مولد (باتری)، مقاومتی وجود داشته باشد که با عبور جریان از آن و افت مقداری از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت ، ولتاژ باتری کاهش یافته است. این مقاومت را مقاومت داخلی مولد (باتری) گویند. مقاومت داخلی هر باتری از نظر مصرف مانند مقاومتی است که با باتری سری شده است. شکل ۱۱ــ۱۲ یک باتری را با مقاومت داخلی نشان می‌دهد. مقاومت داخلی باتری را با حرف r نمایش می‌دهند که همیشه با مصرف کننده سری می‌شود.



شکل ۱۱ــ۱۲ــ مقاومت داخلی باتری

هرچه مقاومت داخلی باتری کوچک‌تر باشد، افت ولتاژ دو سر آن کوچک‌تر است و می‌توان آن را نادیده گرفت. با ضعیف شدن باتری، مقاومت داخلی آن زیاد می‌شود و در نتیجه، ولتاژ و شدّت جریان تولیدی باتری را کاهش می‌دهد.

علّت کاهش ولتاژ دوسر باتری ــ همان‌گونه که در مقدمه ذکر شد ــ این است که مقداری از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند و بقیه‌ی ولتاژ آن به مصرف کننده می‌رسد. در مورد کاهش جریان باتری، چون مقاومت داخلی باتری به مقاومت کل مدار اضافه می‌شود، شدّت جریان کاهش می‌یابد، مثلاً برای مدار شکل ۱۱ــ۱۲ ولتاژ و جریانی که به مصرف کننده می‌رسد برابر است با :

$$R_t = r + R_L$$

$$I = \frac{E}{R_t} = \frac{E}{r + R_L}$$

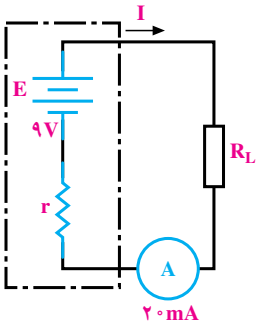
$$U_L = E - U_r = E - I.r$$

E ولتاژ باتری، U_r افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی و U_L افت ولتاژ دو سر بار یا مصرف کننده است.

از روابط گفته شده چنین برمی‌آید که ولتاژی که به مصرف‌کننده می‌رسد، همیشه به اندازه‌ی افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی از ولتاژ باتری کم‌تر است. بنابراین، اگر مقاومت داخلی نسبت به مقاومت بار کوچک باشد، می‌توان از آن صرف‌نظر نمود و تأثیر آن را در مدارها نادیده گرفت امّا در صورت بزرگ بودن مقاومت داخلی، باید آن را به صورت یک مقاومت سری شده با مقاومت‌های دیگر در نظر گرفت.

مثال ۵ ــ در مدار شکل ۱۲ــ ۱۲

الف : مقدار r و ولتاژی که به بار می‌رسد وقتی که $R_L = ۳۰۰\Omega$ باشد، چه‌قدر است؟



شکل ۱۲ــ۱۲

ب : اگر R_L را به ۳۴۵۰ اهم افزایش دهیم، ولتاژ دو سر بار و شدّت جریان مدار چه‌قدر می‌شود؟

راه حل: الف ــ $R_L = ۳۰۰\Omega$

مقاومت معادل با استفاده از قانون اهم

$$R_t = \frac{E}{I} = \frac{۹V}{۲۰mA} = ۴۵۰\Omega$$

$$R_t = r + R_L$$

$$r = R_t - R_L = ۴۵۰ - ۳۰۰ = ۱۵۰\Omega$$

$$U_L = IR_L = ۲۰mA \times ۳۰۰\Omega = ۶V$$

در بار $R_L = ۳۰۰\Omega$ از ولتاژ باتری فقط ۶ ولت به بار می‌رسد و ۳ ولت دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند.

ب ــ $R_L = ۳۴۵۰\Omega$

با معلوم شدن مقاومت داخلی، مقاومت کل برابر است با

$$R_t = r + R_L = ۱۵۰\Omega + ۳۴۵۰\Omega = ۳۶۰۰\Omega$$

شدّت جریانی که در این حالت از مدار می‌گذرد، برابر است با $I = \frac{E}{R_t}$

$$I = \frac{۹V}{۳۶۰۰\Omega} = ۲/۵mA$$

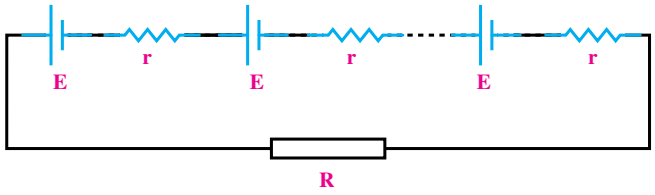
$$U_L = I.R_L = ۲/۵mA \times ۳۴۵۰\Omega = ۸/۶۲۵V$$

در این حالت، با اضافه شدن R_L ولتاژ بیش‌تری به بار می‌رسد (۸/۶۲۵V) و ولتاژ کم‌تری در دوسر مقاومت داخلی افت می‌کند (۰/۳۷۵V).

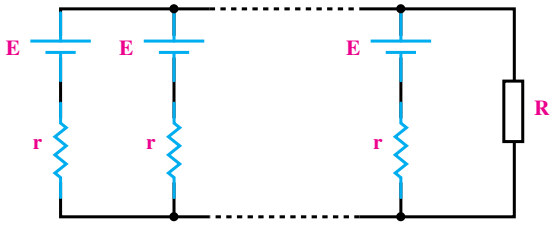
از مثال ذکر شده نتیجه می‌گیریم که اگر مقاومت مصرف‌کننده نسبت به مقاومت داخلی مولّد خیلی بزرگ باشد، از مقاومت داخلی می‌توان صرف‌نظر کرد.

در صورتی که چند باتری کاملاً مشابه با مقاومت داخلی معین را با مصرف کننده (مطابق شکل ۱۳ــ۱۲) سری یا موازی ببندیم، شدت جریان کل مدار به ترتیب از روابط زیر به‌دست می‌آید.

سری $I = \frac{nE}{nr + R}$



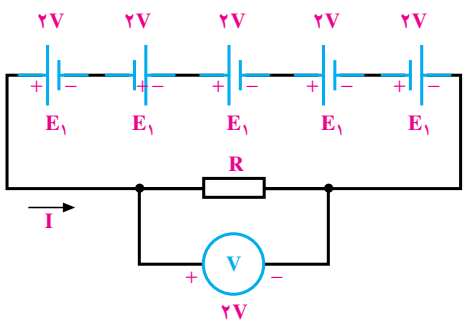
موازی $I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R}$



شکل ۱۳ــ۱۲ــ اتّصال باتری‌ها با مقاومت داخلی به صورت سری و موازی

۱۳ــ۱۲ــ اتّصال متقابل پیل‌ها

در صورتی که دو یا چند پیل، مطابق شکل ۱۴ــ۱۲ به هم اتّصال داده شوند، به آن **اتصال متقابل** می‌گویند. در این حالت، ولتاژ کل کاهش می‌یابد ؛ زیرا پیل‌هایی که قطب‌هایشان به صورت مخالف با بقیه بسته شده است، مانند مصرف کننده عمل می‌کنند. رابطه‌ی ولتاژ کل در این مدار برابر است با تفاوت بین ولتاژهای مخالف و موافق ؛ یعنی :



شکل ۱۴ــ۱۲

$$E_t = E_1 - E_2 + E_3 + E_4 - E_5$$
$$E_t = 2 - 2 + 2 + 2 - 2 = 2V$$

رابطه‌ی فوق برای پیل‌های با ولتاژ نابرابر در مدار سری نیز صادق است.

معمولاً پیل‌هایی را که ولتاژ متفاوت دارند، به صورت موازی و متقابل به یک‌دیگر اتّصال نمی‌دهند ؛ زیرا پیل‌های با ولتاژ بالاتر در پیل‌های با ولتاژ کم‌تر تخلیه می‌شوند و از بین می‌روند.

خلاصه‌ی مطالب

* پیل، واحد تشکیل دهنده‌ی باتری است.
* از چند پیل، یک باتری درست می‌شود.
* معمولاً پیل‌های خشک غیر قابل شارژ و پیل‌های تر قابل شارژند.
* برای به دست آوردن ولتاژ بزرگ‌تر، پیل‌ها را سری می‌بندند.
* برای به دست آوردن جریان بیش‌تر، پیل‌ها را موازی می‌بندند.
* اتصال پیل‌ها به طور سری ـ موازی، جریان و ولتاژ را افزایش می‌دهد.
* افت ولتاژ روی مقاومت داخلی، نیروی محرکه‌ی باتری را کاهش می‌دهد.
* در مدار سری اتصال متقابل پیل‌ها ولتاژ کل را کاهش می‌دهد.
* در مدار موازی، اتصال متقابل پیل‌ها سبب تخلیه و خرابی پیل می‌شود.

پرسش

۱ــ پیل را تعریف کنید.
۲ ــ باتری را تعریف کنید.
۳ــ چند پیل تر و خشک را نام ببرید.
۴ــ اتّصال چند پیل سری را از لحاظ پلاریته (قطب‌های مثبت و منفی) بررسی کنید.
۵ــ در اتّصال موازی، شدّت جریان کل چگونه تغییر می‌کند؟
۶ــ برای افزایش ولتاژ و تأمین ولتاژ مورد نیاز، پیل‌ها را چگونه اتّصال می‌دهند؟
۷ــ مقاومت داخلی پیل چیست و چه تأثیری در مدار دارد؟
۸ــ اتّصال متقابل پیل‌ها یعنی چه؟
۹ــ رابطه‌ی ولتاژ کل را در اتّصال متقابل سری پیل‌ها بنویسید.

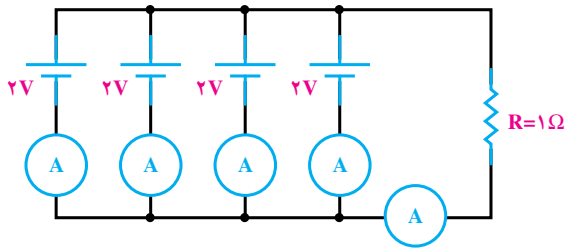
مسائل

۱ــ برای تأمین ولتاژ ۹ ولت حداقل از چند باتری ۱/۵ ولتی و به چه صورت استفاده می‌کنیم؟
(جواب : ۶ ــ سری)
۲ــ برای افزایش ظرفیّت جریان‌دهی یک باتری به ۵ برابر حداقل چند باتری مشابه دیگر را و به چه صورت باید به مدار اضافه کنیم؟

(جواب : ۴ــ موازی)

۳ــ در مدار شکل ۱۵ــ۱۲ شدّت جریان هر پیل و شدّت جریان کل را به دست آورید.

