C7H9Q3

അധ്യായം 7

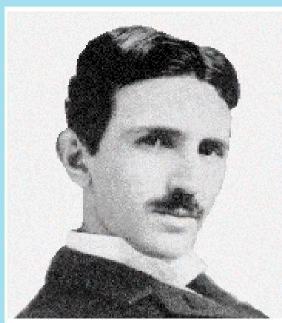
പ്രത്യാവർത്തിധാരാ വൈദ്യുതി (Alternating Current)

7.1 ആമുഖം

നാം ഇതുവരെ നേർധാരാ വൈദ്യുത (dc) സ്രോതസ്സുകളെയും അതുപയോഗിച്ചുള്ള സെർക്കീട്ടുകളെയുമാണ് പരിഗണിച്ചിരുന്നത്. ഇത്തരത്തിലുള്ള കറന്റിന്റെ ദിശ സമയത്തിനനുസരിച്ച് മാറുന്നില്ല. എന്നാൽ സമയത്തിനനുസരിച്ച് വോൾട്ടേജും കറന്റും മാറുന്നത് വളരെ സാധാരണമാണ്. നമ്മുടെ വീടുകളിലും ഓഫീസുകളിലുമുള്ള ഇലക്ട്രിക് മെയിൻ വിതരണത്തിൽ വോൾട്ടേജ് സമയത്തിനനുസരിച്ച് ഒരു സൈൻ ഫലനം (sinusoidal) പോലെ മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഇത്തരത്തിലുള്ള വോൾട്ടേജിനെ പ്രത്യാവർത്തിധാര വോൾട്ടേജ് (Alternating Voltage or ac voltage) എന്നും ഇതു മൂലമുണ്ടാകുന്ന കറന്റിനെ പ്രത്യാവർത്തിധാരാ വൈദ്യുതി (Alternating Current or ac current)* എന്നും വിളിക്കുന്നു. ഇന്ന് നാം ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒട്ടുമിക്ക ഇലക്ട്രിക് ഉപകരണങ്ങൾക്കും ac വോൾട്ടേജ് ആവശ്യമാണ്. ഇതിനുള്ള പ്രധാന കാരണം വൈദ്യുത കമ്പനികൾ വിൽക്കുന്ന വൈദ്യുതോർജത്തിലധികവും എത്തിക്കുന്നതും വിതരണം ചെയ്യുന്നതും ac രൂപത്തിൽ ആയതാണ്. വോൾട്ടേജിന്റെ അളവ് എളുപ്പത്തിലും കാര്യക്ഷമമായും ട്രാൻസ്ഫോർമറുകൾ വഴി മാറ്റാൻ കഴിയുന്നത് കൊണ്ടാണ് ac വോൾട്ടേജിന് dc വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ മുൻഗണന ഇവിടെ കൊടുക്കുന്നത്. മാത്രമല്ല, വൈദ്യുതോർജത്തെ ചെലവ് കുറഞ്ഞ രീതിയിൽ

---

* *ac എന്നത് പ്രത്യാവർത്തിധാരാ വൈദ്യുതി എന്നതിന്റെ ചുരുക്കരൂപമാണെങ്കിലും ac എന്നതു കൊണ്ട് ചെറുതായ ഉദ്ദേശിക്കുന്നത് വൈദ്യുതിയുടെ പ്രത്യാവർത്തി സ്വഭാവത്തെയാണ്.*



നിക്കോള ടെസ്‌ല (1836 – 1943)

നിക്കോള ടെസ്‌ല (1836–1943) യൂഗോസ്ലാവിയൻ ശാസ്ത്രജ്ഞൻ, നിരവധി കണ്ടുപിടുത്തങ്ങൾ നടത്തിയ പ്രതിഭാശാലി. പ്രായോഗികമായ എല്ലാ പ്രത്യാവർത്തിത യന്ത്രങ്ങളുടെയും അടിസ്ഥാനമായ ഭ്രമണ കാന്തികമണ്ഡലം എന്ന ആശയം അദ്ദേഹം ആവിഷ്കരിച്ചു. ഇത് വൈദ്യുതയുഗത്തെ വളരെ സഹായിച്ചു. കൂടാതെ, മറ്റു കാര്യങ്ങൾക്കൊപ്പം ഇൻഡക്ഷൻ മോട്ടോർ, എ.സി. പവർ പോളിഫേസ് സിസ്റ്റം, റേഡിയോ – ടെലിവിഷൻ സെറ്റുകൾ, മറ്റ് ഇലക്ട്രോണിക് ഉപകരണങ്ങൾ എന്നിവയിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിലുള്ള ഇൻഡക്ഷൻ കോയിലും (ടെസ്‌ല കോയിൽ) അദ്ദേഹം കണ്ടുപിടിച്ചു. കാന്തികക്ഷേത്രത്തിന്റെ S.I യൂണിറ്റിന് അദ്ദേഹത്തിന്റെ ബഹുമാനാർത്ഥം ടെസ്‌ല എന്നാണ് നാമകരണം ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത്.

ദീർഘദൂരങ്ങളിലേക്ക് അയക്കാനും കഴിയും. ac സെർക്കീട്ടുകൾ കാണിക്കുന്ന സവിശേഷതകൾ ദൈനംദിന ഉപയോഗത്തിലുള്ള പല ഉപകരണങ്ങളിലും നാം പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നുണ്ട്. ഉദാഹരണത്തിന് നമുക്ക് ഇഷ്ടപ്പെട്ട ഒരു സ്റ്റേഷനുവേണ്ടി റേഡിയോ ട്യൂൺ ചെയ്യുമ്പോൾ ഈ അധ്യായത്തിൽ പഠിക്കുന്ന ac സെർക്കീട്ടിന്റെ നിരവധി സവിശേഷതകളിലൊന്നിനെയാണ് നാം പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നത്.

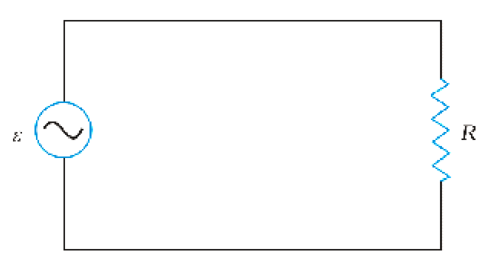
7.2 ഒരു പ്രതിരോധകത്തിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ac വോൾട്ടേജ് (AC voltage applied to a Resistor)

ഒരു ac വോൾട്ടേജ് സ്രോതസ്സ് ഒരു പ്രതിരോധകവുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതാണ് ചിത്രം 7.1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. സെർക്കീട്ട് ഡയഗ്രത്തിൽ ac സ്രോതസ്സിന്റെ പ്രതീകം എന്നാണ്. സ്രോതസ്സിലെ പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസം സൈൻ ഫലനരൂപത്തിൽ (sinusoidal) മാറുന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ. ഈ പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസത്തെ ac വോൾട്ടേജ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഈ ac വോൾട്ടേജിനെ

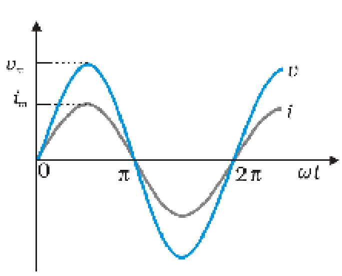
$$v = v_m \sin \omega t \text{ എന്നെഴുതാം .} \tag{7.1}$$

v_m എന്നത് ദോലനം ചെയ്യുന്ന പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസത്തിന്റെ ആയതിയും ω എന്നത് കോണീയാവൃത്തിയുമാണ്.

പ്രതിരോധത്തിലൂടെയുള്ള കറന്റിന്റെ അളവു കാണാൻ ചിത്രം 7.1 ൽ കാണിച്ച സെർക്കീട്ടിൽ കിർച്ചോഫിന്റെ വലയനിയമം $\sum \varepsilon(t) = 0$ ഉപയോഗിക്കാം.



ചിത്രം 7.1 ഒരു പ്രതിരോധകത്തിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ac വോൾട്ടേജ്



ചിത്രം 7.2 ഒരു ശുദ്ധ പ്രതിരോധകത്തിന്റെ വോൾട്ടേജും കറന്റും ഒരേ ഫേസിലാണ്. മിനിമം, പൂജ്യം, മാക്സിമം എന്നിവ എത്തുന്നത് ഒരേസമയത്താണ്.

$$v_m \sin \omega t = i R$$

or $$i = \frac{v_m}{R} \sin \omega t$$

R സ്ഥിരാങ്കമായതിനാൽ

$$i = i_m \sin \omega t \tag{7.2}$$

എന്നെഴുതാം. വൈദ്യുതപ്രവാഹത്തിന്റെ ആയതി i_m

$$i_m = \frac{v_m}{R} \tag{7.3}$$

സമവാക്യം (7.3) ഓം നിയമം തന്നെയാണ്. ac യിലും dc യിലും ഓം നിയമം പ്രതിരോധകത്തിന് ഒരേപോലെയാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. ഒരു ശുദ്ധ പ്രതിരോധകത്തിന്റെ കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജും (സമവാക്യം 7.1)

അതിലൂടെയുള്ള കറന്റും (സമവാക്യം 7.2) സമയത്തിന്റെ ഫലനമായി വരച്ചതാണ് ചിത്രം 7.2 ൽ. v യും i യും പൂജ്യം, മിനിമം, മാക്സിമം എന്നിവയിൽ എത്തുന്നത് ഒരേ സമയത്താണ് അഥവാ വോൾട്ടേജും കറന്റും പരസ്പരം ഒരേ ഫേസിലാണ്.

പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടേജ് പോലെ കറന്റും സൈൻഫലനരൂപത്തിൽ മാറുന്നുവെന്നും തത്തുല്യമായ പോസിറ്റീവ്, നെഗറ്റീവ് മൂല്യങ്ങൾ ഓരോ സൈക്കിളിലുമുണ്ടെന്നും നമുക്കു കാണാം. അതിനാൽ ഒരു സൈക്കിൾ പൂർണമാകുമ്പോൾ കറന്റിന്റെ തൽക്ഷണമൂല്യങ്ങളുടെ തുകയും ശരാശരി കറന്റും പൂജ്യമാണ്. ശരാശരി കറന്റ് പൂജ്യമാണെന്നതുകൊണ്ട് ശരാശരി പവർ ഉപയോഗം പൂജ്യമാണെന്നോ വൈദ്യുതോർജം ചെലവഴിക്കപ്പെടുന്നില്ലെന്നോ അർഥമില്ല. ജൂൾ താപനം i^2R എന്നായതുകൊണ്ട് ഇത് i യെയല്ല i^2 നെയാണ് ആശ്രയിക്കുന്നത്. (i പോസിറ്റീവ് ആയാലും നെഗറ്റീവ് ആയാലും i^2R പോസിറ്റീവ് ആയിരിക്കും). അതുകൊണ്ട് ac കറന്റ് ഒരു പ്രതിരോധകത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ ജൂൾ താപനവും വൈദ്യുതോർജനഷ്ടവും സംഭവിക്കുന്നുണ്ട്.

ഒരു പ്രതിരോധകത്തിലൂടെയുള്ള തൽക്ഷണ പവർ വിനിയോഗം

$$p = i^2 R = i_m^2 R \sin^2 \omega t \text{ എന്നെഴുതാം.} \qquad (7.4)$$

ഒരു സൈക്കിളിലുള്ള പവറിന്റെ ശരാശരി മൂല്യം*

$$\bar{p} = \langle i^2 R \rangle = \langle i_m^2 R \sin^2 \omega t \rangle \qquad [7.5(a)]$$

ഇവിടെ $\bar{p}$ എന്നത് പവറിന്റെ ശരാശരിമൂല്യത്തെയും <......> എന്നത് ബ്രാക്കറ്റിനുള്ളിലുള്ള അളവിന്റെ ശരാശരിയെയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു. i_m^2 ഉം Rഉം സ്ഥിരാങ്കമായതിനാൽ

$$\bar{p} = i_m^2 R \langle \sin^2 \omega t \rangle \qquad [7.5(b)]$$

$$\sin^2 \omega t = 1/2\,(1 - \cos 2\omega t).$$

എന്ന ത്രികോണമിതീയ സർവ്വസമവാക്യം ഉപയോഗിച്ചാൽ $\langle \sin^2 \omega t \rangle = (1/2)\,(1 - \langle \cos 2\omega t \rangle)$ എന്നെഴുതാം. $\langle \cos 2\omega t \rangle = 0$**, ആയതിനാൽ

$$\langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2} \text{ എന്നെഴുതാം.}$$

അതുകൊണ്ട്

$$\bar{p} = \frac{1}{2} i_m^2 R \text{ എന്നാണ്.} \qquad [7.5(c)]$$

ജോർജ് വെസ്റ്റിംങ് ഹൗസ് (1846 - 1914)

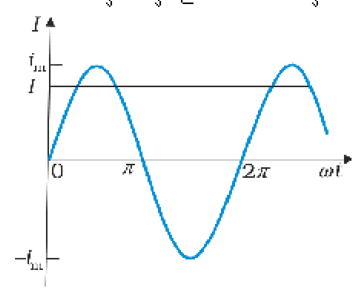
ജോർജ് വെസ്റ്റിങ് ഹൗസ് (1846 – 1914) നേർധാരാ വൈദ്യുതിയേക്കാൾ പ്രത്യാവർത്തിധാരാ വൈദ്യുതി ഉപയോഗിക്കുന്നതിന്റെ പ്രമുഖ ഉപജ്ഞാതാവാണ്. അതുകൊണ്ട് നേർധാരാ വൈദ്യുതിയുടെ വക്താവായിരുന്ന തോമസ് ആൽവ എഡിസണുമായി അദ്ദേഹത്തിന് അഭിപ്രായവ്യത്യാസമുണ്ടായിരുന്നു. വൈദ്യുതിയുടെ ഭാവിയിലേക്കുള്ള താക്കോലാണ് പ്രത്യാവർത്തിധാരാ വൈദ്യുതിയുടെ സാങ്കേതികവിദ്യ എന്ന് വെസ്റ്റിംങ് ഹൗസ് ബോധ്യപ്പെടുത്തി. അദ്ദേഹം തന്റെ പേരിലറിയപ്പെടുന്ന പ്രശസ്തമായ ഒരു കമ്പനി സ്ഥാപിക്കുകയും വലിയ അളവിലുള്ള വെളിച്ചത്തിനു വഴിയൊരുക്കാൻ, ആൾട്ടർനേറ്റിങ് മോട്ടോറുകൾ. ഉയർന്ന ടെൻഷൻ കറന്റ് സംപ്രേഷണത്തിനുള്ള ഉപകരണം എന്നിവ വികസിപ്പിക്കുന്നതിൽ നിക്കോള ടെസ്‌ലയുടെയും മറ്റു കണ്ടുപിടിത്തക്കാരുടെയും സേവനങ്ങൾ ഉറപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്തു.