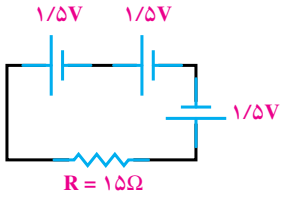
(جواب : ۰/۵A ، ۲A)



شکل ۱۵ــ۱۲

۴ــ در مدار شکل ۱۶ــ۱۲ ولتاژ و جریان کل چه‌قدر است؟

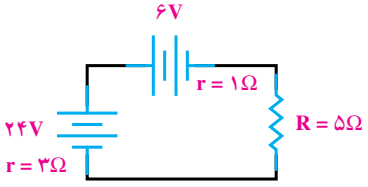
(جواب : ۱/۵V ، ۱۰۰mA)



شکل ۱۶ــ۱۲

۵ــ در مدار شکل ۱۷ــ۱۲ شدّت جریان مدار چه‌قدر است؟

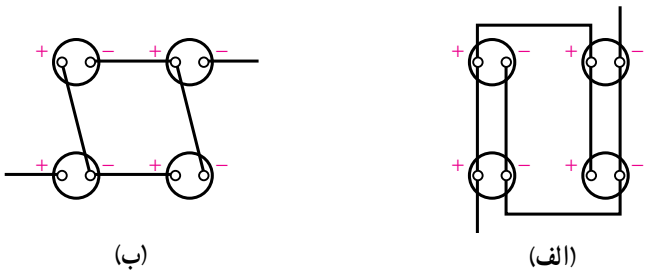
(جواب : ۲A)



شکل ۱۷ــ۱۲

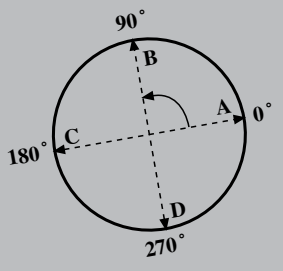
۶ــ کدام یک از اتّصال‌های شکل ۱۸ــ۱۲ برای اتصال موازی صحیح است؟

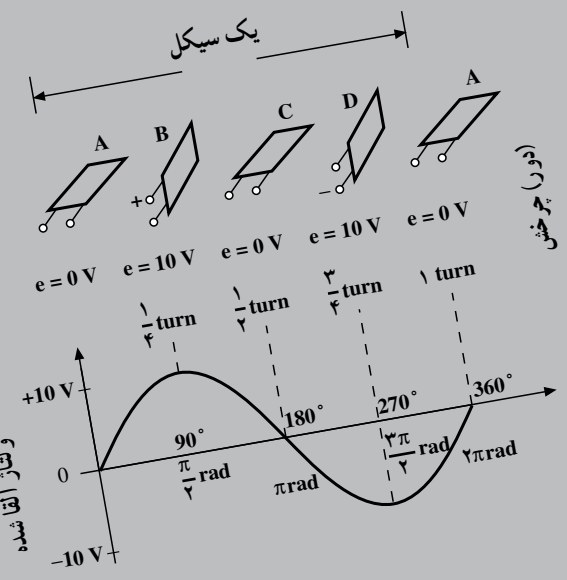
(جواب : الف)

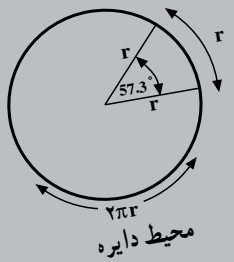


(ب) (الف)

شکل ۱۸ــ۱۲


90°
B
A
0°
180°
C
D
270°


یک سیکل
A
B
C
D
A
+
–
e = 0 V
e = 10 V
e = 0 V
e = 10 V
e = 0 V
(دور) چرخش
۱/۴ turn
۱/۲ turn
۳/۴ turn
۱ turn
+10 V
0
–10 V
ولتاژ القا شده
90°
π/۲ rad
180°
πrad
270°
۳π/۲ rad
360°
۲πrad


r
r
57.3°
r
۲πr
محیط دایره

فصل سیزدهم

جریان متناوب

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود :
۱ــ جریان متناوب را تعریف کند.
۲ــ انواع جریان متناوب را شرح دهد.
۳ــ نحوه‌ی تولید جریان متناوب سینوسی را بیان کند.
۴ــ دامنه‌ی موج را تعریف کند.
۵ــ فرکانس و پریود موج سینوسی را توضیح دهد و آن‌ها را محاسبه کند.
۶ــ ماکزیمم دامنه‌ی موج را شرح دهد.
۷ــ مقدار مؤثّر دامنه‌ی موج را توضیح دهد و آن را حساب کند.
۸ـ مقدار متوسط دامنه‌ی موج را شرح دهد و آن‌را حساب کند.
۹ــ اختلاف فاز دو موج سینوسی را بیان کند.
۱۰ــ معادلات جریان و ولتاژ متناوب را بنویسد.

قبلاً در مورد جریانی که فقط در یک جهت جاری بود و مقدار و جهت آن در طول زمان تغییر نمی‌کرد، با عنوان جریان مستقیم یا جریان DC صحبت کردیم، در این‌جا جریانی را که مقدار و جهت آن در طول زمان تغییر می‌کند، با عنوان جریان متناوب[1] یا جریان AC مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱ــ۱۳ــ تعریف جریان متناوب

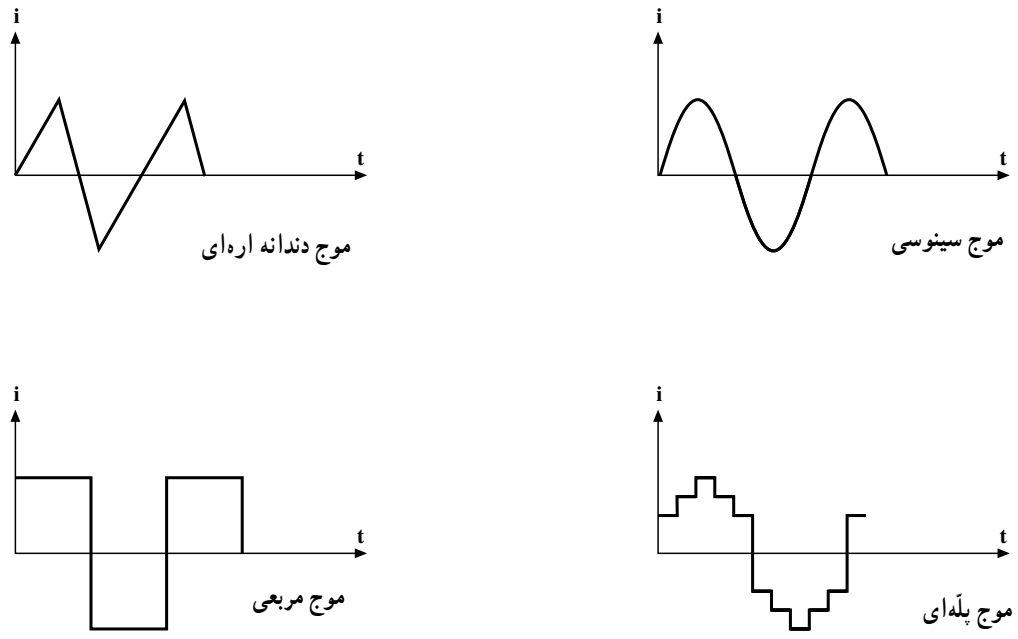
جریان متناوب جریانی است که جهت آن طی زمان تغییر می‌کند و دامنه‌ی آن نیز نسبت به زمان، از صفر تا حداکثر مثبت و از حداکثر مثبت تا صفر و از صفر تا حداکثر منفی و از حداکثر منفی تا صفر تغییر می‌کند.

همان‌طور که می‌دانید، ولتاژ تولید شده توسط یک باتری، ولتاژ مستقیم است که باعث عبور جریان مستقیم می‌شود. به این ترتیب، جریان همیشه در یک جهت جاری است ؛ بنابراین، جریان مستقیم یک جهتی است. جریان متناوب دو جهتی است ؛ یعنی، الکترون‌ها ابتدا در یک جهت و سپس در جهت دیگر ــ مخالف جهت قبل ــ جاری می‌شوند. اگر بتوانیم قطب‌های یک باتری را در یک زمان معین به طور دائم تغییر دهیم، جریانی دو جهتی و در نتیجه، جریانی متناوب خواهیم داشت.

۲ــ۱۳ــ انواع جریان متناوب

برای نشان دادن چگونگی تغییر جریان در زمان از شکل

۱ــ Alternating currnet



شکل ۱ــ۱۳ــ چند نمونه از شکل موج‌های جریان متناوب

موج استفاده می‌کنیم. در شکل ۱ــ۱۳ چند نمونه شکل موج را مشاهده می‌کنید. یکی از انواع شکل موج‌ها، شکل موجِ جریان متناوب سینوسی است. هر نیمه از شکل موج جریان متناوب سینوسی قرینه‌ی نیمه دیگر آن با قطب معکوس است.

جریان سینوسی معمول‌ترین نوع جریان متناوب است. به این ترتیب، وقتی درباره‌ی جریان متناوب فکر می‌کنیم، اغلب همان موج سینوسی مورد نظر ماست.

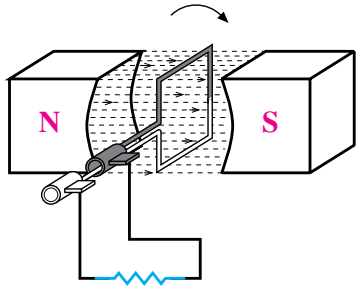
۳ــ۱۳ــ تولید جریان متناوب

با شناخته شدن جریان متناوب و تولید و انتقال آسان آن، روزبه‌روز بر اهمیّت آن نیز افزوده شده است. برای تولید جریان متناوب، می‌توان از یک ژنراتور ساده AC استفاده کرد. در ژنراتور AC از ترکیب اصول فیزیکی و مغناطیسی استفاده می‌شود. بدین‌ترتیب که اگر دو قطب یک آهن‌ربا در نزدیکی یک‌دیگر قرار داشته باشند، همواره فلوی مغناطیسی (خطوط قوا) از قطب شمال آهن‌ربا خارج و به قطب جنوب آن وارد می‌شود. چنان‌چه در مسیر خطوط قوا سیم‌پیچی دوران کند، خطوط قوا توسط سیم‌پیچ قطع می‌شود. هرگاه این عمل به‌طور مستمر انجام گیرد، جریان متناوب از مولّد جریان متناوب به‌وجود می‌آید.