* $F(t)$ യുടെ T കാലയളവിലുള്ള ശരാശരിയെ

$$\langle F(t) \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T F(t)\,dt \text{ എന്നെഴുതാം.}$$

** $$\langle \cos 2\omega t \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T \cos 2\omega t\,dt = \frac{1}{T}\left[\frac{\sin 2\omega t}{2\omega}\right]_0^T = \frac{1}{2\omega T}[\sin 2\omega T - 0] = 0$$

ac പവറിനെ dc പവറിന്റെ ($P = I^2 R$). അതേ രൂപത്തിൽ ആവിഷ്കരിക്കാൻ കറന്റിന്റെ ഒരു സവിശേഷമൂല്യത്തെ നിർവചിക്കുകയും ഉപയോഗിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതിനെ



ചിത്രം 7.3 : rms കറന്റിന് (I) പീക്ക് കറന്റു (i_m) മായുള്ള ബന്ധം
$I = i_m / \sqrt{2} = 0.707\ i_m$

സഫല കറന്റ് (*root mean square* (rms) or *effective current*) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതിനെ I_{rms} അല്ലെങ്കിൽ I എന്നു സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ഇതിനെ നിർവചിക്കുന്നത്

$$I = \sqrt{\overline{i^2}} = \sqrt{\frac{1}{2} i_m^2} = \frac{i_m}{\sqrt{2}}$$

$$= 0.707\ i_m \qquad (7.6)$$

കറന്റിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ശരാശരി പവറിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നത്

$$P = \overline{P} = \frac{1}{2} i_m^2 R = I^2 R \qquad (7.7)$$

ഇതുപോലെ നമുക്ക് rms വോൾട്ടേജ് അല്ലെങ്കിൽ സഫല വോൾട്ടേജിനെ നിർവചിക്കാം.

$$V = \frac{v_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ v_m \qquad (7.8)$$

സമവാക്യം 7.3 ൽ നിന്ന്

$$v_m = i_m R$$

അഥവാ $\dfrac{v_m}{\sqrt{2}} = \dfrac{i_m}{\sqrt{2}} R$

അഥവാ $V = IR$ എന്നെഴുതാം. (7.9)

സമവാക്യം (7.9) dc നിയമത്തിന് സമാനമായി ac കറന്റും വോൾട്ടേജും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ കാണിക്കുന്നു. rms മൂല്യങ്ങൾ എന്ന ആശയത്തിന്റെ പ്രയോജനത്തെയാണ് ഇതു കാണിക്കുന്നത്. rms മൂല്യങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ പവറിന്റെ സമവാക്യവും (സമവാക്യം 7.7) ac സെർക്കീട്ടിൽ കറന്റും വോൾട്ടേജും തമ്മിലുള്ള ബന്ധവും അടിസ്ഥാനപരമായി dc സെർക്കീട്ടിനോട് സമമാണ്.

ac അളവുകളെ പ്രസ്താവിക്കുന്നതും അളക്കുന്നതും സാധാരണ rms മൂല്യത്തിലാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്, ഗാർഹിക ലൈൻ വോൾട്ടേജ് 230V എന്നത് rms മൂല്യമാണ്. ഇതിന്റെ ഏറ്റവും ഉയർന്ന വോൾട്ടേജ്

$$v_m = \sqrt{2}\ V = (1.414 \times 220\ V) = 311\ V \text{ ആണ്.}$$

ac കറന്റുണ്ടാക്കുന്ന ശരാശരി പവർനഷ്ടം വരുത്താൻ കഴിയുന്ന dc കറന്റിനോട് സമാനമാണ് I_{rms} കറന്റ്. സമവാക്യം (7.7) താഴെ കാണുന്ന വിധത്തിലും എഴുതാം.

$$P = V^2 / R = I\,V \quad (\text{since } V = I\,R)$$

ഉദാഹരണം 7.1 ഒരു ബൾബ് 220 V സപ്ലൈയിൽ 100W നിരക്കിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നു. (a) ബൾബിന്റെ പ്രതിരോധം (b) സ്രോതസ്സിന്റെ പീക് വോൾട്ടേജ് (c) ബൾബിലൂടെയുള്ള rms കറന്റ് എന്നിവ കണ്ടെത്തുക.

ഉത്തരം

(a) $P = 100$ W എന്നും $V = 220$ V എന്നും നമുക്കു തന്നിട്ടുണ്ട്. ബൾബിന്റെ പ്രതിരോധം.

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(220\,\text{V})^2}{100\,\text{W}} = 484\,\Omega$$

(b) സ്രോതസ്സിന്റെ പീക്ക് വോൾട്ടേജ്

$$v_m = \sqrt{2}V = 311\,\text{V}$$

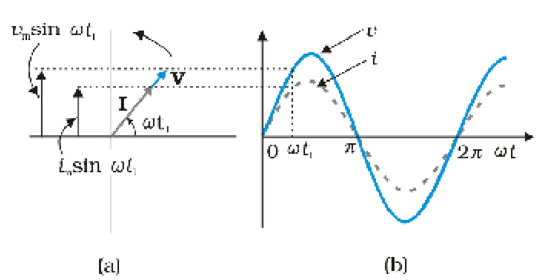
(c) $P = I\,V$ ആയതിനാൽ

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100\,\text{W}}{220\,\text{V}} = 0.450\,\text{A}$$

ഉദാഹരണം : 7.1

7.3 കറന്റിനെയും വോൾട്ടേജിനെയും സൂചിപ്പിക്കുന്ന കറങ്ങുന്ന സദിശങ്ങൾ അഥവാ ഫേസറുകൾ (Representation of ac current and voltage by rotating vectors — Phasors)

ഒരു പ്രതിരോധകത്തിലൂടെയുള്ള കറന്റും വോൾട്ടേജും ഒരേ ഫേസിലാണെന്ന് മുമ്പു നാം പഠിച്ചിട്ടുണ്ട്. എന്നാൽ, ഇൻഡക്ടർ, കപ്പാസിറ്റർ എന്നിവയിലോ അല്ലെങ്കിൽ ഇവ കൂടിച്ചേർന്നതിലോ ഇതേപോലെ ആയിരിക്കണമെന്നില്ല. ac സെർക്കീട്ടിൽ വോൾട്ടേജും കറന്റും തമ്മിലുള്ള ഫേസ് ബന്ധം കാണിക്കാൻ, ഫേസറുകൾ എന്ന ആശയം ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഒരു ac സെർക്കീട്ടിന്റെ വിശകലനം ഫേസർ ഡയഗ്രം ഉപയോഗിച്ച് എളുപ്പത്തിൽ നടത്താൻ കഴിയും. ഫേസർ* എന്നാൽ മൂലബിന്ദുവിനെ ആസ്പദമാക്കി ω കോണീയ ആവൃത്തിയിൽ കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു സദിശമാണ്



ചിത്രം 7.4 (a) സർക്കീട്ട് രേഖാചിത്രം 7.1 ന്റെ ഫേസർ ചിത്രം (b) ωt ക്ക് അനുസരിച്ച് v യുടെയും i യുടെയും ഗ്രാഫ്

* വോൾട്ടേജും കറന്റും ഫേസർരൂപത്തിൽ സൂചിപ്പിക്കാമെങ്കിലും ഇവ യഥാർഥത്തിൽ സദിശങ്ങളല്ല എന്ന് ഓർക്കേണ്ടതാണ്.

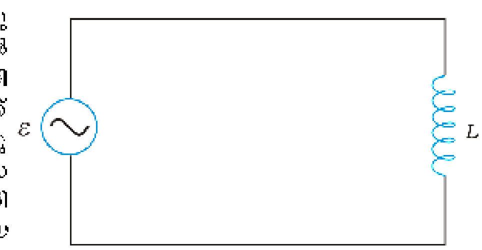
(ചിത്രം 7.4 ൽ കാണിച്ചതു പോലെ). **V**, **I** എന്നീ ഫേസറുകളുടെ ലംബഘടകം സൈൻ ഫലനമായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന v യെയും i യെയും പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. **V**, **I** എന്നീ ഫേസറുകളുടെ വില ദോലനം ചെയ്യുന്ന വോൾട്ടേജിന്റെയും കറന്റിന്റെയും ആയതികളായ v_m, i_m എന്നിവയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ac സ്രോതസ്സ് ഒരു പ്രതിരോധകവുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുമ്പോൾ വോൾട്ടേജ് കറന്റ് ഫേസറുകളെയും ഇവ തമ്മിൽ t_1 സമയത്തുള്ള ബന്ധത്തെയുമാണ് ചിത്രം 7.4 (a) ൽ കാണിക്കുന്നത്. ഇത് ചിത്രം 7.1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന സെർക്കീട്ടിന്റെ ഫേസറാണ്. വോൾട്ടേജ്, കറന്റ് ഫേസറുകളുടെ ലംബ അക്ഷത്തിലേക്കുള്ള പ്രക്ഷേപം അതായത് $v_m \sin\omega t$ യും $i_m \sin\omega t$ യും യഥാക്രമം വോൾട്ടേജിന്റെയും കറന്റിന്റെയും ആ നിമിഷത്തിലുള്ള മൂല്യത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ഈ ഫേസറുകൾ ω കോണീയ ആവൃത്തിയിൽ കറങ്ങുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന ഗ്രാഫുകൾ ചിത്രം (7.4 (b)) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ചിത്രം 7.4 (a) ൽ കാണുന്നത് ഒരു പ്രതിരോധക സർക്കീട്ടിലെ **V**, **I** ഫേസറുകൾ ഒരേ ദിശയിലാണ് എപ്പോഴുമുള്ളത് എന്നാണ്. അതായത് വോൾട്ടേജിനും കറന്റിനുമിടക്കുള്ള ഫേസ് കോൺ പൂജ്യമാണ്.

Interactive animation on Phasor diagrams of ac circuits containing, R, L, C and RLC series circuits:
http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/AC.html

7.4 ഒരു ഇൻഡക്ടറിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ac വോൾട്ടേജ് (AC voltage applied to an inductor)

ഒരു ac സ്രോതസ്സ് ഒരു ഇൻഡക്ടറുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചതാണ് ചിത്രം 7.5 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. സാധാരണയായി ഇൻഡക്ടറുകളുടെ ചുരുളുകൾക്ക് എടുത്തുപറയത്തക്ക പ്രതിരോധമുണ്ടാകുമെങ്കിലും ഇവിടെ ഒരു ശുദ്ധ ഇൻഡക്ടീവ് സെർക്കീട്ടാണ് പരിഗണിക്കുന്നത്. സ്രോതസ്സിന്റെ വോൾട്ടേജ് $v = v_m \sin\omega t$ എന്നിരിക്കട്ടെ. കിർച്ചോഫിന്റെ വലയ നിയമം $\sum \varepsilon(t) = 0$ ഉപയോഗിച്ചാൽ സെർക്കീട്ടിൽ ഒരു പ്രതിരോധവും ഇല്ലാത്തതിനാൽ



ചിത്രം **7.5** : ഒരു ഇൻഡക്ടറിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ac സ്രോതസ്സ്

$$v - L\frac{di}{dt} = 0 \text{ എന്നെഴുതാം.} \qquad (7.10)$$

ഇവിടെ രണ്ടാം പദം ഇൻഡക്ടറിൽ സ്വയം പ്രേരിതമായ ഫാരഡെ emf ഉം L എന്നത് സെൽഫ് ഇൻഡക്ടൻസുമാണ്. നെഗറ്റീവ് ചിഹ്നം ലെൻസിന്റെ (Lenz's law) നിയമപ്രകാരമുള്ളതാണ് (അധ്യായം 6). സമവാക്യങ്ങൾ 7.1 ഉം 7.10 ഉം കൂടി ചേർന്നാൽ

$$\frac{di}{dt} = \frac{v}{L} = \frac{v_m}{L}\sin\omega t \qquad (7.11)$$

സമവാക്യം (7.11) സൂചിപ്പിക്കുന്നത് di/dt സൈൻഫലന രൂപത്തിൽ (sinusoidal) മാറുന്ന ഒരു അളവിനെയാണ്. ഇത് സ്രോതസ്സിന്റെ വോൾട്ടേജിന്റെ അതേ ഫേസിലാണ്. ഇതിന്റെ ആയതി v_m/L ആണ്. $i(t)$ കറന്റിന്റെ സമവാക്യം ലഭിക്കാൻ di/dt യെ സമയത്തെ ആസ്പദമാക്കി സമാകലനം ചെയ്താൽ മതി.

$$\int \frac{di}{dt}dt = \frac{v_m}{L}\int \sin(\omega t)dt$$

$$i = \frac{v_m}{\omega L}\cos(\omega t) + \text{സ്ഥിരാങ്കം}$$

സമാകലനസ്ഥിരാങ്കത്തിന് കറന്റിന്റെ ഡയമൻഷനാണുള്ളത്. സമയത്തെ ആശ്രയി

ക്കുന്നുമില്ല. സ്രോതസ്സിന്റെ emf പൂജ്യത്തിന് ഇരുവശവും സമമിതിയോടെ (symmetrically) ദോലനം ചെയ്യുന്നതു കൊണ്ട് ഇതുണ്ടാക്കുന്ന കറന്റും പൂജ്യത്തിന് സമമിതിയായാണ് ദോലനം ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ട് സ്ഥിരമായതോ സമയത്തെ ആശ്രയിക്കാത്തതോ ആയ ഒരു കറന്റും നിലനിൽക്കുകയില്ല. ആയതിനാൽ സമാകലനസരിരാങ്കം പൂജ്യമായെടുക്കാം.

$$-\cos(\omega t) = \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$. എന്നതു കൊണ്ട് നമുക്ക്

$$i = i_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (7.12)$$ എന്നെഴുതാം.

ഇവിടെ $i_m = \frac{v_m}{\omega L}$ എന്നത് കറന്റിന്റെ ആയതിയാണ്. ωL എന്ന അളവ് പ്രതിരോധത്തിനോടു സാമ്യമുള്ളതാണ്. ഇതിനെ ഇൻഡക്ടീവ് റിയാക്ടൻസ് എന്നു പറയുന്നു. X_L എന്നാണ് ഇതിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നത്.

$$X_L = \omega L \quad (7.13)$$

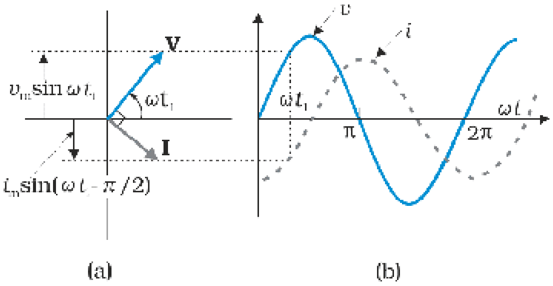
കറന്റിന്റെ ആയതി

$$i_m = \frac{v_m}{X_L} \quad (7.14)$$

ഇൻഡക്ടീവ് റിയാക്ടൻസിന്റെ ഡൈമൻഷൻ പ്രതിരോധത്തിന്റേതു പോലെ തന്നെയാണ്, SI യൂണിറ്റ് ഓം (Ω) എന്നുമാണ്. ശുദ്ധപ്രതിരോധക സെർക്കീട്ടിൽ പ്രതിരോധകം കറന്റിനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നതു പോലെ ഒരു ശുദ്ധ ഇൻഡക്ടീവ് സെർക്കീട്ടിൽ ഇൻഡക്ടീവ് റിയാക്ടൻസ് കറന്റിനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നു. ഇൻഡക്ടീവ് റിയാക്ടൻസ് ഇൻഡക്ടൻസിനും കറന്റിന്റെ ആവൃത്തിക്കും നേർ അനുപാതത്തിലാണ്.

സ്രോതസ്സിന്റെ വോൾട്ടേജും ഇൻഡക്ടറിലൂടെയുള്ള കറന്റും കാണിക്കുന്ന സമവാക്യങ്ങളെ (7.1 ഉം 7.12 ഉം) താരതമ്യം ചെയ്താൽ കറന്റ് വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ $\pi/2$ അല്ലെങ്കിൽ ഒരു സൈക്കിളിന്റെ നാലിലൊന്ന് പിന്നിലാണെന്നു കാണാൻ കഴിയും. ചിത്രം 7.6 (a) t_1 എന്ന സമയത്തിലെ വോൾട്ടേജ്, കറന്റ് ഫേസറുകളെ കാണിക്കുന്നു. കറന്റ് ഫേസർ **I** വോൾട്ടേജ് ഫേസറേക്കാൾ $\pi/2$ പിറകിലാണ്. ω ആവൃത്തിയോടെ അപ്രദക്ഷിണ (counter-clockwise) ദിശയിൽ കറക്കിയാൽ സമവാക്യം 7.1 ലും 7.12 ലും പറഞ്ഞ പ്രകാരമുള്ള വോൾട്ടേജും കറന്റും ചിത്രം 7.6 (b) യിൽ കാണുന്നതു പോലെ നിർമിക്കാൻ കഴിയും.

വോൾട്ടേജ് പരമാവധിയിലെത്തി നാലിലൊന്ന് പിരീഡ് കഴിഞ്ഞാണ് $\left[\frac{T}{4} = \frac{\pi/2}{\omega}\right]$ കറന്റ് അതിന്റെ പരമാവധിയിൽ എത്തുന്നത് എന്നു നമുക്കു കാണാം. പ്രതിരോധകം



ചിത്രം **7.6** : (a) ചിത്രം 7.5 സെർക്യൂട്ടിന്റെ ഫേസർ ചിത്രം
(b) ωt ക്ക് അനുസരിച്ച് i യുടെയും v യുടെയും ഗ്രാഫ്

കറന്റിനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നതു പോലെ ac സെർക്കീട്ടിൽ ഇൻഡക്ടറിന്റെ ഇന്റക്ടീവ് റിയാക്ടൻസ് കറന്റിനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നുണ്ട്. പ്രതിരോധകം പവർ ഉപയോഗിക്കുന്നതു പോലെ ഇൻഡക്ടിവ് റിയാക്ടൻസ് പവർ ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ടോ? നമുക്കു കണ്ടെത്താൻ ശ്രമിക്കാം.

ഇൻഡക്ടറിന് നൽകുന്ന തൽക്ഷണ പവർ ഇപ്രകാരമാണ്.

$$p_L = i\,v = i_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \times v_m \sin(\omega t)$$

$$= -i_m v_m \cos(\omega t)\sin(\omega t)$$

$$= -\frac{i_m v_m}{2}\sin(2\omega t)$$

അതിനാൽ ഒരു സൈക്കിൾ പൂർണമാകുമ്പോൾ ശരാശരി പവർ

$$P_L = \left\langle -\frac{i_m v_m}{2}\sin(2\omega t)\right\rangle$$

$$= -\frac{i_m v_m}{2}\langle \sin(2\omega t)\rangle = 0.$$

ഒരു സൈക്കിൾ പൂർണമാകുമ്പോൾ sin $(2\omega t)$ യുടെ ശരാശരി പൂജ്യമായതിനാൽ ഒരു സൈക്കിൾ പൂർണമാകുമ്പോൾ ഇൻഡക്ടറിന് നൽകുന്ന ശരാശരി പവർ പൂജ്യമാണ്.

ചിത്രം 7.7 ഇത് വിശദമായി വിവരിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം : 7.2

ഉദാഹരണം 7.2

25.0 mH യുള്ള ഒരു ശുദ്ധ ഇൻഡക്ടർ 220 V സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തി 50 Hz ആണെങ്കിൽ ഇൻഡക്ടീവ് റിയാക്ടൻസും സെർക്കീട്ടിലുള്ള rms കറന്റും കണ്ടുപിടിക്കുക.

ഉത്തരം

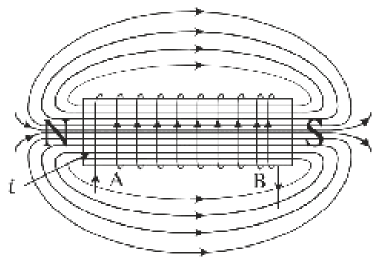
ഇൻഡക്ടീവ് റിയാക്ടൻസ്,

$$X_L - 2\pi \nu L - 2 \times 3.14 \quad 50 \times 25 \quad 10^{-3}\ W$$

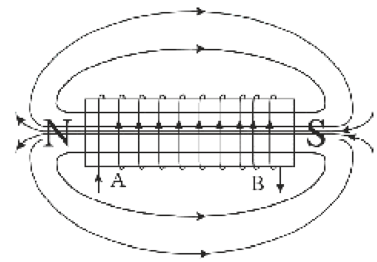
$$= 7.85\Omega$$

സെർക്കീട്ടിലെ rms കറന്റ്

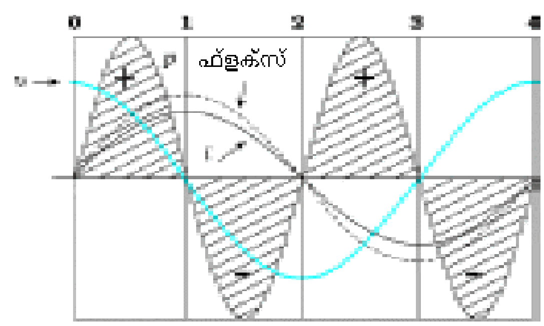
$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{220\ V}{7.85\ \Omega} = 28A$$



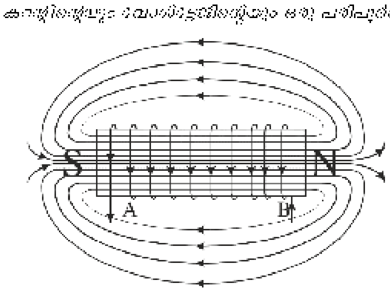
0-1 കോയിലിലൂടെ കറന്റ് (i), A യിലൂടെ പ്രവേശിച്ച്, പൂജ്യത്തിൽ നിന്ന് പരമാവധിയിലേക്കു കൂടുന്നു. കോർ കാന്തീകരിക്കുന്നതുകൊണ്ട് ഫ്ളക്സ് രേഖകൾ രൂപപ്പെടുന്നു. ഇവിടെ വോൾട്ടേജും കറന്റും പോസിറ്റീവാണ്. അതുകൊണ്ട് ഇവയുടെ ഗുണനഫലം p യും പോസിറ്റീവാണ്. ഇവിടെ സ്രോതസ്സിൽനിന്ന് ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുകയാണ്.



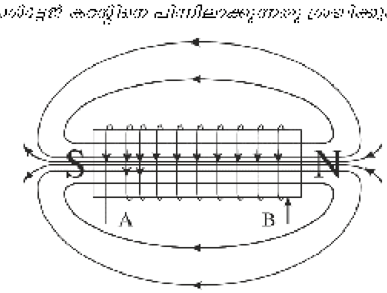
1-2 കോയിലിലെ കറന്റ് പോസിറ്റീവ് തന്നെയാണ്. പക്ഷേ, കുറഞ്ഞു വരുന്നു. അർധസൈക്കിളിന്റെ അവസാനമാകുമ്പോഴേക്ക് കോർ കാന്തമല്ലാതാവുകയും അതുകൊണ്ട് മൊത്തം ഫ്ളക്സ് പൂജ്യമായിത്തീരുകയും ചെയ്യുന്നു. വോൾട്ടേജ് നെഗറ്റീവാകും (എന്തുകൊണ്ടെന്നാൽ di/dt നെഗറ്റീവായതു കൊണ്ട്). വോൾട്ടേജിന്റെയും കറന്റിന്റെയും ഗുണനഫലം നെഗറ്റീവാണ്. ഇവിടെ ഊർജം സ്രോതസ്സിലേക്ക് തിരികെ നൽകുന്നു.



കറന്റിന്റെയും വോൾട്ടേജിന്റെയും ഒരു പരിപൂർണ സൈക്കിളിൽ വോൾട്ടേജ് കറന്റിനെ പിന്നിലാക്കുന്നതു ശ്രദ്ധിക്കുക.



2-3 കറന്റ് i നെഗറ്റീവാകുന്നു. ഇത് B യിലൂടെ കടന്ന് A യിലൂടെ പുറത്തു വരുന്നു. കറന്റിന്റെ ദിശ മാറിയതുകൊണ്ട് കാന്തികധ്രുവവും മാറുന്നു. കറന്റും വോൾട്ടേജും നെഗറ്റീവാണ്. അതുകൊണ്ട് ഇവയുടെ ഗുണനഫലം p പോസിറ്റീവാണ്. ഇവിടെ ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു.

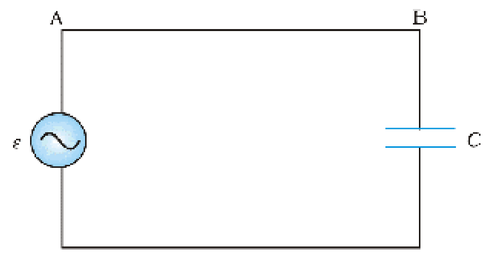


3-4 കറന്റ് i കുറഞ്ഞ് പൂജ്യത്തിലെത്തുന്നു. 4-ൽ കോർ കാന്തികമല്ലാതായിത്തീരുന്നതു കൊണ്ട് ഫ്ളക്സ് പൂജ്യമാകുന്നു. ഇവിടെ വോൾട്ടേജ് പോസിറ്റീവും കറന്റ് നെഗറ്റീവുമാണ്. അതുകൊണ്ട് പവർ നെഗറ്റീവുമാണ്. ഇവിടെ ഊർജം തിരിച്ചു നൽകുന്നു.

ചിത്രം 7.7 ഒരു ഇൻഡക്ടറിന്റെ കാന്തീകരണവും അകാന്തീകരണവും

7.5 ഒരു കപ്പാസിറ്ററിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന AC വോൾട്ടേജ് (Voltage applied to a capacitor)

$v = v_m \sin \omega t$ എന്ന വോൾട്ടേജുണ്ടാക്കുന്ന ഒരു ac സ്രോതസ്സ് ε ഒരു കപ്പാസിറ്ററുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചതാണ് ചിത്രം 7.8 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഇതൊരു ശുദ്ധ കപ്പാസിറ്റീവ് ac സെർക്കീട്ടാണ്.



ചിത്രം 7.8 ഒരു കപ്പാസിറ്റർ ഒരു ac സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു

dc സെർക്കീട്ടിൽ, ഒരു വോൾട്ടേജ് സ്രോതസ്സിലേക്ക് ഒരു കപ്പാസിറ്റർ ബന്ധിപ്പിക്കുമ്പോൾ കപ്പാസിറ്റർ ചാർജ് ചെയ്യുന്നതുവരെയുള്ള ചുരുങ്ങിയ സമയം മാത്രമേ കറന്റ് ഒഴുകുകയുള്ളു. കപ്പാസിറ്റർ പ്ലേറ്റുകളിൽ ചാർജ് കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച്, ഇവയ്ക്കിടയിലുള്ള വോൾട്ടേജ് വർധിക്കുകയും ഇത് കറന്റിനെ എതിർക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതായത്, dc സർക്കീട്ടിലെ ഒരു കപ്പാസിറ്റർ അത് ചാർജ് ചെയ്യുന്നതിന് അനുസരിച്ച് കറന്റിനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുകയോ എതിർക്കുകയോ ചെയ്യുന്നു. കപ്പാസിറ്റർ പൂർണമായി ചാർജാകുമ്പോൾ, സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റ് പൂജ്യത്തിലേക്ക് എത്തുന്നു.

ചിത്രം 7.8 ലേതുപോലെ ഒരു കപ്പാസിറ്റർ ac സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചാൽ ഇത് കറന്റിനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുകയോ ക്രമീകരിക്കുകയോ ചെയ്യും. അല്ലാതെ പൂർണമായും ചാർജുകളുടെ ഒഴുക്കിനെ തടയുകയില്ല. കറന്റിന്റെ ദിശ ഓരോ സൈക്കിളിന്റെയും പകുതിയിൽ മാറുന്നതിനനുസരിച്ച്, കപ്പാസിറ്റർ മാറി മാറി ചാർജാവുകയും ഡിസ്ചാർജാവുകയും ചെയ്യുന്നു. q എന്നത് കപ്പാസിറ്ററിൽ t സമയത്തുള്ള ചാർജാണെന്നിരിക്കട്ടെ. കപ്പാസിറ്ററിന്റെ പ്ലേറ്റുകൾക്കിടക്കുള്ള തൽക്ഷണ വോൾട്ടേജ്

$$v = \frac{q}{C} \tag{7.15}$$

കിർച്ചോഫിന്റെ വലയ നിയമപ്രകാരം

$$v_m \sin \omega t = \frac{q}{C}$$

കറന്റ് $i = \dfrac{dq}{dt}$

$$i = \frac{d}{dt}\left(v_m C \sin \omega t\right) = \omega C v_m \cos(\omega t)$$

$\cos(\omega t) = \sin\left(\omega t + \dfrac{\pi}{2}\right)$, എന്ന ബന്ധമുപയോഗിച്ചാൽ

$i = i_m \sin\left(\omega t + \dfrac{\pi}{2}\right)$ എന്നത് ദോലനം ചെയ്യുന്ന കറന്റിന്റെ ആയതിയാണ് (7.16)

ഈ സമവാക്യത്തെ $i_m = \omega C v_m$ എന്ന് നമുക്ക് മാറ്റി എഴുതാം.

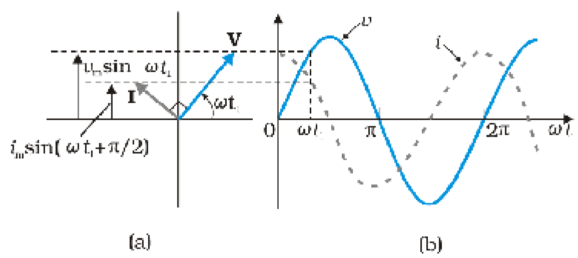
$$i_m = \frac{v_m}{(1/\omega C)}$$

ഈ സമവാക്യത്തെ പ്രതിരോധ സെർക്കീട്ടിന്റെ സമവാക്യമായ $i_m = v_m/R$ നോട് താരതമ്യം ചെയ്താൽ $(1/\omega C)$ എന്നത് ഒരു പ്രതിരോധം പോലെയാകും. ഇതിനെ കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസ് (*capacitive reactance*) എന്നു വിളിക്കുകയും X_c എന്നു സൂചിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

$$X_c = 1/\omega C \tag{7.17}$$

കറന്റിന്റെ ആയതി

$$i_m = \frac{v_m}{X_C} \text{ എന്നെഴുതാം.} \tag{7.18}$$



ചിത്രം 7.9 (a) ചിത്രം 7.8 സർക്കീട്ടിന്റെ ഫേസർ ചിത്രം (b) ωt ക്ക് അനുസരിച്ച് v യുടെയും i യുടെയും ഗ്രാഫ്

കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസിന് പ്രതിരോധത്തിന്റെ അതേ ഡൈമൻഷനും SI യൂണിറ്റ് ഓം (Ω) എന്നുമാണ്. പ്രതിരോധം ഒരു സെർക്കീട്ടിൽ കറന്റിന്റെ ആയതിയെ എങ്ങനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നുവോ, അപ്രകാരം തന്നെയാണ് കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസ് ഒരു കപ്പാസിറ്റർ സെർക്കീട്ടിൽ കറന്റിന്റെ ആയതിയെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നത്.

കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസ് ആവൃത്തിക്കും കപ്പാസിറ്റൻസിനും വിപരീതാനുപാതത്തിലാണ്. സമവാക്യങ്ങൾ (7.16) ഉം (7.1) ഉം താരതമ്യം ചെയ്താൽ കറന്റ് വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ $\pi/2$ മുന്നിലാണെന്നു കാണാൻ കഴിയും. ചിത്രം 7.9(a) t_1 സമയത്തുള്ള ഫേസർ ഡയഗ്രമാണ്. ഇവിടെ ഫേസറുകൾ അപ്രദക്ഷിണ (counter clockwise)മായി കറങ്ങുമ്പോൾ കറന്റ് ഫേസർ **I** വോൾട്ടേജ് ഫേസർ **V** യെക്കാൾ $\pi/2$ മുന്നിലാണ്. ചിത്രം 7.9(b) സമയത്തിനനുസരിച്ചുള്ള കറന്റിന്റെയും വോൾട്ടേജിന്റെയും മാറ്റമാണ് കാണിക്കുന്നത്. വോൾട്ടേജ് പരമാവധിയിലെത്തുന്നതിന്റെ നാലിലൊന്ന് പിരീഡ് മുമ്പെ കറന്റ് അതിന്റെ പരമാവധിയിൽ എത്തുന്നുണ്ട്.

കപ്പാസിറ്ററിന് കൊടുക്കുന്ന തൽക്ഷണ പവർ

$$p_c = i\,v = i_m \cos(\omega t) v_m \sin(\omega t)$$

$$= i_m v_m \cos(\omega t) \sin(\omega t)$$

$$= \frac{i_m v_m}{2} \sin(2\omega t) \tag{7.19}$$

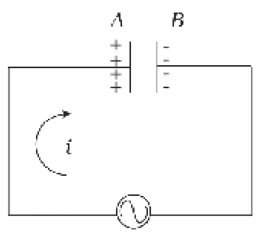
ഇൻഡക്ടറിലേതു പോലെത്തന്നെ ശരാശരി പവർ

$$P_C = \left\langle \frac{i_m v_m}{2} \sin(2\omega t) \right\rangle = \frac{i_m v_m}{2} \langle \sin(2\omega t) \rangle = 0$$

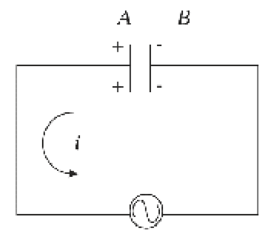
ഒരു സൈക്കിൾ പൂർണമാകുമ്പോൾ $\langle \sin(2\omega t) \rangle = 0$ ആയതുകൊണ്ടാണ്. ഇത് വിശദമായി ചിത്രം 7.10 ൽ വിവരിക്കുന്നു. ഇൻഡക്ടറിൽ വോൾട്ടേജിനെ അപേക്ഷിച്ച് കറന്റ് $\pi/2$ പിന്നിലും കപ്പാസിറ്റർ സെർക്കീട്ടിൽ $\pi/2$ മുന്നിലുമാണ്.