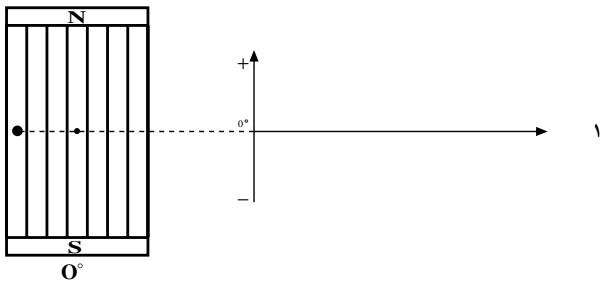
شکل ۲ــ۱۳ نمای یک ژنراتور ساده و چگونگی حرکت سیم‌پیچ و تولید لحظه به لحظه‌ی شکل موج جریان یا ولتاژ متناوب را نشان می‌دهد.

در مرحله‌ی ۱ خطوط قوای مغناطیسی به وسیله‌ی سیم‌پیچ قطع نمی‌شود (سیم‌پیچ با خطوط قوا موازی است). در نتیجه، ولتاژ در این مرحله صفر است. چنان‌چه سیم‌پیچ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت بچرخد، (مرحله‌ی ۲) قطع خطوط قوا به‌وسیله‌ی سیم‌پیچ افزایش می‌یابد. در نتیجه، ولتاژ تولید شده، رفته‌رفته زیاد می‌شود و پس از پیمودن ۹۰ درجه به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد. در مرحله‌ی ۳، با ادامه‌ی دوران سیم‌پیچ تا ۱۸۰ درجه قطع خطوط قوا کاهش می‌یابد در نتیجه ولتاژ تولید شده نیز کاهش می‌یابد و در ۱۸۰ درجه از گردش، دوباره به مقدار صفر می‌رسد.

از این لحظه به بعد، جهت ولتاژ تولیدی عوض می‌شود و در مرحله‌ی ۴ تا ۲۷۰ درجه، مقدار آن دوباره افزایش می‌یابد تا در جهت عکس، به نقطه‌ی ماکزیمم خود می‌رسد. در مرحله‌ی ۵

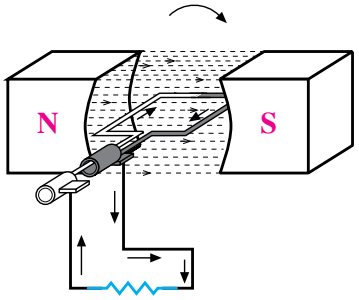


حالت صفر

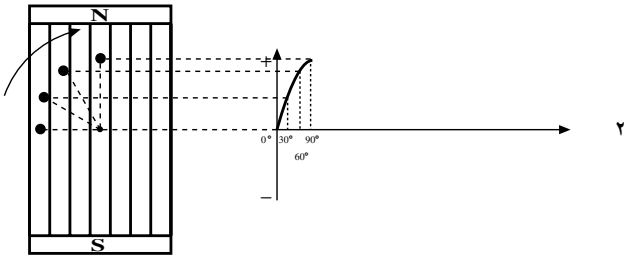


۱

ولتاژ تولید شده



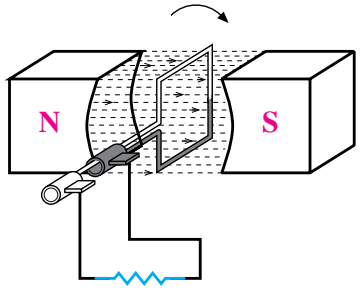
حالت ۹۰°



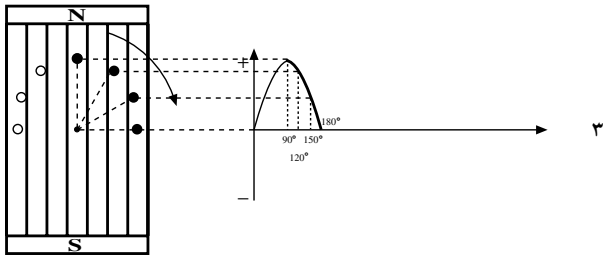
۲

ولتاژ تولید شده

گردش از صفر تا ۹۰°



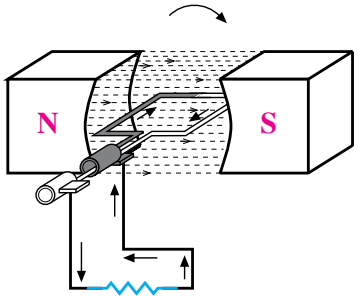
حالت ۱۸۰°



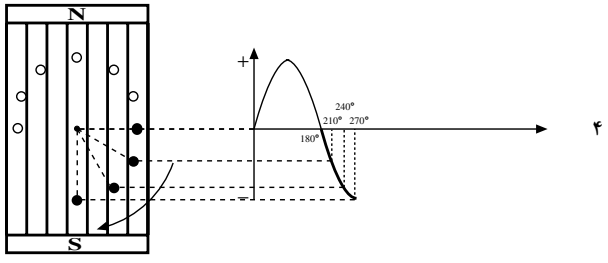
۳

ولتاژ تولید شده

گردش از ۹۰° تا ۱۸۰°



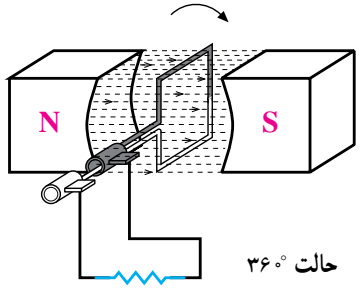
حالت ۲۷۰°



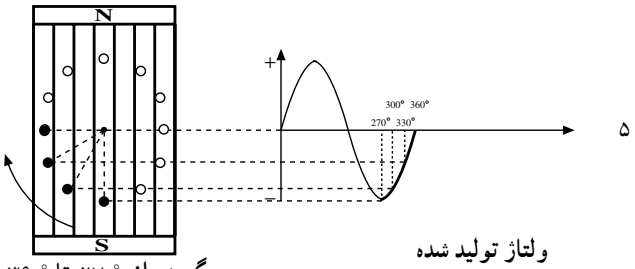
۴

ولتاژ تولید شده

گردش از ۱۸۰° تا ۲۷۰°



حالت ۳۶۰°



۵

ولتاژ تولید شده

گردش از ۲۷۰° تا ۳۶۰°

شکل ۲ــ۱۳ــ تولید جریان متناوب و منحنی لحظه به لحظه‌ی جریان یا ولتاژ تولید شده

تذکر: در شکل ۲ــ۱۳ دو سر مقاومت‌ها به دو حلقه (رینگ)ی مجزا از هم وصل است و قطبین حلقه‌ها در اثر حرکت سیم‌پیچ عوض می‌شوند.

با ادامه‌ی گردش تا ۳۶۰ درجه، مقدار ولتاژ تولید شده کاهش می‌یابد و دوباره به صفر می‌رسد. تا این‌جا سیم‌پیچ، یک دور کامل زده است. با ادامه‌ی هر گردش سیم‌پیچ، ولتاژ تولید شده تغییرات مشابهی را طی می‌کند. در همه‌ی این حالت‌ها جریان در مصرف کننده هم تغییراتی مانند ولتاژ دارد و مقدار آن به طور مرتب صفر، ماکزیمم، صفر، ماکزیمم در جهت عکس و بالاخره صفر می‌شود.

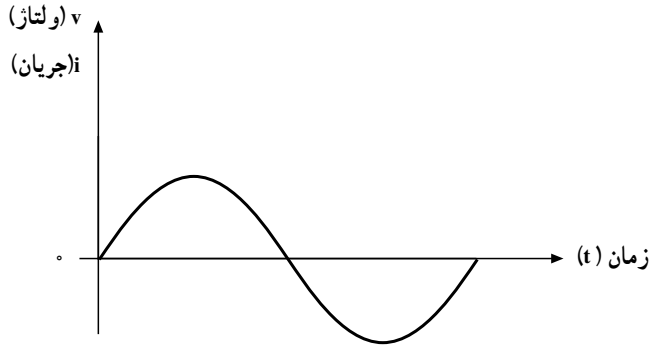
۴ ــ۱۳ــ مشخصات جریان متناوب

در بررسی مدارهای جریان متناوب (AC) اغلب با موج سینوسی سروکار داریم. در این مدارها ولتاژ و جریان، هر دو متناسب و به شکل موج سینوسی هستند. شکل ۳ــ۱۳ یک موج سینوسی را نشان می‌دهد که بیانگر جریان یا ولتاژ سینوسی است.

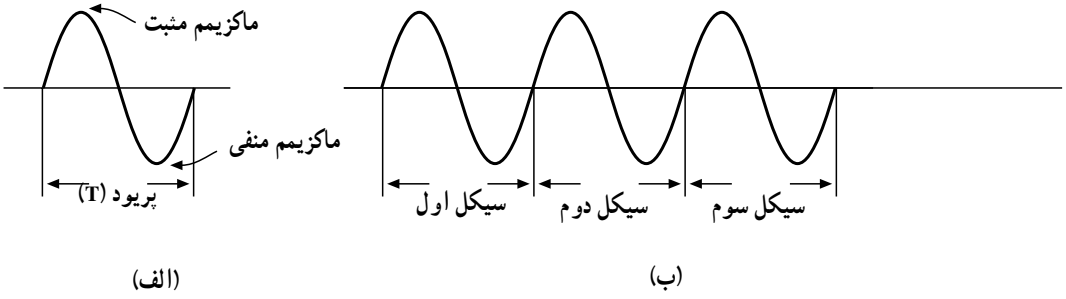
همان‌طور که می‌بینید، ولتاژ یا جریان با زمان تغییر می‌کند؛ یعنی از صفر شروع می‌شود و به مقدار پیک یا ماکزیمم مثبت می‌رسد. آن‌گاه دوباره صفر می‌شود و سپس به پیک یا ماکزیمم منفی می‌رسد و باز صفر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، هنگامی که موج سینوسی از صفر می‌گذرد، پلاریته‌ی خود را عوض می‌کند. به عبارت ساده‌تر، موجِ سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می‌کند. مجموعه‌ی یک تناوب مثبت و منفی را یک **سیکل** گویند.

۵ ــ۱۳ــ پریود یا زمان تناوب

همان‌طور که دیدید، موج سینوسی با زمان (t) تغییر می‌کند. بنابراین تعریف، مدت زمانی را که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل به‌وجود آید، **زمان تناوب** یا **پریود** می‌گویند و آن را با حرف T نمایش می‌دهند (شکل ۴ــ۱۳ ــ الف).

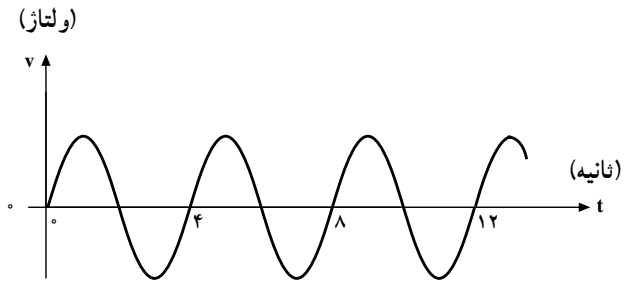


شکل ۳ــ۱۳ــ موج سینوسی



شکل ۴ــ۱۳ــ پریود یک موج سینوسی

مثال ۱: در شکل ۵ــ۱۳ پریود موج سینوسی را به دست آورید.



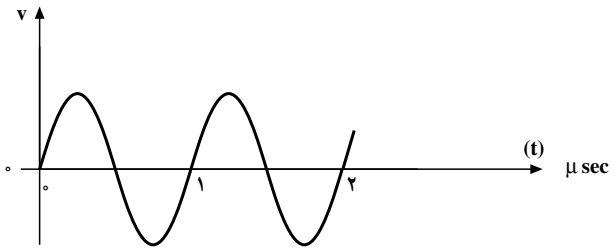
شکل ۵ــ۱۳

راه حل: فاصله‌ی بین دو صفر متوالی مشابه را که مقادیر آن مشخص شده است، در نظر می‌گیریم.

ثانیه $T = ۴$

مثال ۲: در شکل ۶ــ۱۳ سه روش برای اندازه‌گیری پریود پیدا کنید.

راه حل:



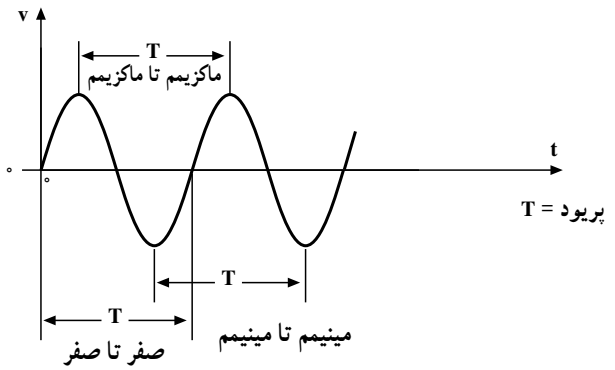
شکل ۶ــ۱۳

روش اوّل ــ پریود را می‌توان از یکی از صفرها در سیکل اول تا صفر مشابه در سیکل دوم اندازه گرفت.

روش دوّم ــ پریود را می‌توان بین دو پیک (ماکزیمم) مثبتِ متوالی اندازه گرفت.

روش سوم ــ پریود را می‌توان بین دو پیک (ماکزیمم) منفیِ متوالی اندازه گرفت.

شکل ۷ــ۱۳ سه روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

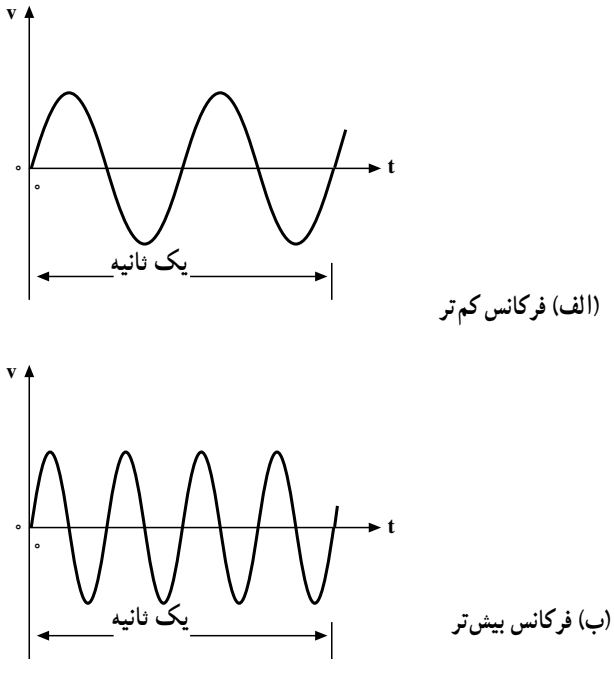


شکل ۷ــ۱۳

۶ــ۱۳ــ فرکانس

بنا به تعریف، تعداد سیکل‌هایی را که در یک ثانیه پیموده می‌شود، **فرکانس** گویند و آن را با حرف f نشان می‌دهند.

واحد فرکانس را **سیکل بر ثانیه** (cps)[1] یا **هرتز** (Hz) می‌نامند. هرچه تعداد سیکل‌ها در ثانیه بیش‌تر باشد، فرکانس بیش‌تر است. شکل ۸ــ۱۳ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که موج (الف) دو سیکل و موج (ب) چهار سیکل را در ثانیه طی می‌کنند ؛ یعنی، فرکانس موج (الف) ۲ هرتز و فرکانس موج (ب) چهار هرتز است.



شکل ۸ــ۱۳ــ نمایش فرکانس

---

۱ ــ cps مخفف کلمات cycle per second و به معنای سیکل بر ثانیه است. واحدهای بزرگ‌تر فرکانس عبارت‌اند از : کیلوهرتز ($۱۰^{۳}$ Hz)، مگا هرتز ($۱۰^{۶}$ Hz) و گیگاهرتز ($۱۰^{۹}$ Hz).

مقدار فرکانس با توجه به کاربرد آن مقادیر خاصی دارد ؛ مثلاً فرکانس برق شهر در ایران ۵۰ هرتز یا ۵۰cps است. یعنی برق شهر در ایران ۵۰ سیکل کامل را در یک ثانیه طی می‌کند. فرکانس برق در بعضی از کشورها ۶۰ هرتز (۶۰cps) است فرکانس جریان یا ولتاژ متناوب را می‌توان با فرکانس متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) یا اسیلوسکوپ (دستگاه نمایش شکل موج) اندازه گرفت. با توجه به مطالب گفته شده، رابطه‌ی بین فرکانس و پریود را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$f = \frac{۱}{T} \quad \text{هرتز}$$

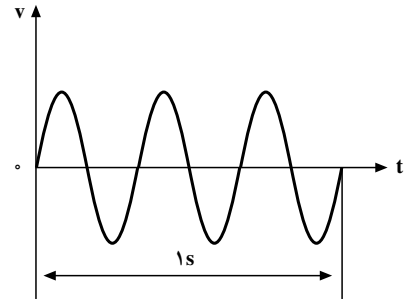
$$T = \frac{۱}{f} \quad \text{ثانیه}$$

با توجه به این روابط، هرقدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب (پریود) کاهش پیدا می‌کند ؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

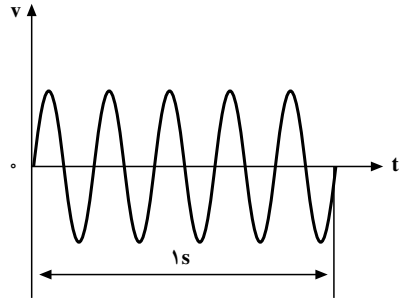
مثال ۳: با توجه به شکل ۹ــ۱۳

الف ــ فرکانس کدام موج بیش‌تر است؟

ب ــ مقادیر پریود و فرکانس را حساب کنید.



الف



ب

شکل ۹ــ۱۳

راه حل: موج الف ۳ سیکل و موج ب ۵ سیکل را در ثانیه طی کرده‌اند. پس فرکانس موج ب بیش‌تر است.

موج الف ثانیه $T = \frac{۱}{۳} \cong ۰/۳۳$ و $F = ۳HZ$ با شمارش

موج ب ثانیه $T = \frac{۱}{۵} = ۰/۲$ و $F = ۵HZ$ با شمارش

در صنعت برای پریود از واحدهای کوچک‌تر و برای فرکانس از واحدهای بزرگ‌تراستفاده می‌کنند.این واحدها به صورت زیر نوشته می‌شوند.

$$T \begin{cases} (۱ms) = ۱۰^{-۳}s & \text{یک میلی ثانیه} \\ (۱\mu s) = ۱۰^{-۶}s & \text{یک میکرو ثانیه} \\ (۱ns) = ۱۰^{-۹}s & \text{یک نانوثانیه} \end{cases}$$

$$f \begin{cases} (۱kHz) = ۱۰^{۳}Hz & \text{یک کیلوهرتز} \\ (۱MHz) = ۱۰^{۶}Hz & \text{یک مگا هرتز} \\ (۱GHz) = ۱۰^{۹}Hz & \text{یک گیگاهرتز} \end{cases}$$

مثال ۴: اگر پریود یک موج سینوسی ۱۰ میلی ثانیه باشد، فرکانس آن‌چه‌قدر است؟

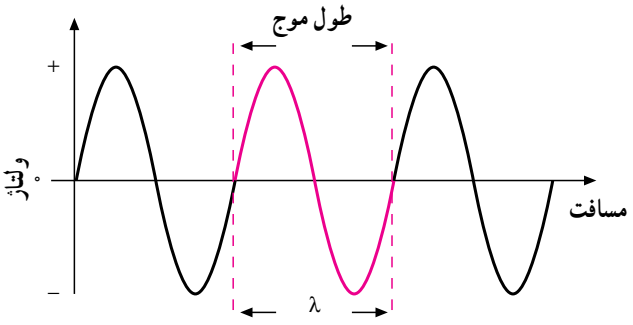
راه حل: $f = \frac{۱}{T} = \frac{۱}{۱۰\times۱۰^{-۳}(s)} = ۱۰۰Hz$

مثال ۵: فرکانس یک موج سینوسی ۶۰ هرتز است. پریود آن چه‌قدر است؟

راه حل: $T = \frac{۱}{f} = \frac{۱}{۶۰Hz} = ۱۶/۶۷(ms)$

۷ــ۱۳ــ طول موج

وقتی تغییرات ولتاژ به جای زمان برحسب مسافت بررسی می‌شود، یک سیکل شامل یک طول موج خواهد بود. به تعبیر دیگر، مسافتی را که یک موج در یک سیکل کامل طی می‌کند، **طول موج** گویند. (شکل ۱۰ــ۱۳). طول موج به سرعت انتشار موج و تغییرات فرکانس بستگی دارد. بدین ترتیب که با سرعت انتشار موج، نسبت مستقیم و با تغییرات فرکانس، نسبت عکس دارد. طول موج را با حرف λ (لاندا) نمایش می‌دهند و رابطه‌ی



شکل ۱۰ــ۱۳ــ نمایش طول موج در یک موج سینوسی

آن به صورت زیر است.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f}$$

C سرعت نور یا امواج الکترومغناطیسی، یعنی ۳×۱۰^{۸} متر بر ثانیه و f فرکانس بر حسب هرتز و λ برحسب متر است.

مثال ۶: طول موج یک صدا با فرکانس ۱۰۰Hz که به وسیله‌ی بلندگویی پخش می‌شود، چه‌قدر است؟ (سرعت صوت ۳۴۰m/sec فرض شود.)