ഉദാഹരണം 7.3 : ഒരു വൈദ്യുതവിളക്ക് കപ്പാസിറ്ററുമായി ശ്രേണിയിൽ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇതിൽ dc യും ac യും പ്രയോഗിക്കപ്പെടുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന നിങ്ങളുടെ നിരീക്ഷണങ്ങൾ പ്രവചിക്കുക. കപ്പാസിറ്ററിന്റെ കപ്പാസിറ്റൻസ് കുറയ്ക്കുമ്പോൾ ഓരോ സന്ദർഭത്തിലും എന്താണ് സംഭവിക്കുന്നത്?

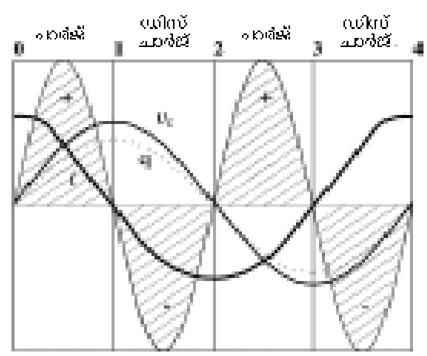
ഉദാഹരണം : 7.3



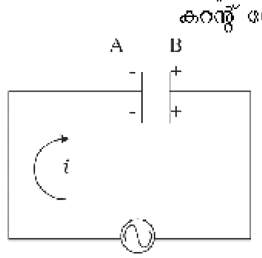
0-1 കറന്റ് i പരമാവധി മൂല്യത്തിൽനിന്ന് പൂജ്യത്തിലേക്ക് എത്തുന്നു. A യിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജും B യിൽ നെഗറ്റീവ് ചാർജും കറന്റ് പൂജ്യം ആകുന്നതു വരെ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടും. വോൾട്ടേജ് $v_c = q/C$ ചാർജിന്റെ അതേ ഫേസിലാണ്. ഇത് 1 ൽ എത്തുമ്പോൾ അതിന്റെ പരമാവധി മൂല്യത്തിലെത്തുന്നു. കറന്റും വോൾട്ടേജും പോസിറ്റീവാണ്. ഇവ രണ്ടിന്റെയും ഗുണനഫലമായ പവർ പോസിറ്റീവാണ്. $p = v_c i$ സൈക്കിളിന്റെ ഈ നാലിലൊന്നു ഭാഗത്ത് കപ്പാസിറ്റർ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുമ്പോൾ സ്രോതസ്സിൽ നിന്ന് ഊർജത്തെ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു.



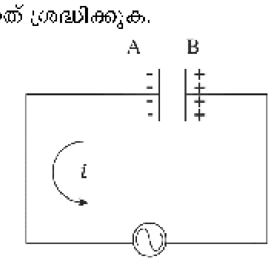
1-2 കറന്റ് i അതിന്റെ ദിശമാറ്റുന്നു. ശേഖരിച്ചിരുന്ന ചാർജ് കുറഞ്ഞ് ഇല്ലാതാകുന്നു. അതായത്, ചാർജ് ഡിസ്ചാർജാണ് സൈക്കിളിന്റെ ഈ നാലിലൊന്നു ഭാഗത്ത് നടക്കുന്നത്. വോൾട്ടേജ് കുറയുന്നുവെങ്കിലും പോസിറ്റീവായിത്തന്നെ തുടരുന്നു. കറന്റ് നെഗറ്റീവാണ്. ഇവ രണ്ടിന്റെയും ഗുണനഫലമായ പവർ നെഗറ്റീവായിരിക്കും.



കറന്റിന്റെ/വോൾട്ടേജിന്റെ ഒരു പരിപൂർണ സൈക്കിൾ.
കറന്റ് വോൾട്ടേജിനെ ലീഡ് ചെയ്യുന്നത് ശ്രദ്ധിക്കുക.



2-3 കറന്റ് i, A യിൽ നിന്ന് B യിലേക്കുള്ള ഒഴുക്കു തുടരുന്നതുകൊണ്ട് കപ്പാസിറ്റർ എതിർധ്രുവതയിൽ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നു. B പ്ലേറ്റിന് പോസിറ്റീവ് ചാർജും A പ്ലേറ്റിന് നെഗറ്റീവ് ചാർജും ലഭിക്കുന്നു. കറന്റും വോൾട്ടേജും, നെഗറ്റീവാണ്. ഇവയുടെ ഗുണനഫലം p പോസിറ്റീവാണ്. കപ്പാസിറ്റർ ഊർജത്തെ ആഗിരണം ചെയ്യുകയാണ് ഈ കാൽ സൈക്കിളിൽ.



3-4 കറന്റ് i അതിനെ ദിശ **3**-ൽ മാറി , B യിൽ നിന്ന് A യിലേക്ക് ഒഴുകുന്നു. ശേഖരിക്കപ്പെട്ട ചാർജ് ഡിസ്ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുകയും വോൾട്ടേജിന്റെ അളവ് v_c കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. 4-ൽ ചാർജ് മുഴുവൻ ഡിസ്ചാർജാകുമ്പോൾ v_c പൂജ്യമാകുന്നു. പവർ നെഗറ്റീവാണിവിടെ. **2-3** ൽ ആഗിരണം ചെയ്ത ഊർജം ഇവിടെ തിരികെ നൽകുന്നു. മൊത്തം ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്തത് പൂജ്യമാണ്.

ചിത്രം 7.10 ഒരു കപ്പാസിറ്ററിന്റെ ചാർജിങ്ങും ഡിസ്ചാർജിങ്ങും

ഉത്തരം

ഒരു dc സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുമ്പോൾ കപ്പാസിറ്റർ ചാർജ് ചെയ്തതിനുശേഷം സെർക്കീട്ടിൽ ഒരു കറന്റും ഇല്ലാതിരിക്കുകയും വൈദ്യുത വിളക്ക് കത്തിക്കാതിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. C കുറയ്ക്കുന്നതുകൊണ്ട് ഒരു മാറ്റവുമുണ്ടാകുന്നില്ല. ac സ്രോതസ്സിൽ കപ്പാസിറ്റർ കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസ് $(1/\omega C)$ നൽകുകയും കറന്റ് ഒഴുകുകയും തത്ഫലമായി വൈദ്യുതവിളക്ക് കത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. C കുറയ്ക്കുന്നതുകൊണ്ട് റിയാക്ടൻസ് വർധിക്കുകയും വിളക്ക് നേരത്തേതിനേക്കാൾ മങ്ങി കത്തുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഉദാഹരണം : 7.3

ഉദാഹരണം 7.4

15.0 μF കപ്പാസിറ്റർ 220 V, 50 Hz ഉള്ള ഒരു സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസും സർക്കീട്ടിലെ കറന്റും (rms ഉം പരമാവധിയും) കണ്ടുപിടിക്കുക. ആവൃത്തി ഇരട്ടിയാക്കിയാൽ കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസിനും കറന്റിനും എന്തു സംഭവിക്കുന്നു?

ഉത്തരം

കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസ്

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2\pi(50\text{Hz})(15.0\times10^{-6}\text{F})} = 212\,\Omega$$

rms കറന്റ്

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{220\text{ V}}{212\ \Omega} = 1.04\text{ A}$$

പീക്ക് കറന്റ്

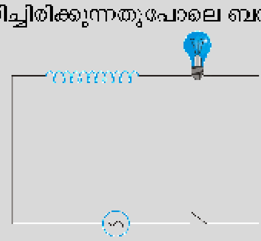
$$i_m = \sqrt{2}I = (1.41)(1.04\text{ A}) = 1.47\text{ A}$$

ഈ സെർക്കീട്ടിലെ തൽക്ഷണ കറന്റ് +1.47A ന്റെയും −1.47 A ന്റെയും ഇടയ്ക്ക് ദോലനം ചെയ്യുകയും വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ $\pi/2$ മുന്നിലായിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ആവൃത്തി ഇരട്ടിയാകുമ്പോൾ കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസ് പകുതിയാവുകയും തന്മൂലം കറന്റ് ഇരട്ടിയാവുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഉദാഹരണം : 7.4

ഉദാഹരണം 7.5

ഒരു ബൾബും ഒരു ഇൻഡക്ടർ കോയിലും ഒരു സ്വിച്ച് വഴി ഒരു ac സ്രോതസ്സുമായി ചിത്രം 7.11 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു.



ചിത്രം 7.11

സ്വിച്ചിട്ട് കുറച്ചു കഴിഞ്ഞ് ഇരുമ്പുദണ്ഡ് ഇൻഡക്ടറിന്റെ ഉള്ളിലേക്കു കടത്തുമ്പോൾ ബൾബിന്റെ തിളക്കം (a) കൂടുന്നു (b) കുറയുന്നു (c) മാറ്റമില്ല.

കാരണ സഹിതം ഉത്തരം നൽകുക.

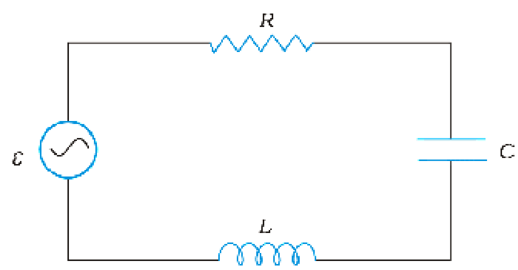
ഉത്തരം

ഇരുമ്പുദണ്ഡ് കടത്തുമ്പോൾ, കോയിലിനുള്ളിലെ കാന്തികമണ്ഡലം ഇരുമ്പുദണ്ഡിനെ കാന്തവൽക്കരിക്കുകയും കോയിലിനുള്ളിലെ കാന്തിക മണ്ഡലം കൂടുകയും ചെയ്യുന്നു. തത്ഫലമായി കോയിലിന്റെ ഇൻഡക്ടൻസ് വർധിക്കുന്നു. ഇതിന്റെ ഫലമായി പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ട വോൾട്ടേജിന്റെ കുറച്ച് വോൾട്ടേജ് മാത്രം ബൾബിന് നൽകി അധികഭാഗവും ഇൻഡക്ടറിൽ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. അതുകൊണ്ട് ബൾബിന്റെ തിളക്കം കുറയുന്നു.

ഉദാഹരണം : 7.5

7.6 ശ്രേണിയായി ഘടിപ്പിച്ച LCR സെർക്കീട്ടിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന AC വോൾട്ടേജ് (AC voltage applied to a series LCR circuit)

ചിത്രം7.12 ശ്രേണി LCR സർക്യൂട്ട് ഒരു ac സ്രോതസ്സ് ε യോടു ബന്ധിപ്പിച്ചതാണ് കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. സ്രോതസ്സിന്റെ വോൾട്ടേജ് $v = v_m \sin \omega t$ എന്നെടുക്കാം.



ചിത്രം 7.12 ശ്രേണി LCR സർക്കീട്ട് ഒരു ac സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു

കപ്പാസിറ്ററിലുള്ള ചാർജ് q എന്നും t സമയത്തുള്ള കറന്റ് i എന്നുമാണെങ്കിൽ കിർച്ചോഫിന്റെ വലയ നിയമപ്രകാരം:

$$L\frac{di}{dt} + iR + \frac{q}{C} = v \quad \text{എന്നെഴുതാം.} \qquad (7.20)$$

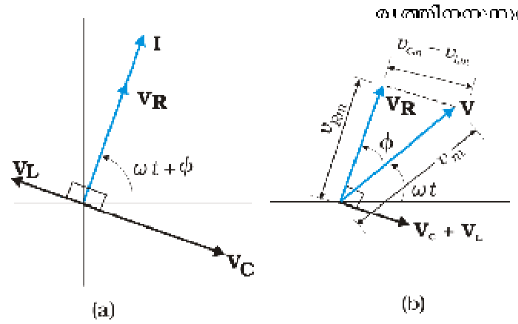
തൽക്ഷണ കറന്റ് i ഉം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വോൾട്ടേജുമായി (v) അതിന്റെ ഫേസ്ബന്ധവുമാണ് നമുക്കു നിർണയിക്കേണ്ടത്. ഈ പ്രശ്നത്തെ രണ്ടു രീതിയിൽ നിർധാരണം ചെയ്യാം. ആദ്യം ഫേസർ സങ്കേതം ഉപയോഗിക്കാം. രണ്ടാമതായി സമവാക്യം (7.20) ൽ കറന്റിന്റെ സമയവുമായുള്ള ബന്ധത്തെ അപഗ്രഥനത്തിലൂടെ (analytically) നിർധാരണം ചെയ്യാം.

7.61 ഫേസർ ഡയഗ്രപ്രകാരമുള്ള നിർധാരണം (Phasor-diagram solution)

പ്രതിരോധകം, ഇൻഡക്ടർ, കപ്പാസിറ്റർ എന്നിവ ശ്രേണിയായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതാണ് ചിത്രം 7.12 ൽ നാം കാണുന്നത്. ഏതൊരു സമയത്തും ഓരോ ഘടകങ്ങളിലൂടെയും ഒരേ ആയതിയും ഫേസുമുള്ള ഒരേ കറന്റായിരിക്കുമുണ്ടാവുക. ഇതിനെ

$$i = i_m \sin(\omega t + \phi) \text{ എന്നെഴുതാം.} \qquad (7.21)$$

ϕ എന്നത് സ്രോതസ്സിന്റെ വോൾട്ടേജിനും സെർക്കീട്ടിലൂടെയുള്ള കറന്റിനും ഇടയ്ക്കുള്ള ഫേസ് വ്യത്യാസമാണ്. മുമ്പു പഠിച്ചതടിസ്ഥാനമാക്കി ഇപ്പോഴത്തെ സാഹചര്യത്തിനനുസരിച്ച് ഒരു ഫേസർ ഡയഗ്രം നമുക്ക് നിർമിക്കാം.



ചിത്രം 7.12 (a) ഫേസറുകൾ V_L, V_R, V_C, I എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം (b) ചിത്രം 7.11 സെർക്കീട്ടിലെ ഫേസറുകൾ V_L, V_R, $(V_L + V_C)$ എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം

സമവാക്യം 7.21 ന് അനുസരിച്ച് സെർക്കീട്ടിലൂടെയുള്ള കറന്റിനെ **I** എന്ന ഫേസറായി പരിഗണിക്കാം. $\mathbf{V_L}$, $\mathbf{V_R}$, $\mathbf{V_C}$, **V** എന്നിവ ഇൻഡക്ടർ, പ്രതിരോധകം, കപ്പാസിറ്റർ, സ്രോതസ്സ് എന്നിവയ്ക്കിടയിലുള്ള വോൾട്ടേജിനെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്ന ഫേസറുകളാണ്.