راه حل:

$$V = ۳/۴\times۱۰^{۲} \quad \text{متر/ثانیه}$$

$$f = ۱۰۰Hz$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{۳/۴\times۱۰^{۲}}{۱۰۰} = ۳/۴ \ (m)$$

مثال ۷: طول موج یک موج رادیویی بـا فرکانس ۳ گیگاهرتز چه‌قدر است؟

$$c = ۳\times۱۰^{۸} \quad m/s$$

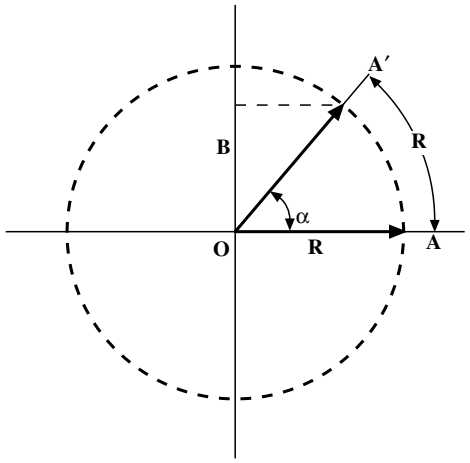
$$f = ۳\times۱۰^{۹} \quad Hz$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۳\times۱۰^{۹}} = ۰/۱m = ۱۰(cm)$$

۸ــ۱۳ــ سرعت زاویه‌ای

سرعت را با مقدار مسافتی که یک متحرک در واحد زمان طی می‌کند، می‌سنجند؛ مثلاً وقتی می‌گویند سرعت یک اتومبیل ۸۰ کیلومتر برساعت است، یعنی این وسیله‌ی نقلیه در هر ساعت ۸۰ کیلومتر راه می‌رود. اگر سرعت ثابت باشد، رابطه‌ی سرعت و مسافت طی شده در واحد زمان به صورت $V = \frac{x}{t}$ است که در آن V سرعت، x مسافت طی شده و t زمان می‌باشد. حال اگر این مسافت به صورت خط مستقیم نباشد و پیرامون یک مسیرِ دایره شکل باشد، برای بیان سرعت از اصطلاح سرعت زاویه‌ای استفاده می‌کنند و آن را با اُمگا (ω) نشان می‌دهند.

برای محاسبه‌ی سرعت زاویه‌ای (ω)، شکل ۱۱ــ۱۳ را ــ که دایره‌ای به شعاع R است ــ در نظر می‌گیریم. در این شکل، متحرک A′ از نقطه‌ی A روی محیط دایره حرکت می‌کند. هرگاه مسافتی از محیط دایره ــ که به اندازه‌ی شعاع (R) است ــ پیموده شود، یک رادیان پیموده شده است.



شکل ۱۱ــ۱۳ــ نمایش سرعت زاویه‌ای و مسافت طی شده نسبت به زمان

زاویه‌ای را که متحرک از A تا A′ پیموده است، با α نمایش می‌دهند. در صورتی که AA′ برابر R باشد، مقدار زاویه‌ی α برابر یک رادیان یا ۵۷/۳° خواهد بود.

زاویه‌ای را که در واحد زمان طی شود، با ω نشان می‌دهند و آن را سرعت زاویه‌ای می‌خوانند؛ بنابراین اگر سرعت زاویه‌ای ثابت باشد، رابطه‌ی زیر را برای سرعت زاویه‌ای می‌توان نوشت.

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

این رابطه عیناً شبیه رابطه‌ی $V = \frac{x}{t}$ است که x و α مسافت‌های پیموده شده برحسب متر و رادیان می‌باشند.

زاویه‌ی پیموده شده در یک دور کامل ــ یعنی در زمان یک پریود ــ برابر ۳۶۰ درجه یا ۲π رادیان است. در این صورت، رابطه‌ی سرعت زاویه‌ای برابر است با

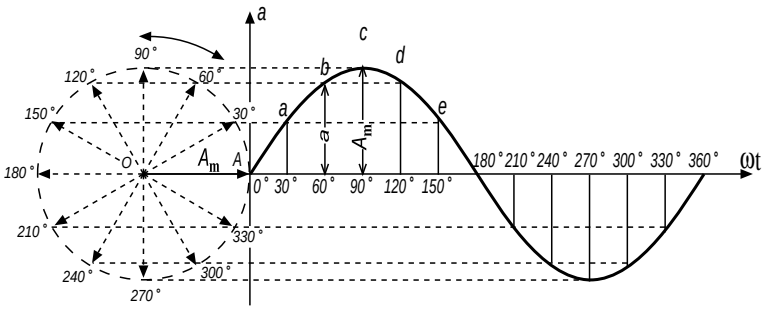
$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{۲\pi Rad}{T sec}$$

از طرفی، می‌دانیم، $T = \frac{1}{f}$. پس

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

۹ــ۱۳ــ معادله‌ی زمانی جریان یا ولتاژ سینوسی

در اثر گردش یک سیم پیچ با قاب مستطیل شکل در میدان مغناطیسی آهن‌ربای دائم، ولتاژی روی سیم‌پیچ القا یا تولید می‌شود. شکل موج این ولتاژ در لحظات مختلف در شکل ۱۲ــ۱۳ ترسیم شده است.



شکل ۱۲ــ۱۳ــ نمایش موج سینوسی ولتاژ

شعاع دایره یعنی OA با ماکزیمم دامنه‌ی موج ایجاد شده برابر است. با گردش سیم‌پیچی OA و طی ۳۰ درجه، ولتاژ القا شده دامنه‌ای برابر a تا محور افقی دارد و در ۶۰ درجه، دامنه‌ی ولتاژ برابر b تا محور افقی خواهد بود. پس با توجه به زاویه‌ی چرخش $\alpha = 30^\circ$ و دامنه‌ی ولتاژ القا شده (a) می‌توان نوشت :

$$\sin\alpha = \frac{a}{A_m}$$

a دامنه‌ی ولتاژ لحظه‌ای (U) و A_m دامنه‌ی ولتاژ ماکزیمم (U_{max}) است ؛ بنابراین، ولتاژ القا شده در هر لحظه برابر است با حداکثر دامنه‌ی موج در سینوس زاویه‌ی آن، یعنی :

$$a = A_m \sin\alpha$$

$$U = U_{max} \sin\alpha \quad \text{یا}$$

قبلاً دانستیم که $\alpha = \omega t$

پس $U = U_{max} \sin\omega t$

معادله‌ی جریان نیز به همین صورت اثبات می‌شود ؛ یعنی :

$$i = I_{max} \sin\omega t$$

یا $i = I_{max} \sin\alpha$

مثال ۸ : معادله‌ی ولتاژ متناوبی را بنویسید که فرکانس آن ۶۰ هرتز و ماکزیمم ولتاژ آن ۱۵۶ ولت باشد.

راه حل: سرعت زاویه‌ای ω برابر با $2\pi f$ است. پس :

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3/14 \times 60$$

$$\omega = 376/8 \text{ Rad/sec} \simeq 377 \text{ Rad/sec}$$

$$U_{max} = 156V$$

$$U = U_{max} \sin\omega t$$

$$U = 156 \sin 377t$$

مثال ۹ : مقدار لحظه‌ای ولتاژ مثال شماره‌ی ۸ را در پایان $t = 0/002$ ثانیه به دست آورید.

راه حل:

$$U = 156 \sin 377t$$

$$t = 0/002 \text{ sec}$$

$$U = 156 \sin 377 \times 0/002$$

$$U = 156 \sin 0/754$$

چون ω بر حسب رادیان و هر رادیان برابر ۵۷/۳ درجه است، پس

$$U = 156 \sin(0/754 \times 57/3^\circ)$$

$$U = 156 \sin 43/2^\circ$$

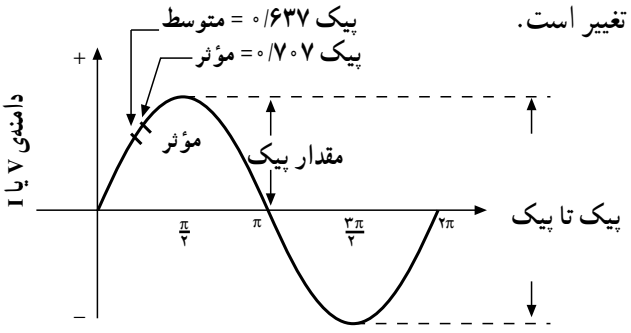
با استفاده از جدول مثلثاتی

$$\sin 43/2^\circ \simeq 0/685$$

$$U = 156 \times 0/685 \cong 107 \quad \text{ولت}$$

۱۰ــ۱۳ــ مقادیر ماکزیمم ولتاژ و جریان موج سینوسی

دامنه‌ی ولتاژ مستقیم (DC) همواره ثابت است. ولی در ولتاژ متناوب (AC) در هر لحظه دامنه و جهت ولتاژ در حال تغییر است.

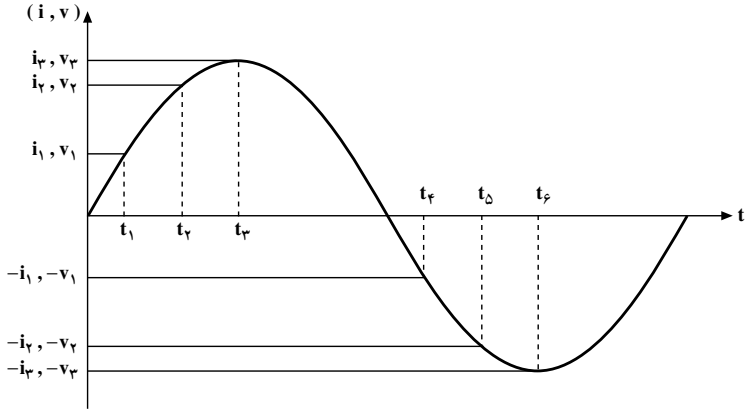


شکل ۱۳ــ۱۳

در ولتاژ AC اوّلین چیزی که باید مورد ملاحظه قرار گیرد، مقدار پیک ولتاژ یا دامنه‌ی ماکزیمم آن است. در شکل ۱۳ــ۱۳ ولتاژ متناوب (AC) نشان داده شده که شامل پیک مثبت و پیک منفی است. مقدار پیک تا پیک ولتاژ AC عبارت از فاصله‌ی بالاترین نقطه‌ی پیک مثبت و پایین‌ترین نقطه‌ی پیک منفیِ شکل موج است. فاصله‌ی بین صفر (محور افقی زمان) تا مثبت‌ترین (بالاترین) نقطه‌ی شکل موج یا فاصله‌ی بین صفر تا منفی‌ترین (پایین‌ترین) نقطه‌ی شکل موج، **پیک** نامیده می‌شود. در موج سینوسی مقدار پیک برابر $\frac{۱}{۲}$ پیک تا پیک است. با استفاده از اسیلوسکوپ می‌توان مقادیر پیک و پیک تا پیک را اندازه گرفت.

۱۱ــ۱۳ــ مقادیر لحظه‌ای

گاهی ممکن است که به دانستن مقدار لحظه‌ای یک ولتاژ یا جریان نیاز داشته باشیم. طبق شکل ۱۴ــ۱۳ ولتاژ یا جریان، در هر زمان مقادیر خاص خود را دارند که به آن‌ها **مقادیر لحظه‌ای** می‌گویند. بدیهی است که در تناوب مثبت، مقدار لحظه‌ای مثبت و در تناوب منفی، مقدار لحظه‌ای منفی خواهد بود.

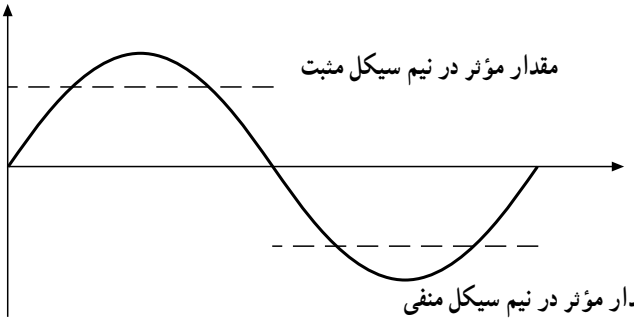


شکل ۱۴ــ۱۳ــ نمایش مقادیر لحظه‌ای

مقادیر لحظه‌ای را با حروف کوچک v و i نشان می‌دهند. در اغلب موارد هیچ کدام از مقادیر پیک تا پیک یا لحظه‌ای قادر نیستند اندازه‌ی واقعی ولتاژ یا جریان را بیان کنند و به جای آن‌ها اغلب از دو مقدار دیگر به نام‌های مقدار متوسّط (Average) و مقدار مؤثر (Effective) استفاده می‌کنند.

۱۲ــ۱۳ــ مقدار مؤثّر (Rms[۱])

مقدار مؤثّر هر ولتاژ متناوب، برابر است با مقدار ولتاژ مستقیم یا DC که در یک مصرف کننده‌ی معین به همان مقدار کار یا حرارت تولید می‌کند. به عبارت دیگر، مقدار جریان مستقیمی را که اثر حرارتی آن در یک مدت معین در یک مصرف کننده برابر اثر حرارتی AC مورد نظر باشد، مقدار مؤثر (Effective) آن جریان AC می‌گویند. ولتاژ مؤثّر در یک موج سینوسی برابر ۷۰/۷٪ یا $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$ مقدار ماکزیمم است (شکل ۱۵ــ۱۳).



شکل ۱۵ــ۱۳ــ مقدار مؤثّر (Rms) یک موج سینوسی کامل ۰/۷۰۷ مقدار پیک

برای مثال، اگر بخواهند مقدار مؤثّر ۲۰ ولت پیک تا پیک را به دست آورند، ابتدا آن را بر ۲ تقسیم کرده و سپس در ۰/۷۰۷ ضرب می‌کنند. بنابراین:

$$U_{\text{مؤثر}} = ۰/۷۰۷ V_p \quad \text{ولت}$$

$$\frac{۲۰}{۲} U_{P-P} = ۱۰ V_P = ۱۰ V_m$$

$$U_{\text{مؤثر}} = ۱۰ V_P \times ۰/۷۰۷ = ۷/۰۷ \quad \text{ولت}$$

$$U_{\text{مؤثر}} = ۰/۷۰۷ U_{max} = ۰/۷۰۷ U_P \quad \text{ولت}$$

$$I_{\text{مؤثر}} = ۰/۷۰۷ I_{max} = ۰/۷۰۷ I_P \quad \text{آمپر}$$

در محاسبه‌ها، فرمول کلی را به صورت:

$$U_{\text{مؤثر}} = \frac{V_P}{\sqrt{۲}} \quad \text{یا} \quad U_p = ۱/۴۱۴ V_{\text{مؤثر}}$$

می‌نویسند. چنان‌چه فرمول $U_{\text{مؤثر}}$ برحسب ولتاژ پیک تا پیک نوشته شود، مقدار آن برابر با $U_{P-P} = ۲/۸۲۸ V_{rms}$ خواهد بود.

۱ــ Rms مخفّف کلمات Root mean square به معنای جذر میانگین مربّعات یا مقدار مؤثّر است.

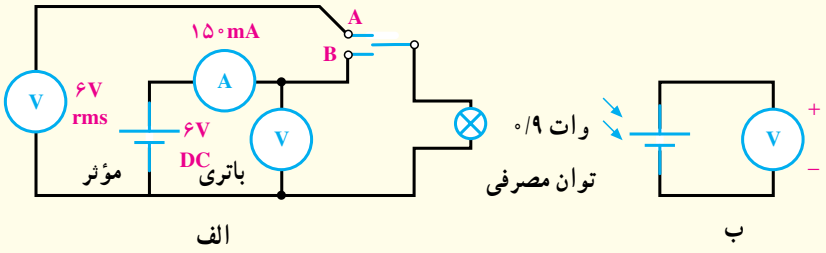
مطالعه‌ی آزاد

آزمایش ۱

هدف: به‌دست آوردن اثرات ولتاژ مستقیم (DC) و ولتاژ مؤثّر AC

نتیجه: یکسان بودن اثرات ولتاژ DC و ولتاژ مؤثّر AC

برای درک بهتر به شکل ۱۶ــ۱۳ الف توجه کنید که در آن از دو منبع ولتاژ مستقیم (DC) و منبع متناوبی که ولتاژ مؤثر آن برابر با منبع DC باشد، استفاده شده است.



شکل ۱۶ــ۱۳

طبق شکل، مقدار ولتاژ مستقیم ۶ ولت و ولتاژ موثّر AC نیز ۶ ولت است. مقدار قدرتی که در لامپ مصرف می‌شود، برابر ۰/۹ وات است. شکل ۱۶ــ۱۳ ب، از یک فتوسلِ متصل به یک ولت‌متر تشکیل شده است. مقدار ولتاژ حاصل در دو سر ولت‌متر در اثر نورگرفته شده از لامپ در هر دو حالت برابر خواهد شد. برای اجرای آزمایش، ابتدا کلید را در حالت A قرار می‌دهیم و ولتاژ دو سر شکل ۱۶ــ۱۳ ب را اندازه می‌گیریم. سپس، کلید را در حالت B قرار می‌دهیم و بار دیگر مقدار ولتاژ دو سر فتوسل را اندازه‌گیری می‌کنیم. می‌بینیم که در هر دو اندازه‌گیری، مقدار ولتاژی را که ولت‌مترِ شکل ۱۶ــ۱۳ ب نشان می‌دهد یکسان است، بنابراین، به عنوان نتیجه، می‌توان اثرات حرارتی دو ولتاژ مستقیم (DC) باتری و ولتاژ متناوب مؤثر (rms) را یکی دانست.

مثال ۱۰: ولتاژ ۲۲۰ ولت منازل تک فاز چند ولت پیک تا پیک است؟

راه حل:

$$U_{\text{مؤثر}} = \frac{V_P}{\sqrt{۲}}$$

$$U_P = U_{\text{مؤثر}} . \sqrt{۲} = ۲۲۰ \times ۱/۴۱ = ۳۱۱ \text{ ولت}$$

$$U_{P-P} = ۲U_P = ۲ \times ۳۱۱ = ۶۲۲ \text{ ولت}$$

۱۳ــ۱۳ــ مقدار متوسط (Average) موج سینوسی

مقدار متوسط یک ولتاژ یا جریان متناوب از میانگین مقادیر لحظه‌ای آن در یک نیم سیکل به دست می‌آید. مقدار متوسط یک سیکل کامل ولتاژ یا جریان برابر صفر است ؛ زیرا میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل مثبت و منفی صفر خواهد بود. مقدار متوسط ولتاژ AC را می‌توان از طریق مقدار متوسط سینوس زوایای حاصل از چرخش سیم‌پیچ در میدان مغناطیسی در نیم‌سیکل موج سینوسی به‌دست آورد.

در جدول ۱ــ۱۳ مقادیر لحظه‌ای متوسّط حاصل از نیم‌سیکل آمده است.

جدول ۱ــ۱۳

میانگین	۱۸۰°	۱۶۰°	۱۴۰°	۱۲۰°	۱۰۰°	۸۰°	۶۰°	۴۰°	۲۰°	زاویه
$\frac{۵/۶۸۸}{۹}=۰/۶۳۵$ مقدار متوسط یا Average	۰	۰/۳۴۲	۰/۶۲۴	۰/۸۶۶	۰/۹۸۴	۰/۹۸۴	۰/۸۶۶	۰/۶۴۲	۰/۳۴۲	$\sin\theta$

برای مثال، اگر مقدار پیک یک ولتاژ سینوسی را یک ولت در نظر بگیریم، مقدار متوسّط آن برابر ۰/۶۳۵ ولت است و چنان‌چه ولتاژ متوسط را برحسب ولتاژ پیک یا پیک تا پیک بنویسیم، فرمول آن‌ها به قرار زیر است.

$U_{Ave}=۰/۶۳۵U_P$ ولت

$I_{Ave}=۰/۶۳۵I_P$ آمپر

نسبت‌های ولتاژ متوسّط، مؤثّر و پیک تا پیک به قرار زیر است.

$$\frac{U_{(مؤثر)}}{U_{(متوسط)}}=۱/۱۱$$

$U_{مؤثر}=۰/۷۰۷U_P$

$U_{P-P}=۲/۸۲۸U_{rms}$

مثال ۱۱: مقدار ۲ ولت پیک تا پیک چند ولت متوسّط است؟

راه حل:

$U_{Ave}=۰/۶۳۵U_P$

$U_{P-P}=۲U_P$

$$U_{Ave}=\frac{۰/۶۳۵U_{p-p}}{۲}=۰/۶۳۵\times\frac{۲}{۲}=۰/۶۳۵$$ ولت

$U_{Ave}=۰/۶۳۵$ ولت

مثال ۱۲: مقدار جریان برق منزلی ۱۵ آمپر است. مقدار جریان متوسّط آن را معلوم کنید.