കറന്റ് ഫേസർ **I** യെ അപേക്ഷിച്ച് $\mathbf{V_R}$ ഫേസർ സമാന്തരവും $\mathbf{V_C}$ ഫേസർ $\pi/2$ പിന്നിലും $\mathbf{V_L}$ ഫേസർ $\pi/2$ മുന്നിലുമാണ്. $\mathbf{V_L}$, $\mathbf{V_R}$, $\mathbf{V_C}$, **V** എന്നിവ ചിത്രം 7.13(a) ൽ ഉചിതമായ ഫേസ്ബന്ധത്തിലൂടെ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

$\mathbf{V_R}$, $\mathbf{V_C}$, $\mathbf{V_L}$ എന്നീ ഫേസറുകളുടെ നീളം അല്ലെങ്കിൽ ആയതിയെ

$$v_{Rm} = i_m R,\ v_{Cm} = i_m X_C,\ v_{Lm} = i_m X_L \qquad (7.22)$$

എന്നെഴുതാം. സെർക്കീട്ടിന്റെ വോൾട്ടേജ് സമവാക്യം (7.20) ഇങ്ങനെ എഴുതാം.

$$v_L + v_R + v_C = v \qquad (7.23)$$

മുകളിലെ സമവാക്യത്തിന്റെ ഫേസർ ബന്ധം

$$\mathbf{V_L} + \mathbf{V_R} + \mathbf{V_C} = \mathbf{V} \qquad (7.24)$$

ഈ ബന്ധം ചിത്രം 7.13(b) യിൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. $\mathbf{V_C}$ യും $\mathbf{V_L}$ ഉം എപ്പോഴും ഒരേ നേർരേഖയിലും വിപരീതദിശയിലുമായതിനാൽ, അവയെ ഒരൊറ്റ ഫേസറായി കൂട്ടിച്ചേർക്കാം $(\mathbf{V_C} + \mathbf{V_L})$. അതിന്റെ അളവ് $|v_{Cm} - v_{Lm}|$ എന്നാണ്. വശങ്ങൾ $\mathbf{V_R}$, $(\mathbf{V_C}$

+ $\mathbf{V}_L$) ആയ ഒരു ത്രികോണത്തിന്റെ കർണമായിട്ടാണ് **V** യെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നത്. പൈതഗോറസ് സിദ്ധാന്തപ്രകാരം

$$v_m^2 = v_{Rm}^2 + \left(v_{Cm} - v_{Lm}\right)^2$$

സമവാക്യത്തിൽ (7.22) ൽ നിന്നു v_{Rm}, v_{Cm}, v_{Lm} എന്നിവയുടെ മൂല്യങ്ങൾ മുകളിലെ സമവാക്യത്തിൽ നൽകിയാൽ

$$v_m^2 = (i_m R)^2 + (i_m X_C - i_m X_L)^2$$

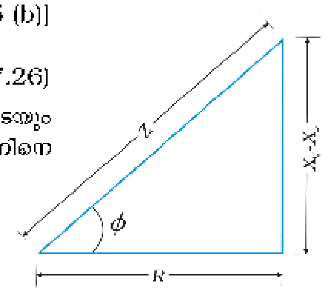
$$i_m^2 \left[R^2 - (X_C - X_L)^2 \right]$$

or. $$i_m = \frac{v_m}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}} \qquad [7.25\ (a)]$$

ഒരു സെർക്കീട്ടിലെ പ്രതിരോധത്തിനു സമാനമായി നമുക്ക് ac സെർക്കീട്ടിലെ ഇമ്പിഡൻസിനെ Z എന്ന് അവതരിപ്പിക്കാം.

$$i_m = \frac{v_m}{Z} \qquad [7.25\ (b)]$$

ഇതിൽ $Z = \sqrt{R^2 - (X_C - X_L)^2}$ (7.26)



ചിത്രം 7.14
ഇമ്പിഡൻസ് ചിത്രം

ഫേസർ **I** എപ്പോഴും ഫേസർ $\mathbf{V_R}$ ന് സമാന്തരമായതുകൊണ്ട്, $\mathbf{V_R}$ ന്റെയും **V** യുടെയും ഇടയ്ക്കുള്ള കോണാണ് ഫേസ്കോൺ ϕ. ചിത്രം 7.14 ൽനിന്ന് ഫേസ് കോണിനെ നിർണയിക്കാം.

$$\tan\phi = \frac{v_{Cm} - v_{Lm}}{v_{Rm}}$$

സമവാക്യം (7.22) ഉപയോഗിച്ചാൽ

$$\tan\phi = \frac{X_C - X_L}{R} \qquad (7.27)$$

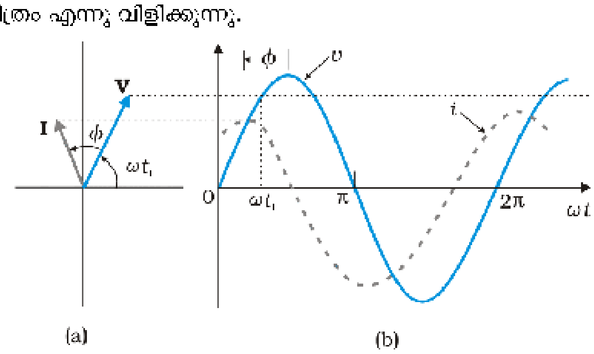
സമവാക്യങ്ങൾ (7.26) ഉം (7.27) ഉം ഗ്രാഫായി ചിത്രം 7.14 ൽ കാണിക്കുന്നു. Z കർണമായിട്ടുള്ള ഈ മട്ടത്രികോണത്തെ ഇമ്പിഡൻസ് ചിത്രം എന്നു വിളിക്കുന്നു.

സമവാക്യം 7.25 (a) കറന്റിന്റെ ആയതിയും സമവാക്യം (7.27) ഫേസ്കോണും തരുന്നു. ഇതോടു കൂടി സമവാക്യം (7.21) ന് പൂർണമായും വ്യക്തത വരുന്നു.

$X_C > X_L$, ആയാൽ, ϕ പോസിറ്റീവും സെർക്കീട്ട് മുഖ്യമായും കപ്പാസിറ്റീവും ആകും. തത്ഫലമായി സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റ് സ്രോതസ്സ് വോൾട്ടേജിന്റെ മുന്നിലായിരിക്കും.

$X_C > X_L$. ആയാൽ ϕ നെഗറ്റീവും സെർക്കീട്ട് മുഖ്യമായും ഇൻഡക്ടീവും ആകും. അതിനാൽ സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റ് വോൾട്ടേജിന്റെ പിന്നിലായിരിക്കും.

ചിത്രം 7.15 ഫേസർ ഡയഗ്രവും, $X_C > X_L$ ആകുന്ന സമയത്ത് ωt അനുസരിച്ച് v യുടെയും i യുടെയും മാറ്റവും കാണിക്കുന്നു.



ചിത്രം **7.15** (a) **V** യുടെയും **I** യുടെയും ഫേസർ ചിത്രം (b) $X_C > X_L$ ആയിരിക്കുമ്പോൾ v യെയും i യെയും ωt യുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ഗ്രാഫ് (*LCR* സെർക്കീട്ടിൽ)

അങ്ങനെ ഒരു *LCR* സെർക്കീട്ടിന്റെ കറന്റിന്റെ ആയതിയും ഫേസും ഫേസർ ഡയഗ്രം ഉപയോഗിച്ച് ലഭിച്ചു. എന്നാൽ ഈ രീതിയിൽ ac സെർക്കീട്ടുകളെ വിശകലനം ചെയ്യുന്ന രീതിക്ക് ചില പോരായ്മകളുണ്ട്. ഒന്നാമതായി ഫേസർ ഡയഗ്രം പ്രാരംഭ വ്യവസ്ഥയെക്കുറിച്ച് ഒന്നും

പറയുന്നില്ല. t യുടെ ഏതെങ്കിലും ഒരു മൂല്യമെടുത്ത് (ഈ അധ്യായത്തിൽ എല്ലായിടത്തും ചെയ്തതു പോലെ, t_1) വ്യത്യസ്ത ഫേസറുകൾ തമ്മിലുള്ള ആപേക്ഷിക കോണനുസരിച്ച് വ്യത്യസ്ത ഫേസറുകൾ വരയ്ക്കാൻ കഴിയും. ഇപ്രകാരം ലഭിക്കുന്നതാണ് സ്ഥിരാവസ്ഥാ നിർധാരണം (*steady state solution*). ഇതൊരു സാമാന്യ നിർധാരണമല്ല. $v = 0$ ആയാൽ പോലും നിലനിൽക്കുന്ന ക്ഷണികമായ നിർധാരണം (*transient solution*) ഉണ്ടാവേണ്ടതുണ്ട്.

സാമാന്യനിർധാരണം സ്ഥിരാവസ്ഥാനിർധാരണത്തിന്റെയും ക്ഷണികനിർധാരണത്തിന്റെയും ആകെ തുകയാണ്. കുറച്ചുസമയത്തിനുശേഷം ക്ഷണികനിർധാരണത്തിന്റെ ഫലങ്ങൾ ഇല്ലാതാകുകയും സെർക്കീട്ട് സ്ഥിരാവസ്ഥാ നിർധാരണ രീതിയിൽ ആയിത്തീരുകയും ചെയ്യുന്നു.

7.6.2 അപഗ്രഥനപരമായ നിർധാരണം (Analytical solution)

സെർക്കീട്ടിന്റെ വോൾട്ടേജ് സമവാക്യം

$$L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + Ri + \frac{q}{C} = v$$

$$= v_m \sin \omega t \quad \text{നമുക്കറിയാം,}$$

$i = \mathrm{d}q/\mathrm{d}t$ അതുകൊണ്ട് $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t = \mathrm{d}^2q/\mathrm{d}t^2$

അങ്ങനെ വോൾട്ടേജ് സമവാക്യം ചാർജിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ

$$L\frac{\mathrm{d}^2q}{\mathrm{d}t^2} + R\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} + \frac{q}{C} = v_m \sin \omega t \quad \text{എന്നെഴുതാം.} \tag{7.28}$$

ഇത് ഒരു പ്രണോദിത അവമന്ദിതദോലന (forced damped oscillation) ത്തിന്റെ സമവാക്യം പോലെയാണ്. (XI-ാം ക്ലാസിലെ ഫിസിക്സ് പാഠപുസ്തകത്തിലെ സമവാക്യം [14.37(b)] കാണുക.)

$$q = q_m \sin(\omega t + \theta) \qquad [7.29(a)]$$

എന്നത് ഈ സമവാക്യത്തിന്റെ നിർധാരണമാണെന്ന് അനുമാനിക്കാം. അതുകൊണ്ട്

$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = q_m \omega \cos(\omega t + \theta) \qquad [7.29(b)]$$

എന്നും $\dfrac{\mathrm{d}^2q}{\mathrm{d}t^2} = -q_m \omega^2 \sin(\omega t + \theta)$ എന്നുമാണ്. [7.29(c)]

ഈ മൂല്യങ്ങൾ സമവാക്യം (7.28) ൽ നൽകിയാൽ

$$q_m \omega\left[R\cos(\omega t + \theta) + (X_C - X_L)\sin(\omega t + \theta)\right] = v_m \sin \omega t \tag{7.30}$$

ഇവിടെ $X_c = 1/\omega C$, $X_L = \omega L$. സമവാക്യം (7.30) നെ $Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$, കൊണ്ട് ഗുണിക്കുകയും ഹരിക്കുകയും ചെയ്താൽ

$$q_m \omega Z\left[\frac{R}{Z}\cos(\omega t + \theta) + \frac{(X_C - X_L)}{Z}\sin(\omega t + \theta)\right] = v_m \sin \omega t \tag{7.31}$$

ഇപ്പോൾ $\dfrac{R}{Z} = \cos\phi$

എന്നും $\dfrac{(X_C - X_L)}{Z} = \sin\phi$

എന്നുമിരിക്കട്ടെ. അതുകൊണ്ട് $\phi = \tan^{-1} \dfrac{X_C - X_L}{R}$ (7.32)

ഇവ സമവാക്യം (7.31) ൽ നൽകുകയും ലഘൂകരിക്കുകയും ചെയ്താൽ:

$$q_m \omega Z \cos(\omega t + \theta - \phi) = v_m \sin \omega t \qquad (7.33)$$

ഈ സമവാക്യത്തിന്റെ രണ്ടു വശങ്ങളും താരതമ്യം ചെയ്താൽ

$$v_m = q_m \omega Z = i_m Z$$

ഇതിൽ $i_m = q_m \omega$ [7.33(a)]

കൂടാതെ $\cos(\omega t + \theta - \phi) = \sin \omega t$

എന്നാൽ $\cos(\omega t - \dfrac{\pi}{2}) = \sin \omega t$ എന്നു നമുക്കറിയാം.

അതിനാൽ $\theta - \phi = -\dfrac{\pi}{2}$

$$\theta = -\frac{\pi}{2} + \phi \qquad [7.33(b)]$$

അതിനാൽ ഈ സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റ്

$$i = \frac{dq}{dt} = q_m \omega \cos(\omega t + \theta)$$

$$= i_m \cos(\omega t + \theta) = i_m \cos[\omega t + \pi/2 + \phi] = i_m \cos[(\omega t + \phi) - \pi/2]$$

അഥവാ $i = i_m \sin(\omega t + \phi)$ (7.34)

ഇതിൽ $i_m = \dfrac{v_m}{Z} = \dfrac{v_m}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}$ [7.34(a)]

എന്നും $\phi = \tan^{-1} \dfrac{X_C - X_L}{R}$ എന്നുമാണ്.

അങ്ങനെ കറന്റിന്റെ ആയതിയുടെയും ഫേസിന്റെയും അപഗ്രഥനപരമായ നിർധാരണം ഫേസർ സങ്കേതപ്രകാരം ലഭിച്ചതിനോടു യോജിക്കുന്നു.

7.6.3 അനുനാദം (Resonance)

ശ്രേണി LCR സെർക്കീട്ടിന്റെ ശ്രദ്ധേയമായ ഒരു സവിശേഷതയാണ് അനുനാദം എന്ന പ്രതിഭാസം. ഒരു സിസ്റ്റത്തിന് ഒരു നിശ്ചിത ആവൃത്തിയിൽ ദോലനം ചെയ്യാൻ പ്രവണതയുണ്ടെന്നിരിക്കട്ടെ. ഈ ആവൃത്തിയെ സിസ്റ്റത്തിന്റെ സ്വാഭാവിക ആവൃത്തി എന്ന് പറയുന്നു. ഇത്തരം സിസ്റ്റങ്ങളിൽ അനുനാദം സാധാരണമാണ്. ഒരു സിസ്റ്റം സ്വാഭാവിക ആവൃത്തിയിൽനിന്ന് അകലെയല്ലാത്ത ആവൃത്തിയിൽ ഒരു ഊർജ സ്രോതസ്സാൽ പ്രണോദിപ്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ആ ദോലനത്തിന്റെ ആയതി വലുതാകുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. ഈ പ്രതിഭാസത്തിന്റെ പരിചിതമായ ഒരു ഉദാഹരണമാണ് ഊഞ്ഞാലാടുന്ന കുട്ടി. ഒരു പെൻഡുലംപോലെ മുന്നോട്ടും പിന്നോട്ടും ആടിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു സ്വാഭാവിക ആവൃത്തി ഊഞ്ഞാലിനുണ്ട്. ക്രമമായ ഇടവേളയിൽ കുട്ടി കയർ വലിക്കുന്നുണ്ടെങ്കിൽ വലിക്കുന്നതിന്റെ ആവൃത്തി, ഊഞ്ഞാലാടുന്ന ആവൃത്തിയുടെ ഏതാണ്ട് തുല്യമായാൽ, ഊഞ്ഞാലാട്ടത്തിന്റെ ആയതി വലുതായിരിക്കും (അധ്യായം 14, XI-ാം ക്ലാസ്).

ഒരു LCR സെർക്കീട്ടിന് അതിലെ L, C എന്നിവയുടെ വിലയനുസരിച്ച് ഒരു സ്വാഭാവിക ആവൃത്തിയുണ്ട്. ഇതേ LCR സെർക്കീട്ടിൽ ആയതി v_m ഉം ആവൃത്തി ω യുമുള്ള വോൾട്ടേജ് പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ കറന്റിന്റെ ആയതി ഇപ്രകാരം കണ്ടെത്താം.

$$i_m \quad \frac{v_m}{Z} \quad \frac{v_m}{\sqrt{R^2 \quad (X_C \quad X_L)^2}}$$

$X_C = 1/\omega C$ യും $X_L = \omega L$ എന്നുമാണ്. ω മാറ്റുമ്പോൾ ഒരു പ്രത്യേക ആവൃത്തി ω_0

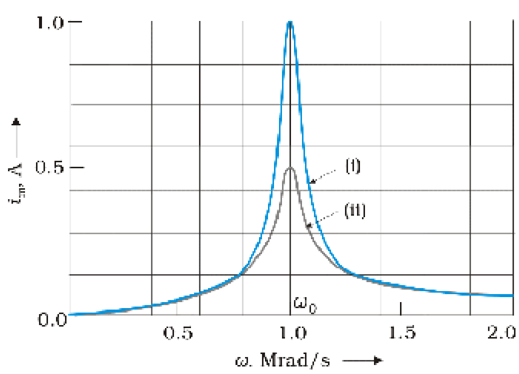
യിൽ. $X_c = X_L$ ആവുകയും ഇമ്പിഡൻസ് $\left(Z = \sqrt{R^2 + 0^2} = R\right)$ മിനിമം ആവുകയും ചെയ്യും.

ഇവിടെ $X_c = X_L$ അഥവാ $\dfrac{1}{\omega_0 C} = \omega_0 L$ അഥവാ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{7.35}$$

ഈ ആവൃത്തിയെയാണ് അനുനാദ ആവൃത്തി എന്നു വിളിക്കുന്നത്. അനുനാദത്തിൽ, പ്രയോഗിക്കുന്ന വോൾട്ടേജിന്റെ ആവൃത്തി *LCR* സെർക്കീട്ടിന്റെ സ്വാഭാവിക ആവൃത്തിയോട് സമമായിരിക്കും. അനുനാദ ആവൃത്തിയിൽ കറന്റിന്റെ ആയതി പരമാവധി (maximum) ആയിരിക്കും $i_m = v_m/R$.

LCR സെർക്കീട്ടിൽ ω ക്ക് അനുസരിച്ച് i_m ന്റെ മാറ്റമാണ് ചിത്രം 7.16 ൽ കാണിച്ചിട്ടുള്ളത്.



ചിത്രം 7.16 ω അനുസരിച്ച് i_mന്റെ മാറ്റങ്ങൾ രണ്ട് അവസരങ്ങളിൽ (i) $R = 100\ \Omega$, (ii) $R = 200\ \Omega$. $L = 1.00$ mH, $C = 1.00$ nF, $v_m = 100$ V

ഇവിടെ $L = 1.00$ mH, $C = 1.00$ nF രണ്ട് തരം പ്രതിരോധകങ്ങൾ (i) $R = 100\ \Omega$ and (ii) $R = 200\ \Omega$ എന്നിവയാണ്. സ്രോതസ്സ് നൽകുന്ന വോൾട്ടേജ് $v_m = 100$ V

ഇവിടെ $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} = 1.00\times10^6$ rad/s.

അനുനാദ ആവൃത്തിയിൽ കറന്റിന്റെ ആയതി പരമാവധിയാണെന്ന് നമുക്കു കാണാം. അനുനാദത്തിൽ $i_m = v_m / R$ ആയതിനാൽ കറന്റിന്റെ ആയതി ഒന്നാമത്തെ സന്ദർഭത്തിൽ രണ്ടാമത്തേതിനേക്കാൾ ഇരട്ടിയാണ്.

അനുനാദ സെർക്കീട്ടുകൾക്കു വിവിധങ്ങളായ ഉപയോഗങ്ങളാണുള്ളത്. ഉദാഹരണത്തിന് ഒരു റേഡിയോ അല്ലെങ്കിൽ ടി.വി സെറ്റിന്റെ ട്യൂണിങ് സംവിധാനത്തിൽ *LCR* സെർക്കീട്ട് ഉണ്ട്. റേഡിയോയുടെ ആന്റിന പല പ്രക്ഷേപണനിലയങ്ങളിൽ നിന്നും സിഗ്നലുകൾ സ്വീകരിക്കുന്നു. ആന്റിന പിടിച്ചെടുക്കുന്ന സിഗ്നലുകൾ റേഡിയോയുടെ ട്യൂണിങ് സെർക്കീട്ടിലെ ഒരു സ്രോതസ്സായി പ്രവർത്തിക്കുന്നു. ഇപ്രകാരം സെർക്കീട്ട് പല ആവൃത്തികളാൽ ഉത്തേജിക്കപ്പെടുന്നു. ഇതിൽ നിന്നു ഒരു പ്രത്യേക റേഡിയോ നിലയത്തെ കേൾക്കാൻ നാം റേഡിയോ ട്യൂൺ ചെയ്യുന്നു. ട്യൂണിങ്ങിൽ സ്വീകരിക്കുന്ന റേഡിയോ സിഗ്നലിന്റെ ആവൃത്തിയോട് ഏകദേശം സമാനമായി സർക്കീട്ടിൽ അനുനാദ ആവൃത്തി വരത്തക്ക രീതിയിൽ ട്യൂണിങ് സെർക്കീട്ടിലെ കപ്പാസിറ്ററിന്റെ കപ്പാസിറ്റൻസിനെ നാം വ്യത്യാസപ്പെടുത്തുന്നു. ഇങ്ങനെ സംഭവിക്കുമ്പോൾ അനുനാദത്തിലായ റേഡിയോനിലയത്തിന്റെ സിഗ്നൽ ഉണ്ടാക്കുന്ന കറന്റിന്റെ ആയതി സെർക്കീട്ടിൽ പരമാവധിയായിരിക്കും.

ഒരു സെർക്കീട്ടിൽ *L* ഉം *C* ഉം ഉണ്ടാകുമ്പോൾ മാത്രമാണ് ആ സെർക്കീട്ട് അനുനാദ പ്രതിഭാസം കാണിക്കുന്നത് എന്ന് പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധിക്കുക. അപ്പോൾ മാത്രമേ *L*, *C* എന്നിവയ്ക്കിടയിലുള്ള വോൾട്ടേജുകൾ പരസ്പരം റദ്ദാക്കുകയും (രണ്ടും വിപരീത ഫേസിലായതുകൊണ്ട്) അനുനാദത്തിൽ കറന്റിന്റെ ആയതി v_m/R ഉം മൊത്തം സ്രോതസ്സ് വോൾട്ടേജ് *R* ന് കുറുകെ കാണപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നുള്ളു. *RL* അല്ലെങ്കിൽ *RC* സെർക്കീട്ടിൽ അനുനാദമുണ്ടാകില്ല എന്നാണിതിനർഥം.

അനുനാദത്തിന്റെ കൂർമത (Sharpness of resonance)

ശ്രേണി *LCR* സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിന്റെ ആയതി

$$i_m = \frac{v_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$\omega = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$. ആകുമ്പോൾ ഇത് പരമാവധിയാകും. കറന്റിന്റെ പരമാവധി മൂല്യം

$i_m^{max} = v_m / R$.

ω_0 അല്ലാത്ത ω യുടെ മറ്റു മൂല്യങ്ങളിൽ, കറന്റിന്റെ ആയതി പരമാവധി മൂല്യത്തെക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. പരമാവധി മൂല്യത്തിന്റെ $1/\sqrt{2}$ മടങ്ങ് കറന്റിന്റെ ആയതിയുള്ള ω യുടെ മൂല്യത്തെ തിരഞ്ഞെടുക്കുക. ഈ മൂല്യത്തിൽ സെർക്കീട്ടിലുള്ള പവർ വിനിയോഗം പകുതിയായിരിക്കും. ചിത്രം (7.16) ലെ ഗ്രാഫിൽ നിന്നും ω ക്ക് അത്തരം രണ്ടു മൂല്യങ്ങളുള്ളതായി കാണാം. അവയെ ω_1 എന്നും ω_2 എന്നും വിളിക്കാം. ഒന്ന് ω_0 നേക്കാൾ വലുതും മറ്റേത് ω_0 നേക്കാൾ ചെറുതുമായി ω_0 ന് സമമിതിയായി നിൽക്കുന്നു.
നമുക്ക് ഇതിനെ ഇപ്രകാരം എഴുതാം.

$$\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$$

$$\omega_2 = \omega_0 - \Delta\omega$$

$\omega_1 - \omega_2 = 2\Delta\omega$ എന്ന വ്യത്യാസം സെർക്കീട്ടിന്റെ ബാന്റ് വിഡ്ത് എന്നറിയപ്പെടുന്നു. അനുനാദത്തിന്റെ കൂർമതയെ അളക്കുന്നത് $(\omega_0 / 2\Delta\omega)$ എന്ന അളവുകൊണ്ടാണ്. $\Delta\omega$ ചെറുതാകുമ്പോൾ അനുനാദം കൂർമതയുള്ളതും അഗ്രവും ഇടുങ്ങിയതുമാകും. $\Delta\omega$ എന്നതിന് ഒരു സമവാക്യം ലഭിക്കാൻ, കറന്റിന്റെ ആയതി i_m നെ $\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$ ക്ക് അനുസൃതമായി $\left(1/\sqrt{2}\right) i_m^{max}$ എന്നെഴുതാം.

$$\omega_1 \text{ ൽ } i_m = \frac{v_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2}}$$

$$= \frac{i_m^{max}}{\sqrt{2}} = \frac{v_m}{R\sqrt{2}}$$

അല്ലെങ്കിൽ

$$\sqrt{R^2 - \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2} \quad R\sqrt{2}$$

$$R^2 + \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2 = 2R^2$$

$$\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C} = R$$

ഇത് ഇപ്രകാരമെഴുതാം.

$$(\omega_0 + \Delta\omega)L - \frac{1}{(\omega_0 + \Delta\omega)C} = R$$

$$\omega_0 L\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right) - \frac{1}{\omega_0 C\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)} = R$$

$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ എന്നത് ഇടതു വശത്തുള്ള രണ്ടാം പദത്തിൽ ഉപയോഗിച്ചാൽ

$$\omega_0 L\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right) - \frac{\omega_0 L}{\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)} = R$$

$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} << 1$ എന്നതിനാൽ $\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)^{-1}$ നെ $\left(1 - \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)$ എന്ന് ഏകദേശനം ചെയ്യാം.

അപ്പോൾ $\omega_0 L\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right) - \omega_0 L\left(1 - \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right) = R$ എന്നെഴുതാം.

അതായത് $\omega_0 L \frac{2\Delta\omega}{\omega_0} = R$

$$\Delta\omega = \frac{R}{2L} \qquad [7.36(a)]$$

അനുനാദത്തിന്റെ കൂർമത (sharpness of resonance) ഇപ്രകാരമെഴുതാം.

$$\frac{\omega_0}{2\Delta\omega} = \frac{\omega_0 L}{R} \qquad [7.36(b)]$$

$\frac{\omega_0 L}{R}$ എന്ന അംശബന്ധത്തെ ക്വാളിറ്റി ഫാക്ടർ (Quality factor) അല്ലെങ്കിൽ സെർക്കീട്ടിന്റെ Q എന്നു വിളിക്കുന്നു.

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} \qquad [7.36(c)]$$

സമവാക്യങ്ങൾ 7.36 (b), 7.36 (c) എന്നിവയിൽ നിന്ന് $2\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}$ എന്ന് നമുക്ക് കാണാൻ കഴിയും. അതുകൊണ്ട് Q മൂല്യം വലുതാകുമ്പോൾ, $2\Delta\omega$ അഥവാ ബാൻഡ് വിഡ്ത് കുറയുകയും അനുനാദത്തിന്റെ കൂർമത കൂടുകയും ചെയ്യുന്നു. $\omega_0^2 = 1/LC$. എന്ന് ഉപയോഗിച്ച് സമവാക്യം 7.36(c) $Q = 1/\omega_0 CR$ എന്നുമെഴുതാം.

ചിത്രം 7.15ൽ നിന്ന് അനുനാദത്തിന്റെ കൂർമത കുറവാകാൻ പരമാവധി കറന്റിന്റെ അളവ് കുറയുമെന്ന് മാത്രമല്ല ആവൃത്തിയുടെ വലിയ ഒരു ഇടവേളയിൽ ($\Delta\omega$)കറന്റ്

പരമാവധി കറന്റിനോടടുത്തായിരിക്കുക മൂലം കൂർമത കുറഞ്ഞ അനുനാദത്തിൽ സെർക്കീട്ടിന്റെ സെലക്ടിവിറ്റി കുറയുകയും ചെയ്യും. അല്ലെങ്കിൽ നേരെ മറിച്ചുമാകും. സമവാക്യം (7.36) ൽ നിന്നു ക്വാളിറ്റി ഫാക്ടർ വലുതായാൽ അതായത് R ചെറുതും L വലുതുമായാൽ സെർക്കീട്ട് കൂടുതൽ സെലക്ടീവാകുമെന്ന് കാണാം.

ഉദാഹരണം 7.6 200 Ω പ്രതിരോധകവും 15.0 μF കപ്പാസിറ്ററും ഒരു 220 V, 50 Hz ac സ്രോതസ്സുമായി ശ്രേണീരീതിയിൽ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. (a) സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റ് കണക്കാക്കുക. (b) കപ്പാസിറ്ററിന്റെയും പ്രതിരോധകത്തിന്റെയും അഗ്രങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള rms വോൾട്ടേജ് കണക്കാക്കുക. ഈ വോൾട്ടേജുകളുടെ ബീജീയ തുക (algebraic sum) സ്രോതസ്സിന്റെ വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ കൂടുതലാണോ? ആണെങ്കിൽ ഈ വിരോധാഭാസം (paradox) പരിഹരിക്കുക.

ഉത്തരം

R 200 Ω, C 15.0 μF 15.0 10^{-6} F

V 220 V, ν 50 Hz എന്നിവ തന്നിട്ടുണ്ട്.

(a) കറന്റ് കണക്കാക്കാൻ നമുക്ക് സെർക്കീട്ടിലെ ഇമ്പിഡൻസ് അറിയേണ്ടതാണ്.

$$Z \quad \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \sqrt{R^2 + (2\pi \nu C)^{-2}}$$

$$= \sqrt{(200\,\Omega)^2 \quad (2 \quad 3.14 \quad 50 \times 10^{-6}\,\mathrm{F})^{-2}}$$

$$\sqrt{(200\,\Omega)^2 - (212\,\Omega)^2}$$

$$291.5\,\Omega$$

അതുകൊണ്ട് സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റ്

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220\,\mathrm{V}}{291.5\,\Omega} = 0.755\,\mathrm{A}$$

(b) സെർക്കീട്ടിൽ ഒരേ കറന്റ് ഒഴുകുന്നതുകൊണ്ട്

$V_R \quad I R \quad (0.755\,\mathrm{A})(200\,\Omega) \quad 151\,\mathrm{V}$

$V_C \quad I X_C \quad (0.755\,\mathrm{A})(212.3\,\Omega) \quad 160.3\,\mathrm{V}$ എന്ന് ലഭിക്കുന്നു.

V_R ന്റെയും V_C യുടെയും തുക 311.3 V എന്നാണ് കിട്ടുക. ഇത് സ്രോതസ്സിന്റെ വോൾട്ടേജായ 220 V നേക്കാൾ അധികമാണ്. എങ്ങനെയാണ് ഈ വിരോധാഭാസം പരിഹരിക്കുക? നാം മുമ്പ് പഠിച്ചതുപോലെ ഈ രണ്ട് വോൾട്ടേജുകളും ഒരേ ഫേസിലല്ല. അതുകൊണ്ട് സാധാരണ സംഖ്യകൾ കൂട്ടുന്നതുപോലെ ഇവയെ കൂട്ടാൻ കഴിയില്ല. ഈ രണ്ട് വോൾട്ടേജുകളും 90 ഡിഗ്രി ഫേസ് വ്യത്യാസത്തിലാണ്. അതുകൊണ്ട് ഇവയുടെ മൊത്ത വോൾട്ടേജ് പൈതഗോറസ് സിദ്ധാന്തം ഉപയോഗിച്ചേ ലഭിക്കുകയുള്ളൂ.

$$V_{R-C} = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

$$= 220\,\mathrm{V}$$

വോൾട്ടേജുകൾ തമ്മിലുള്ള ഫേസ് വ്യത്യാസം ശരിയായ രീതിയിൽ എടുത്താൽ പ്രതിരോധകത്തിനും കപ്പാസിറ്ററിനും കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജുകളുടെ തുക സ്രോതസ്സിന്റെ വോൾട്ടേജിനോട് തുല്യമായിരിക്കും.

ഉദാഹരണം : 7.6

7.7 AC സെർക്കീട്ടിലെ പവർ: പവർ ഫാക്ടർ (Power in AC Circuit: The Power Factor)

വോൾട്ടേജ് $v = v_m \sin \omega t$ ഒരു LCR സെർക്കീട്ടിൽ നൽകിയാൽ അതിലൂടെയുള്ള കറന്റ് $i = i_m \sin(\omega t + \phi)$ ആണെന്ന് നമുക്കറിയാം. ഇതിൽ

$$i_m = \frac{v_m}{Z} \text{ and } \phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_C - X_L}{R}\right)$$

അതുകൊണ്ട് ശ്രോതസ്സ് വിതരണം ചെയ്യുന്ന തൽക്ഷണ പവർ p

$$p = v\,i = \left(v_m \sin \omega t\right) \times \left[i_m \sin(\omega t + \phi)\right]$$

$$= \frac{v_m i_m}{2}\left[\cos\phi - \cos(2\omega t + \phi)\right] \tag{7.37}$$

ഒരു സൈക്കിളിലുള്ള ശരാശരി പവർ സമവാക്യം (7.37) ന്റെ വലതുവശത്തുള്ള ഓരോ പദത്തിന്റെയും ശരാശരിയാണ്. ഇതിൽ രണ്ടാംപദം മാത്രമാണ് സമയത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നത്. ഇതിന്റെ ശരാശരി മൂല്യം പൂജ്യമാണ്. (കോസൈനിന്റെ പോസിറ്റീവ് അർധവും നെഗറ്റീവ് അർധവും പരസ്പരം റദ്ദുചെയ്യുന്നു)
അതുകൊണ്ട്

$$P = \frac{v_m i_m}{2}\cos\phi = \frac{v_m}{\sqrt{2}}\frac{i_m}{\sqrt{2}}\cos\phi$$

$$= V\,I\cos\phi \tag{7.38(a)}$$

ഇത്

$P = I^2 Z\cos\phi$ എന്നും എഴുതാം. [7.38(b)]

അതുകൊണ്ട്, ശരാശരി പവർ വിനിയോഗം വോൾട്ടേജിനെയും കറന്റിനെയും മാത്രമല്ല ഫേസ് കോണിന്റെ കോസൈനിനെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. $\cos\phi$ എന്ന അളവിനെ പവർ ഫാക്ടർ എന്നു പറയുന്നു. നമുക്ക് താഴെ പറയുന്ന സന്ദർഭങ്ങൾ ചർച്ച ചെയ്യാം.