راه حل: جریان اندازه‌گیری شده همان مقدار مؤثر جریان است؛ پس

$I_{rms}=۱۵$ آمپر

$$\frac{I_{rms}}{I_{Ave}}=۱/۱۱$$

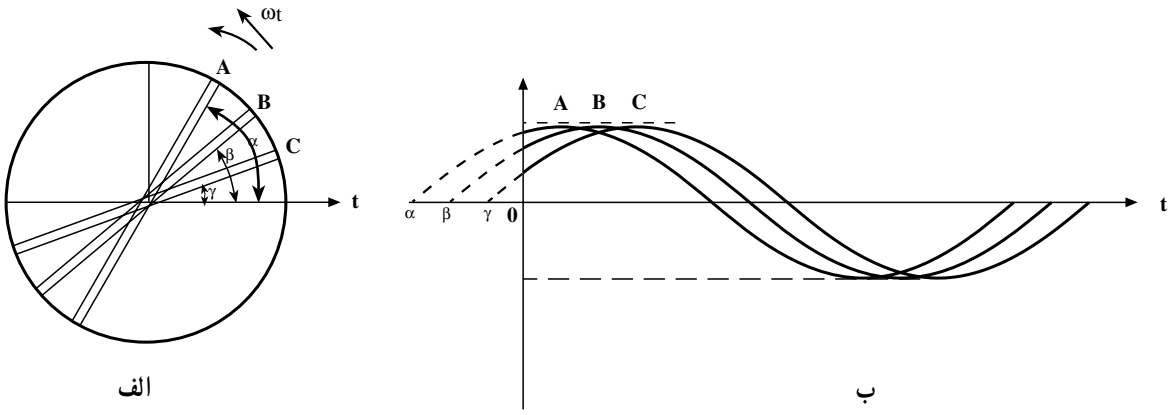
$$\frac{۱۵}{۱/۱۱}=I_{Ave}$$

$I_{Ave}=۱۳/۵۱$ آمپر

۱۴ــ۱۳ــ اختلاف فاز[1]

در جریان متناوب، اختلاف فاز عبارت از رابطه‌ی لحظه‌ای بین دو موج سینوسی است. در شکل ۱۷ــ۱۳ A، B و C حلقه‌های سیمی مجزا از هم هستند و در داخل میدان مغناطیسی می‌چرخند. در اثر حرکت دورانی، هر حلقه در هر لحظه نسبت به نقطه‌ی شروع (مبنای صفر) فاصله می‌گیرد و اختلاف پتانسیلی نیز در دو سر اتّصال‌های خروجی به‌وجود می‌آورد. به‌طوری که هر یک از این حلقه‌های سیمی نسبت به دیگری اختلاف پتانسیلی دارد و از نظر زمانی جلوتر یا عقب‌تر از دیگری است. برای روشن شدن مطلب با توجه به شکل‌های ۲ــ۱۳ و ۱۷ــ۱۳ چنان‌چه بین دو قطب آهن‌ربا به جای یک حلقه‌ی سیمی، چند حلقه‌ی سیمی را به فاصله‌ی مشخصی از یک‌دیگر نصب کنیم و آن را مطابق شکل ۱۷ــ۱۳ــ الف در داخل میدان مغناطیسی به حرکت درآوریم، هر یک از حلقه‌ها شروع به قطع فلوی مغناطیسی می‌کند و به‌طور مجزّا در دو سر اتّصال‌های خروجی، اختلاف پتانسیل متناوبی را به‌وجود می‌آورند. ولتاژهای به‌وجود آمده به فاصله‌ی کمی از یک‌دیگر تولید می‌شوند؛ بنابراین، امواج سینوسی تولید شده نیز با اختلاف زاویه از یک‌دیگر به‌وجود می‌آیند. این اختلاف زاویه را **اختلاف فاز** می‌گویند. اولین موج به وجود آمده در

۱ــ به موقعیت مکانی یا زمانی یک پدیده را نسبت به یک مبدأ فاز می‌گویند که کلمه‌ای انگلیسی است. phase



الف ب

شکل ۱۷ــ۱۳

مبنای زمان، نسبت به دیگری تقدّم فاز و موج دومی نسبت به موج اوّلی تأخیر فاز خواهد داشت. برای فهم بهتر مسئله، بار دیگر در شکل ۱۷ــ۱۳ سیم‌پیچ‌های A، B و C را ملاحظه کنید. این سیم‌پیچ‌ها نسبت به هم دارای زوایای α و β بوده‌اند و در یک میدان یک‌نواخت با سرعت زاویه‌ای یکسان می‌چرخند. مقادیر نیروهای محرّکه‌ی الکتریکیِ القا شده (اختلاف پتانسیل) در هر سه سیم‌پیچ، یکسان بوده است ولی با یک‌دیگر اختلاف زاویه‌ای دارند. این سه نیروی محرّکه‌ی الکتریکی هم‌زمان به حداکثر و حداقل نمی‌رسند بلکه به دنبال یک‌دیگر حرکت می‌کنند و به‌طور انفرادی به نقاط حداقل و حداکثر خود می‌رسند. طبق شکل ۱۷ــ۱۳ــ ب منحنی‌های A و B و C به اندازه‌ی زوایای α و β از یک‌دیگر فاصله دارند ؛ به‌طوری که منحنی B از منحنی A به اندازه‌ی زاویه‌ی β عقب‌تر است و منحنی B به اندازه‌ی زاویه‌ی α از منحنی C جلوتر می‌باشد ؛ بنابراین، منحنی C به اندازه‌ی (α+β) از منحنی A عقب‌تر خواهد بود که در این‌جا می‌توان از کلمه‌های تقدّم و تأخّر برای زاویه‌های تشکیل شده α و β استفاده کرد یا این که به جای تقدّم و تأخر در زاویه‌ها از کلمه‌ی پیش فاز و پس‌فاز بهره گرفت. بنابراین، یک کمیت متناوب پیش‌فاز آن است که در مقایسه با دیگر کمیّت‌ها زودتر به مقدار حداکثر یا حداقل خود رسیده باشد. هم‌چنین یک کمیّت متناوب پس‌فاز آن است که دیرتر از دیگر کمیّت‌ها به مقدار حداکثر یا حداقل خود رسیده باشد.

مطالعه‌ی آزاد

آزمایش ۲

الف:

هدف: نشان دادن موج سینوسی ــ اندازه‌گیری زمان تناوب و طول موج

وسایل مورد نیاز

۱ــ اسیلوسکوپ

۲ــ مولّد موج سینوسی (دستگاه مولّد فرکانس صوتی یا سیگنال ژنراتور AF)

مراحل آزمایش:

۱ــ اسیلوسکوپ را روشن کنید و مدت کوتاهی صبر کنید تا خطوطی بر روی آن ظاهر شود.

۲ــ دکمه‌ی تنظیم عمودی (Vert position) و افقی (Horiz position) را طوری تنظیم کنید که خطوطی در وسط اسیلوسکوپ ظاهر شوند.

۳ــ دکمه‌ی شدّت روشنایی (intensity) و فوکوس (focus) را جهت به‌وجود آمدن منحنی و یا خطوط

روشن و باریک تنظیم کنید.

۴ــ دکمه‌ی سوئیپ (Sweep Time/cm) را روی ۲ms (میلی ثانیه ۲) قرار دهید.

۵ــ دکمه‌ی دامنه‌ی ولتاژ را روی ۲Volts/cm قرار دهید.

۶ــ دکمه‌ی AC-GND-DC را روی AC (ولتاژ متناوب) قرار دهید.

۷ــ دکمه‌ی هم‌زمانی (Trig level) را در جهت عکس عقربه‌ی ساعت بچرخانید و در موقعیّت Auto قرار دهید.

۸ــ مولّد سیگنال سینوس را روشن کنید.

۹ــ دامنه‌ی ولتاژ را روی مولّد سیگنال دو ولت قرار دهید.

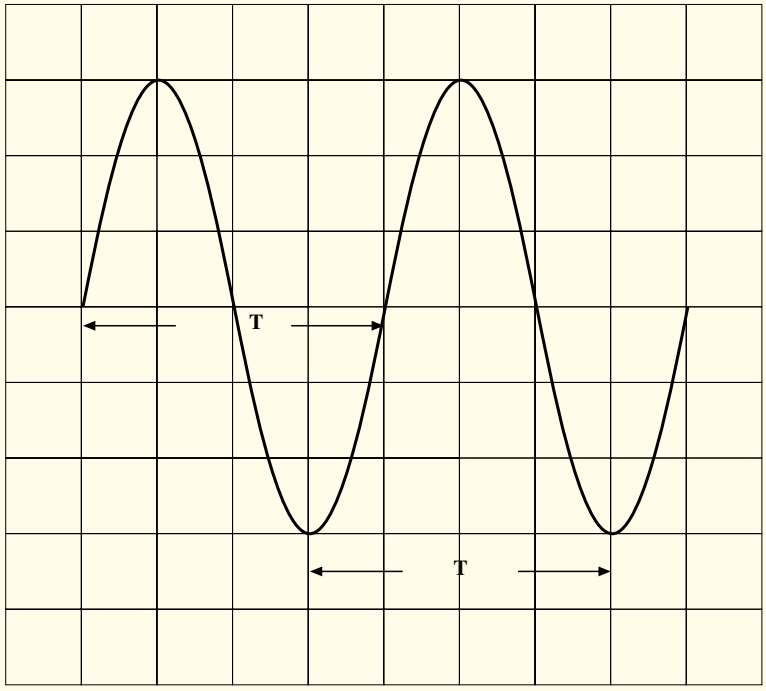
۱۰ــ اتّصال خروجی مولّد سیگنال را به ورودی اسیلوسکوپ وصل کنید.

۱۱ــ دکمه‌ی فرکانس را از ۱۰۰۰ الی ۰ هرتز تغییر دهید ؛ به‌طوری که یک سیکل کامل ۴ عدد از مربّع‌های روی اسیلوسکوپ را طبق شکل ۱۸ــ۱۳ دربرگیرد.