സന്ദർഭം (i) *റെസിസ്റ്റീവ് സെർക്കീട്ട്:* പ്രതിരോധകം മാത്രമുള്ള സെർക്കീട്ടിനെയാണ് പ്രതിരോധ സെർക്കീട്ട് എന്ന് പറയുന്നത്. ഇവിടെ $\phi = 0$, $\cos\phi = 1$, ആണ്. ഇവിടെ ഏറ്റവും കൂടുതൽ പവർ വിനിയോഗം നടക്കുന്നു.

സന്ദർഭം (ii) *ശുദ്ധ ഇൻഡക്ടീവ് അല്ലെങ്കിൽ കപ്പാസിറ്റീവ് സെർക്കീട്ട്:* ഇൻഡക്ടറോ കപ്പാസിറ്ററോ മാത്രമുള്ള സെർക്കീട്ടാണിത്. വോൾട്ടേജും കറന്റും തമ്മിലുള്ള ഫേസ് വ്യത്യാസം $\pi/2$ ആണ്. അതുകൊണ്ട് $\cos\phi = 0$ ആണ്. സെർക്കീട്ടിൽ കറന്റ് ഒഴുകുന്നുണ്ടെങ്കിലും പവർ വിനിയോഗമുണ്ടാകുന്നില്ല. ഈ കറന്റിനെ ചിലപ്പോൾ വാട്ട്ലസ് കറന്റ് എന്നും പരാമർശിക്കാറുണ്ട്.

സന്ദർഭം (iii) LCR ശ്രേണി സെർക്കീട്ട് : സമവാക്യം (7.38) ശ്രേണി സെർക്കീട്ടിലെ പവർ വിനിയോഗത്തെ കാണിക്കുന്നു. ഇതിൽ $\phi = \tan^{-1}(X_c - X_L)/R$ ആണ്. അതുകൊണ്ട് RL, RC, RCL സെർക്കീട്ടുകളിൽ ϕ പൂജ്യമാകണമെന്നില്ല. എല്ലാ പവർ വിനിയോഗവും നടക്കുന്നത് പ്രതിരോധകത്തിലൂടെ മാത്രമാണ്.

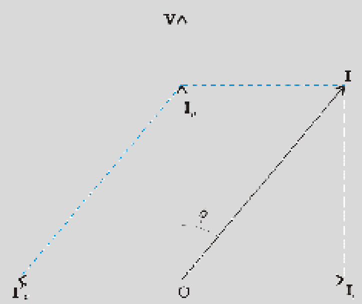
സന്ദർഭം (iv) *LCR സെർക്കീട്ട് അനുനാദത്തിലായിരിക്കുമ്പോഴുള്ള പവർ വിനിയോഗം* : അനുനാദത്തിൽ $X_c - X_L = 0$, $\phi = 0$ എന്നാണ്. അതുകൊണ്ട് $\cos\phi = 1$ ഉം $P = I^2 Z = I^2 R$ ഉമാണ്. അതായത് ഒരു LCR സെർക്കീട്ടിലെ പരമാവധി പവർ വിനിയോഗം നടക്കുന്നത് അനുനാദാവസ്ഥയിലാണ്.

ഉദാഹരണം 7.7

(a) വൈദ്യുത പവർ സംപ്രേഷണത്തിൽ പവർഫാക്ടർ കുറയുമ്പോൾ വിസരണനഷ്ടം വളരെ കൂടുതലാകുന്നത് എന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് വിശദീകരിക്കുക.
(b) ഉചിതമായ കപ്പാസിറ്റൻസുള്ള ഒരു കപ്പാസിറ്റർ സെർക്കീട്ടിൽ ഉപയോഗിച്ചാൽ പവർ ഫാക്ടറിനെ മെച്ചപ്പെടുത്താൻ കഴിയും എന്നത് വിശദീകരിക്കുക.

ഉത്തരം (a) $P = I\,V\cos\phi$ എന്ന് നമുക്കറിയാം. ഇവിടെ $\cos\phi$ എന്നത് പവർ ഫാക്ടറാണ്. നിശ്ചിത വോൾട്ടേജിൽ ഒരു നിശ്ചിത പവർ വിതരണം ചെയ്യാൻ $\cos\phi$ ചെറുതായാൽ കറന്റ് അതിനനുസരിച്ച് കൂട്ടേണ്ടതുണ്ട്. പക്ഷേ ഇത് കൂടുതൽ പവർ (I^2R) നഷ്ടത്തിലേക്കു നയിക്കും.

(b) ഒരു സെർക്കീട്ടിൽ കറന്റ് വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ ϕ കോൺ പിന്നിലാണെന്ന് കരുതുക. അപ്പോൾ പവർ ഫാക്ടർ $\cos\phi = R/Z$.



ചിത്രം 7.17

Z നെ R നോട് അടുപ്പിച്ചാൽ പവർ ഫാക്ടറിനെ മെച്ചപ്പെടുത്താൻ (ഒന്നിനോടടുപ്പിക്കുക) കഴിയും. ഫേസർ ചിത്രം (ചിത്രം 7.17)ന്റെ സഹായത്തോടെ ഇത് എങ്ങനെ കൈവരിക്കുന്നുവെന്ന് നോക്കാം. **I** നെ വോൾട്ടേജിന് സമാന്തരമായി I_p എന്നും വോൾട്ടേജിന് ലംബമായി I_q എന്നുമായി രണ്ട് ഘടകങ്ങളായി വേർതിരിക്കാം. ഭാഗം 7.7 ൽ പഠിച്ച പ്രകാരം I_q എന്ന ഘടകംകൊണ്ട് ഒരു പവർനഷ്ടവും സംഭവിക്കാത്തതുകൊണ്ട് ഇതിനെ വാട്ട്ലസ് കറന്റ് എന്നു പറയുന്നു. I_p എന്ന ഘടകം വോൾട്ടേജിന്റെ അതേ ഫേസിലായതുകൊണ്ട് സെർക്കീട്ടിൽ പവർനഷ്ടം സംഭവിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് ഇതിനെ പവർ ഘടകം എന്നു വിളിക്കുന്നു.

പവർ ഫാക്ടറിനെ മെച്ചപ്പെടുത്താൻ പിന്നിട്ട് നിൽക്കുന്ന വാട്ട്ലസ് കറന്റായ I_q ന് തുല്യമായ മുന്നിൽനിൽക്കുന്ന വാട്ട്ലസ് കറന്റായ I'_q കൊണ്ട് മുഴുവനായും സമതുലിതമാക്കണം.

അനുയോജ്യമായ കപ്പാസിറ്റൻസുള്ള ഒരു കപ്പാസിറ്ററിനെ സമാന്തരമായി ഘടിപ്പിച്ച് ഇത് സാധിക്കാവുന്നതാണ്. അപ്രകാരം I_q ഉം I'_q ഉം പരസ്പരം റദ്ദു ചെയ്തു കഴിയുമ്പോൾ P എന്നത് $I_p\,V$ ആയി മാറും.

ഉദാഹരണം : 7.7

ഉദാഹരണം 7.8

ആവൃത്തി 50 Hz ഉം പീക്ക് മൂല്യം 283 V ഉം ആയ സൈൻ ഫലന രൂപത്തിലുള്ള ഒരു വോൾട്ടേജ് $R = 3\ \Omega$, $L = 25.48$ mH, $C = 796\ \mu F$ ഉള്ള ഒരു ശ്രേണി LCR സെർക്കീട്ടിൽ പ്രയോഗിച്ചിരിക്കുന്നു. (a) സെർക്കീട്ടിന്റെ ഇമ്പിഡൻസ് (b) സ്രോതസ്സിന് കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജും കറന്റും തമ്മിലുള്ള ഫേസ്‌വ്യത്യാസം (c) സെർക്കീട്ടിൽ ചെലവഴിക്കപ്പെടുന്ന പവർ (d) പവർഫാക്ടർ എന്നിവ കണ്ടുപിടിക്കുക.

ഉത്തരം

(a) സെർക്കീട്ടിലെ ഇമ്പിഡൻസ് കാണാൻ ആദ്യം നമുക്ക് X_L ഉം X_C യും കണക്കാക്കാം.

$$X_L = 2\,\pi\nu L$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 25.48 \times 10^{-3}\ \Omega = 8\ \Omega$$

ഉദാഹരണം : 7.8

$$X_C = \frac{1}{2\pi \nu C}$$

$$= \frac{1}{2 \quad 3.14 \quad 50 \quad 796 \quad 10^{-6}} = 4\Omega$$

അതുകൊണ്ട്

$$Z = \sqrt{R^2 \quad (X_L \quad X_C)^2} = \sqrt{3^2 + (8 \quad 4)^2}$$

$$= 5\,\Omega$$

(b) ഫേസ് വ്യത്യാസം, $\phi = \tan^{-1}\frac{X_C - X_L}{R}$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{4 \quad 8}{3}\right) = \quad 53.1^\circ$$

ϕ നെഗറ്റീവ് ആയതിനാൽ, സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റ് സ്രോതസ്സിന് കുറുകെയുള്ള വോൾട്ടേജ് പിന്നിലാണ്.

(c) സെർക്കീട്ടിൽ ചെലവഴിക്കപ്പെട്ട പവർ

$$P = I^2 R$$

$$I = \frac{i_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{283}{5}\right) = 40\text{A}$$ അതുകൊണ്ട്

$$P = (40\text{A})^2 \quad 3\,\Omega = 4800\,\text{W}$$

(d) പവർ ഫാക്ടർ $= \cos\phi = \cos 53.1^\circ = 0.6$

ഉദാഹരണം : 7.8

ഉദാഹരണം 7.9

കഴിഞ്ഞ ഉദാഹരണത്തിലെ സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തി മാറ്റാൻ കഴിയുമെന്നു കരുതുക. (a) അനുനാദം സംഭവിക്കാൻ വേണ്ടി സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തി എത്രയാണ്? (b) അനുനാദത്തിൽ ഇമ്പിഡൻസ്, കറന്റ്, പവർവിനിയോഗം എന്നിവ കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം

(a) അനുനാദം സംഭവിക്കുന്ന ആവൃത്തി

$$\omega_0 \quad \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \frac{1}{\sqrt{25.48 \quad 10^{-3} \quad 796 \times 10^{-6}}}$$

$$222.1\,\text{rad/s}$$

$$\nu_r = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{221.1}{2 \quad 3.14}\text{Hz} = 35.4\text{Hz}$$

(b) അനുനാദത്തിൽ ഇമ്പിഡൻസ് പ്രതിരോധത്തിനു തുല്യമാണ്:

$$Z \quad R \quad 3\,\Omega$$

അനുനാദത്തിൽ rms കറന്റ്

$$= \frac{V}{Z} = \frac{V}{R} = \left(\frac{283}{\sqrt{2}}\right)\frac{1}{3} = 66.7\text{A}$$

അനുനാദത്തിൽ വിനിയോഗിക്കപ്പെട്ട പവർ

$$P \quad I^2 \times R \quad (66.7)^2 \times 3 \quad 13.35\text{ kW}$$

ഉദാഹരണം 7.8 ൽ വിനിയോഗിച്ച പവറിനെക്കാൾ കൂടുതലാണ് അനുനാദത്തിലാണ് വിനിയോഗിച്ചത് എന്നു നമുക്ക് കാണാൻ സാധിക്കും.

ഉദാഹരണം : 7.9

ഉദാഹരണം 7.10

വിമാനത്താവളത്തിൽ സുരക്ഷാകാരണങ്ങളാൽ ഒരാളെ മെറ്റൽ ഡിറ്റക്ടർ വഴിയാണ് പ്രവേശിപ്പിക്കുന്നത്. ലോഹനിർമിതമായ എന്തെങ്കിലും അവർ വഹിക്കുന്നുണ്ടെങ്കിൽ മെറ്റൽ ഡിറ്റക്ടർ ശബ്ദമുണ്ടാക്കുന്നു. ഏതു തത്ത്വത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിലാണ് ഡിറ്റക്ടർ പ്രവർത്തിക്കുന്നത്?

ഉത്തരം

ac സ്രോതസ്സിന്റെ അനുനാദം എന്ന തത്ത്വത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിലാണ് മെറ്റൽ ഡിറ്റക്ടർ പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. നിങ്ങൾ മെറ്റൽ ഡിറ്റക്ടറിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ യഥാർഥത്തിൽ നിരവധി ചുറ്റുകളുള്ള കോയിലിലൂടെയാണ് കടക്കുന്നത്. ഈ കോയിൽ ഒരു അനുനാദത്തിലുള്ള സെർക്കീട്ടിലെ കപ്പാസിറ്ററിനോട് ബന്ധിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. പോക്കറ്റിൽ ലോഹവുമായി ഇതിലൂടെ നടക്കുമ്പോൾ സെർക്കീട്ടിലെ ഇമ്പിഡൻസ് മാറുകയും സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിന് കാര്യമായ മാറ്റം സംഭവിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. കറന്റിന്റെ ഈ വ്യത്യാസം കണ്ടെത്തി ഇലക്ട്രോണിക് സെർക്കീട്ട് അലാറമായി ശബ്ദമുണ്ടാക്കുന്നു.

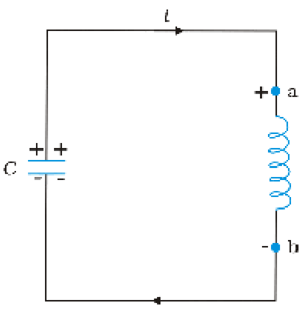
ഉദാഹരണം : 7.10

7.8 LC ദോലനങ്ങൾ (LC Oscillations)

കപ്പാസിറ്ററിൽ വൈദ്യുതോർജവും ഇൻഡക്ടറിൽ കാന്തികോർജവും ശേഖരിക്കാനാകുമെന്ന് നമുക്കറിയാം. ഒരു കപ്പാസിറ്റർ (തുടക്കത്തിൽ ചാർജ് ചെയ്ത) ഒരു ഇൻഡക്ടറുമായി ബന്ധിപ്പിക്കപ്പെടുമ്പോൾ, യാന്ത്രികസംവിധാനങ്ങളിലെ ദോലനങ്ങളെ(അധ്യായം 14 , XI-ാം ക്ലാസ്) പോലെ, കപ്പാസിറ്ററിലെ ചാർജും സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റും വൈദ്യുതദോലനം എന്ന പ്രതിഭാസം കാണിക്കുന്നു.

തുടക്കത്തിൽ q_m (at $t = 0$) ചാർജുചെയ്ത ഒരു കപ്പാസിറ്റർ ഒരു ഇൻഡക്ടറുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ചിത്രമാണ് (ചിത്രം 7.18) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്.

സെർക്കീട്ട് പൂർത്തിയാകുന്ന നിമിഷം, കപ്പാസിറ്ററിൽ നിന്നു ചാർജ് കുറയാൻ തുടങ്ങുന്നു. ഇത് സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിനെ ഉയർത്തുന്നു. t എന്ന സമയത്ത് സെർക്കീട്ടിലെ ചാർജ് q എന്നും കറന്റ് i എന്നുമിരിക്കട്ടെ.



ചിത്രം 7.18 കറന്റ് കൂടുന്ന അവസരത്തിൽ ഇൻഡക്ടറിൽ പ്രേരിതമാകുന്ന emf ന്റെ ധ്രുവത കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

di/dt പോസിറ്റീവ് ആയതിനാൽ L ൽ പ്രേരിതമായ emf ന്റെ ധ്രുവത്വം ചിത്രം (7.18) ൽ കാണിച്ചതു പോലെയായിരിക്കും. അതായത് $v_b < v_a$ കിർച്ചോഫിന്റെ വലയനിയമപ്രകാരം

$$\frac{q}{C} - L\frac{di}{dt} = 0 \qquad (7.39)$$

$i = -(dq/dt)$ ഈ സാഹചര്യത്തിൽ (q കുറയുമ്പോൾ i കൂടുന്നു) അതുകൊണ്ട് സമവാക്യം (7.39) താഴെ പറയുന്ന പ്രകാരമെഴുതാം.