۱۲ــ با توجه به دکمه‌ی ردیف ۴، هر یک از مربع‌های افقی معرّف ۲ms است. مقدار پریود برابر است با تعداد مربّع‌هایی که یک سیکل کامل دربرمی‌گیرد در ۲ms یعنی : ۴×۲ میلی ثانیه یا ۸ میلی ثانیه، مقدار فرکانس با استفاده از فرمول فرکانس برابر است با

$$F = \frac{۱}{\text{Time/cm} \quad \text{تعداد مربع‌ها} \times \text{ضریب دکمه}} = \text{هرتز}$$

$$F = \frac{۱}{۸ \times ۱۰^{-۳}} = ۱۲۵ \quad \text{هرتز}$$



شکل ۱۸ــ۱۳

برای به‌دست‌آوردن طول موج با استفاده از فرمول $\lambda = \frac{c}{f}$ که در آن C سرعت نور ۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰ متر بر ثانیه و f فرکانس بر حسب هرتز و λ طول موج بر حسب متر است.

$$\lambda = \frac{۳۰۰۰۰۰۰۰۰}{۱۲۵} = ۲۴۰۰۰۰۰ \text{ متر}$$

ب:

هدف: تعیین اختلاف فاز دو موج سینوسی هم فرکانس

وسایل مورد نیاز

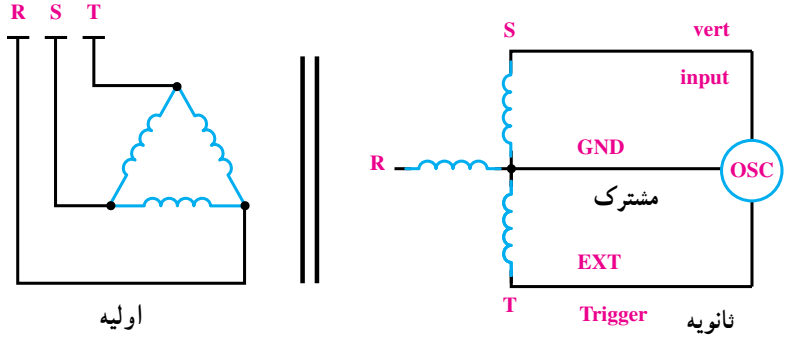
۱ــ اسیلوسکوپ یک کاناله دارای Ext/Sync یا دو کاناله

۲ــ برق شهر سه فاز

۳ــ ترانسفورماتور کاهنده‌ی سه فاز

مراحل آزمایش

۱ــ اتّصال ورودی اسیلوسکوپ را مطابق شکل ۱۹ــ۱۳وصل کنید ؛ به طوری که اتّصال مشترک (GND) اسیلوسکوپ به اتّصال مشترک ترانس و اتّصال ورودی (Vert input) به یکی از اتّصال‌های خروجی ترانس و اتّصال دیگر ترانس به قسمت Ext/trigger اسیلوسکوپ وصل شود.



شکل ۱۹ــ۱۳

۲ــ دکمه‌ی Time/cm را روی y قرار دهید. یکی از منحنی‌های زیر، روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ ظاهر خواهد شد (شکل ۲۰ــ۱۳).

شکل ۲۰ــ۱۳

مطابق شکل ۲۰ـ۱۳ منحنی الف، معرّف ۱۸۰ درجه اختلاف فاز و منحنی ب دارای ۹۰ درجه اختلاف فاز و منحنی پ صفر درجه اختلاف فاز خواهد بود. چنان‌چه منحنی ت ظاهر شود، آن وقت با استفاده از نسبت‌های مثلثاتی که هم‌واحد هستند، مقدار نسبت B به A مشخص می‌شود. در این آزمایش، اختلاف فاز بین دو فاز ۱۲۰ درجه نیز نسبت بین B به A تقریباً برابر ۰/۸۶۶ خواهد شد.

خلاصه‌ی مطالب

* دامنه‌ی ولتاژ متناوب دائماً تغییر می‌کند و در هر نیم پریود پلاریته‌ی آن عوض می‌شود. چنان‌چه ولتاژ متناوب به یک مقاومت اهمی داده شود، جریان متناوب در آن جاری خواهد شد.
* مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک موج کامل به‌وجود آید، **پریود** نام دارد و آن را با T نشان می‌دهند. تعداد پریود را در واحد زمان، **فرکانس** می‌نامند و رابطه‌ی آن $f = \frac{1}{T}$ است.
* یک موج کامل سینوسی ۳۶۰ درجه یا 2π رادیان است. سرعت زاویه‌ای را با فرمول $\frac{\alpha}{t}$ بیان می‌کنند که در آن α زاویه‌ی به وجود آمده از محیط دایره در زمان t است.
* مقدار مؤثر (rms) یک موج سینوسی برابر با ۰/۷۰۷ مقدار پیک (ماکزیمم) می‌باشد.
* مقدار متوسط نیم موج سینوسی (نیم سیکل) برابر با ۰/۶۳۵ ضرب در مقدار پیک آن موج است.
* مقدار پیک تا پیک هر موج دو برابر مقدار پیک (ماکزیمم) یا ۲/۸۲۴ ضرب در مقدار rms یک موج کامل ac است.
* زاویه‌ی اختلاف فاز عبارت است از اختلاف زاویه‌ی بین دو موج که فرکانس یکسان دارند.

پرسش

۱ـ ولتاژ متناوب و ثابت را تعریف کنید.

۲ـ دو سیکل کامل یک موج دندانه ارّه‌ای و مربّعی را که دارای مقدار پیک تا پیک ۴۰ ولت است، رسم کنید.

۳ـ مقدار ولتاژ پیک ِیک موج سینوسی برابر با یک ولت است مقدار مؤثر، متوسط، پیک تا پیک ولتاژ را به دست آورید.

۴ـ با رسم سه موج سینوسی، اختلاف زاویه‌ی آن‌ها را که اوّلی نسبت به دومی ۳۰ درجه جلوتر و دومی نسبت به سومی ۴۵ درجه جلوتر است، نشان دهید.

۵ـ مقدار ولتاژ لحظه‌ای برق شهر را که دارای فرکانس ۵۰ هرتز و مقدار مؤثر ۲۲۰ ولت است، در زاویه‌های صفر، ۳۰، ۴۵، ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰، ۳۶۰ درجه پیدا کنید.

۶ـ زاویه‌ی فاز 90° برابر با چند رادیان است؟

۷ـ منبع ولتاژ ۲۲۰ ولت AC را به یک مقاومت ۲۰ اهمی اتّصال داده‌ایم ؛

الف) مقدار جریان rms در مقاومت را معلوم کنید.

ب) فرکانس جریان برق چه‌قدر است؟ اگر ۱۰۰ رادیان بر ثانیه باشد.

پ) مقدار اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را تعیین کنید.

ت) چه مقدار ولتاژ (dc) مورد نیاز است تا معادل ولتاژ مؤثّر در یک مقاومت معین حرارت تولید شود؟

۸ــ فرکانس امواج (AC) زیر چه‌قدر است؟

الف ــ ده سیکل در یک ثانیه

ب ــ یک سیکل در $\frac{۱}{۱۰}$ ثانیه

پ ــ ۵۰ سیکل در یک ثانیه

ت ــ ۵۰ سیکل در ۵ ثانیه

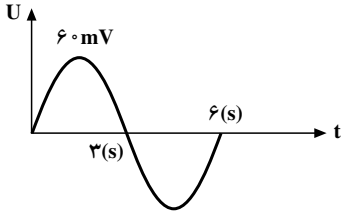
۹ــ پریود T را برای فرکانس‌های زیر محاسبه کنید.

الف ــ ۵۰۰ هرتز (Hz)

ب ــ ۵ مگا هرتز (MHz)

پ ــ ۵ گیگاهرتز (GHz)

۱۰ــ در شکل ۲۱ــ۱۳ مقادیر U_{rms} ، پریود (T) و فرکانس را محاسبه کنید.



شکل ۲۱ــ۱۳

مسائل

۱ــ جریان متناوبی دارای ماکزیمم مقدار ۲۰A است، رابطه‌ی آن‌را بنویسید و مقدار لحظه‌ای آن را در موقعی که زاویه‌ی α برابر با ۱۸°، ۶۷°، ۱۳۶°، ۲۴۲° و ۳۲۶° درجه باشد، مشخص کنید.

۲ــ مقدار لحظه‌ای نیروی محرّکه‌ی جریان متناوبی در ۱۷° برابر با ۳۴/۲ ولت است. مقدار ماکزیمم آن چه‌قدر است؟

(جواب : ۱۱۶/۹۷ ولت)

۳ــ مقدار لحظه‌ای نیروی محرکه‌ی متناوبی در ۳۳۴/۴ درجه برابر با ۱۹۰− ولت است. مقدار ماکزیمم آن را به دست آورید.

(جواب : ۴۳۹/۸ ولت)

۴ــ مقدار لحظه‌ای ولتاژ متناوب سینوسی را در ۲π رادیان به دست آورید ؛ در صورتی که مقدار ماکزیمم ولتاژ آن ۱۶۵ ولت باشد.

(جواب : صفر)

۵ــ سیم‌پیچی در داخل میدان مغناطیسی دارای حرکت دورانی است. در چه زاویه‌ای مقدار ولتاژ لحظه‌ای ۰/۷ برابر مقدار ماکزیمم خواهد بود؟

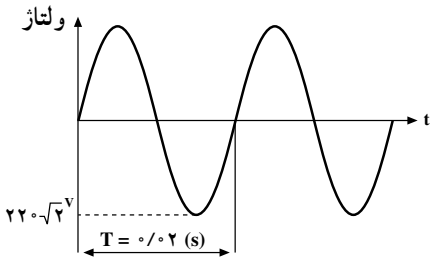
(جواب : تقریباً ۴۵°)

۶ــ جریانی به معادله‌ی $I=۱۰۰\sin\omega t$ از یک مقاومت ۱۰ اهمی عبور می‌کند. معادله‌ی ولتاژ آن را بنویسید.

(جواب : $v=۱۰۰۰\sin\omega t$)

۷ــ مقدار ولتاژ منحنی شکل ۲۲ــ۱۳ را در $\frac{T}{۲}$ حساب کنید. فرکانس و مقدار مؤثر آن چه‌قدر است؟

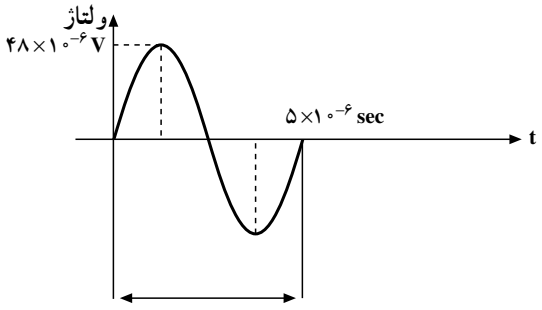
(جواب: ۰V ، ۵۰ هرتز ، ۲۲۰ ولت)



شکل ۲۲ــ۱۳

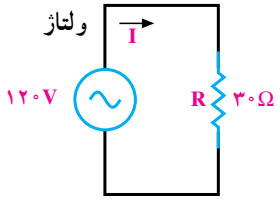
۸ــ مطلوب است محاسبه‌ی مقادیر مؤثر، زمان تناوب، فرکانس و دامنه P-P شکل ۲۳ــ۱۳.

(جواب : $۹۶\mu V - ۲۰۰KHz - ۵\times۱۰^{-۶}se - ۳۳/۹\mu V$)



شکل ۲۳ــ۱۳

۹ــ در مدار شکل ۲۴ــ۱۳ مقادیر I_t ، V_{max} ، V_{P-P} ، V_{ave} ، I_{max} ، I_{P-P} ، I_{ave} و توان (P) را در مقاومت R به‌دست آورید.



شکل ۲۴ــ۱۳