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0 \qquad (7.40)$$

ഈ സമവാക്യം സരള ഹാർമോണികദോലന (simple harmonic oscillator) ത്തിന്റെ സമവാക്യമായ $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$ എന്നതിന് സമാനമാണ്. അതുകൊണ്ട്

ചാർജ് $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ എന്ന സ്വാഭാവിക ആവൃത്തിയിൽ (7.41)

ദോലനം ചെയ്യുകയും സൈൻഫലനരൂപത്തിൽ സമയത്തിനനുസരിച്ച് മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \phi) \qquad (7.42)$$

ഇവിടെ q_m എന്നത് q ന്റെ പരമാവധി മൂല്യമാണ് $t = 0$ ആയാൽ $q = q_m$ എന്നും $\cos\phi = 1$ അഥവാ $\phi = 0$ എന്നുമാണ്. അതുകൊണ്ട് ഈ സാഹചര്യത്തിൽ

$$q = q_m \cos(\omega_0 t) \qquad (7.43)$$

കറന്റ് $i\left(= -\dfrac{dq}{dt}\right)$ നെ

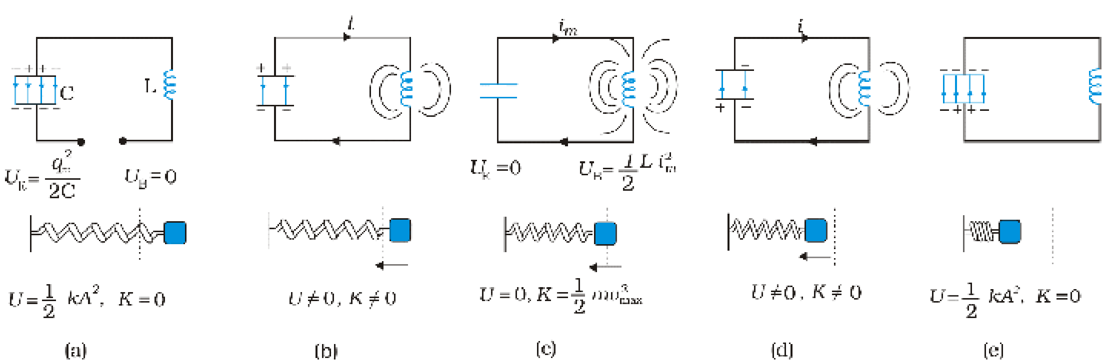
$$i = i_m \sin(\omega_0 t) \text{ എന്നെഴുതാം.} \qquad (7.44)$$

ഇവിടെ $i_m = \omega_0 q_m$

സെർക്കീട്ടിൽ എങ്ങനെയാണ് ദോലനം നടക്കുന്നത് എന്നു നമുക്കു ദൃശ്യവൽക്കരിക്കാൻ ശ്രമിക്കാം.

ചിത്രം 7.19(a) തുടക്കത്തിൽ q_m ചാർജ് ചെയ്ത കപ്പാസിറ്റർ ഒരു മാതൃകാ ഇൻഡക്ടറുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചതാണ് കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. കപ്പാസിറ്റർ ശേഖരിച്ച വൈദ്യുതോർജം $U_E = \dfrac{1}{2}\dfrac{q_m^2}{C}$. സെർക്കീട്ടിൽ കറന്റ് ഇല്ലാത്തതിനാൽ ഇൻഡക്ടറിലെ ഊർജം പൂജ്യമാണ്. ആയതിനാൽ LC സെർക്കീട്ടിലെ ആകെ ഊർജം.

$$U = U_E = \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}$$



ചിത്രം 7.19 ഒരു LC സെർക്കീട്ടിലെ ദോലനം ഒരു സ്പ്രിങ്ങിന്റെ അഗ്രത്തു ബന്ധിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള കട്ടയുടെ ദോലനത്തിനു സമാനമാണ്. ചിത്രത്തിൽ ഒരു സൈക്കിളിന്റെ പകുതി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

$t = 0$ സമയത്ത് സ്വിച്ചിടുമ്പോൾ കപ്പാസിറ്റർ ഡിസ്ചാർജ് ചെയ്യാൻ തുടങ്ങുന്നു (ചിത്രം 7.19(b). കറന്റ് കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ഇൻഡക്ടറിൽ കാന്തികമണ്ഡലമുണ്ടാവുകയും തന്മൂലം കാന്തികോർജമായി കുറച്ച് ഊർജം ഇൻഡക്ടറിൽ ശേഖരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

$U_B = (1/2)\, Li^2$

ചിത്രം 7.19(c) കറന്റ് അതിന്റെ പരമാവധി മൂല്യത്തിൽ (i_m) എത്തുമ്പോൾ ($t = T/4$) ഊർജം മുഴുവനായും കാന്തികമണ്ഡലത്തിൽ ശേഖരിക്കുന്നു.

$U_B = (1/2)\, Li_m^2$

പരമാവധി വൈദ്യുതോർജം പരമാവധി കാന്തികോർജത്തിനോടു സമമാണെന്ന് വളരെ എളുപ്പത്തിൽ മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയും. കപ്പാസിറ്ററിൽ ഇപ്പോൾ ഒരു ചാർജുമില്ല. അതുകൊണ്ട് ഊർജവുമില്ല. ഇനി ചിത്രം 7.19(d) യിൽ കാണിച്ചതു പോലെ കറന്റ് കപ്പാസിറ്ററിനെ ചാർജ് ചെയ്യാൻ തുടങ്ങുന്നു. കപ്പാസിറ്റർ പൂർണ്ണമായും ചാർജ്

ചെയ്യുന്നതു വരെ ($t = T/2$) ഈ പ്രക്രിയ തുടരുന്നു. (7.19(c)). എന്നാൽ 7.19(a) ൽ കാണിച്ചതിന് എതിർധ്രുവത്തിലാണ് ഇപ്പോൾ ചാർജ് ചെയ്യുന്നത്. സിസ്റ്റം അതിന്റെ തുടക്കാവസ്ഥയിലേക്കു തിരികെ വരുന്നതുവരെ, ഇപ്പോൾ വിവരിച്ച മുഴുവൻ പ്രക്രിയകളും ആവർത്തിക്കും. അങ്ങനെ സിസ്റ്റത്തിലെ ഊർജം കപ്പാസിറ്റർ ഇൻഡക്ടർ എന്നിവയ്ക്കിടയിൽ ദോലനം ചെയ്യുന്നു.

ഒരു സ്പ്രിങ്ങിൽ ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ബ്ലോക്കിന്റെ യാന്ത്രിക ദോലനത്തിന് സമാനമാണ് LC ദോലനം. ചിത്രം 7.19 ൽ ഓരോ ചിത്രത്തിന്റെയും താഴത്തെ ഭാഗം അനുയോജ്യമായ യാന്ത്രിക വ്യവസ്ഥ ഘട്ടങ്ങൾ ചിത്രീകരിക്കുന്നു (സ്പ്രിങ്ങിനോട് ബന്ധിക്കപ്പെട്ട ബ്ലോക്ക്) നേരത്തേ സൂചിപ്പിച്ചതു പോലെ m മാസ്സുള്ള ഒരു ബ്ലോക്ക് ω_0 ആവൃത്തിയിൽ ദോലനം ചെയ്യുന്നതിന്റെ സമവാക്യം

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$$ എന്നാണ്.

ഇവിടെ $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ എന്നും k എന്നത് സ്പ്രിങ് സ്ഥിരാങ്കവുമാണ്. അതുകൊണ്ട് x എന്നത് q യോട് തത്തുല്യമായിരിക്കും .

യാന്ത്രിക വ്യവസ്ഥയിൽ $F = ma = m(dv/dt) = m(d^2x/dt^2)$

വൈദ്യുത വ്യവസ്ഥയിൽ $\varepsilon = L(di/dt) = -L(d^2q/dt^2)$

ഈ രണ്ട് സമവാക്യങ്ങളും താരതമ്യം ചെയ്താൽ m ന് സമാനമായി L നെ കാണാൻ കഴിയും. L, കറന്റിന്റെ മാറ്റത്തിനെ സെർക്കീട്ട് എതിർക്കുന്നതിന്റെ ഒരു അളവുകോലാണ്. LC സെർക്കീട്ടിൽ $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ യും സ്പ്രിങ്ങിലെ മാസിന്, $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ മാണ് അതുകൊണ്ട് k യ്ക്ക് സമാനമാണ് $1/C$. k ($=F/x$) എന്ന സ്ഥിരാങ്കം യൂണിറ്റ് സ്ഥാനാന്തരമുണ്ടാക്കാനാവശ്യമായ (ബാഹ്യ) ബലമാണ്. എന്നാൽ $1/C$ ($=V/q$) യൂണിറ്റ് ചാർജിനെ ശേഖരിക്കാൻ ആവശ്യമായ പൊട്ടൻഷ്യൽ വ്യത്യാസമാണ്. പട്ടിക 7.11 യാന്ത്രിക വൈദ്യുത അളവുകൾ തമ്മിലുള്ള സമാനത ഇവിടെ നമുക്ക് കാണാൻ കഴിയും.

പട്ടിക 7.1 : വൈദ്യുത യാന്ത്രിക അളവുകൾ തമ്മിലുള്ള സാദൃശ്യം

യാന്ത്രികവ്യവസ്ഥ	വൈദ്യുതവ്യവസ്ഥ
മാസ് m	ഇൻഡക്ടൻസ് L
ബലസ്ഥിരാങ്കം k	കപ്പാസിറ്റൻസിന്റെ വ്യുൽക്രമം $1/C$
സ്ഥാനാന്തരം x	ചാർജ് q
പ്രവേഗം $v = dx/dt$	കറന്റ് $i = dq/dt$
യാന്ത്രികോർജം	വൈദ്യുതകാന്തികോർജം
$E = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2$	$U = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2$

ഒരേ ഗണിതാവിഷ്കാരത്തിലുള്ള രണ്ടു വ്യത്യസ്ത പ്രതിഭാസങ്ങൾ

പതിനൊന്നാം ക്ലാസിൽ 14.10 ഭാഗത്ത് ചർച്ചചെയ്ത ഒരു പ്രണോദിത അവമന്ദിത ദോലകവുമായി ac വോൾട്ടേജ് പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ട LCR സെർക്കീട്ടിനെ താരതമ്യം ചെയ്യാവുന്നതാണ്. വ്യത്യസ്ത പ്രതീകങ്ങളും പാരാമീറ്ററുകളും ഉപയോഗിക്കുന്നുവെങ്കിലും ഈ അധ്യായത്തിലെ സമവാക്യം (7.28) പതിനൊന്നാം ക്ലാസിലെ സമവാക്യം [14.37 (b)] ക്ക് തികച്ചും സമാനമാണെന്ന് നാം ഇതിനകം വ്യക്തമാക്കിയിട്ടുണ്ട്. ഈ രണ്ടു സാഹചര്യങ്ങളിൽ വ്യത്യസ്ത അളവുകൾ തമ്മിലുള്ള തുല്യതയുടെ ഒരു പട്ടിക തയാറാക്കാം

പ്രണോദിതദോലനങ്ങൾ (forced oscillations)	**പ്രേരിത LCR സെർക്കീട്ട്**
$m\dfrac{d^2x}{dt^2} \quad b\dfrac{dx}{dt} \quad kx = F\cos\omega_d\ t$	$L\dfrac{d^2q}{dt^2} + R\dfrac{dq}{dt} + \dfrac{q}{C} = v_m \sin\omega t$
സ്ഥാനാന്തരം, x	കപ്പാസിറ്ററിലെ ചാർജ്, q
സമയം, t	സമയം, t
മാസ്, m	സെൽഫ് ഇൻഡക്ടൻസ്, L
അവമന്ദനസ്ഥിരാങ്കം, b	പ്രതിരോധം, R
സ്പ്രിങ് സ്ഥിരാങ്കം, k	കപ്പാസിറ്റൻസിന്റെ വ്യുൽക്രമം, $1/C$
പ്രേരക ആവൃത്തി, ω_d	പ്രേരക ആവൃത്തി, ω
ദോലനങ്ങളുടെ സ്വാഭാവികാവൃത്തി, ω	LCR സെർക്കീട്ടിന്റെ സ്വാഭാവികാവൃത്തി, ω_0
പ്രണോദിത ദോലനങ്ങളുടെ ആയതി, A	സംഭരിക്കപ്പെട്ട പരമാവധി ചാർജ് , q_m
പ്രേരകബലത്തിന്റെ ആയതി, F_0	പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ട വോൾട്ടേജിന്റെ ആയതി, v_m

x ന് പകരമായി q ആയതിനാൽ , ആയതി A (പരമാവധി സ്ഥാനാന്തരം) ക്ക് പകരമായി സംഭരിക്കപ്പെട്ട പരമാവധി ചാർജ് (q_m) ആയിരിക്കും .

പതിനൊന്നാം ക്ലാസിലെ സമവാക്യം [14.39 (a)] പ്രകാരം വിവിധ ഭൗതിക അളവുകൾ ഉൾപ്പെട്ട ദോലനങ്ങളുടെ ആയതി മൂകളിലെ സമവാക്യത്തിലെ ഓരോ ഭൗതിക അളവിനും സമാനമായ വൈദ്യുതിയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട അളവ് നൽകി മാറ്റിയെഴുതുമ്പോൾ എന്താണ് സംഭവിക്കുന്നതെന്ന് നോക്കാം.

$$A = \frac{F_0}{\left\{m^2(\omega^2 - \omega_d^2)^2 + \omega_d^2 b^2\right\}^{1/2}}$$

$X_L = \omega L$, $X_C = 1/\omega C$ എന്നിവ ഉപയോഗിച്ച് സമവാക്യത്തിൽ നിന്ന് L, C, ω, ω_0 എന്നിവയെ ഒഴിവാക്കുക. സമവാക്യങ്ങൾ (7.33) ഉം (7.34) ഉം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ ദോലനത്തിന്റെ സമവാക്യവുമായി ഇതിന് നല്ല ചേർച്ചയുണ്ടെന്ന് നമുക്കു കാണാം.

ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ ഇത്തരത്തിൽ വിഭിന്നമായ ഭൗതികപ്രതിഭാസങ്ങളെ ഒരേ ഗണിത സമവാക്യത്തിലൂടെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്ന നിരവധി സാഹചര്യങ്ങളുമുണ്ട്.

അവയിലേതെങ്കിലും ഒന്നിനെ പറ്റി നമുക്ക് അറിയാമെങ്കിൽ, മറ്റൊരു സാഹചര്യത്തിൽ, യോജിച്ച അളവുകൾ പകരം വച്ചുകൊണ്ട് പുതിയ സാഹചര്യത്തെ വിശദീകരിക്കാം.

ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലെ വിവിധ മേഖലകളിൽനിന്ന് കൂടുതൽ സമാന സാഹചര്യങ്ങൾ കണ്ടെത്താൻ ശ്രമിക്കുക. തീർച്ചയായും, ഇവ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസങ്ങളെക്കുറിച്ചും ബോധവാൻ/ബോധവതിയായിരിക്കണം.

LC ദോലനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട മേൽപ്പറഞ്ഞ ചർച്ചകളിൽ രണ്ടു യഥാർഥ്യങ്ങൾ കണക്കിലെടുത്തിട്ടില്ല:

(i) എല്ലാ ഇൻഡക്ടറിനും പ്രതിരോധമുണ്ട്. പ്രതിരോധത്തിന്റെ സ്വാധീനം കാരണം ചാർജിനും സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിനും അവമന്ദനം (damping) സംഭവിക്കുകയും ഒടുവിൽ ദോലനം അവസാനിക്കുകയും ചെയ്യും.

(ii) പ്രതിരോധം പൂജ്യമായാൽ പോലും സിസ്റ്റത്തിന്റെ ആകെ ഊർജം സ്ഥിരമാകുന്നില്ല. ഊർജം വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗ രൂപത്തിൽ സിസ്റ്റത്തിൽനിന്ന് വികിരണം ചെയ്യപ്പെടും. (അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ ഇത് ചർച്ചചെയ്യുന്നുണ്ട്). റേഡിയോ, ടി.വി. പ്രസരണികൾ ഈ വികിരണത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 7.11

ഒരു സെർക്കീട്ടിന്റെ സ്വതന്ത്രദോലനത്തിൽ കപ്പാസിറ്ററിലും ഇൻഡക്ടറിലും സംഭരിച്ച ഊർജങ്ങളുടെ തുക സ്ഥിരമാണെന്നു കാണിക്കുക.

ഉത്തരം

q_0 എന്നത് കപ്പാസിറ്ററിൽ തുടക്കത്തിലുള്ള ചാർജാണ്. ചാർജ് ചെയ്ത കപ്പാസിറ്റർ L ഇൻഡക്ടൻസുള്ള ഒരു ഇൻഡക്ടറുമായി ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കട്ടെ. ഭാഗം 7.8 ൽ നിങ്ങൾ പഠിച്ചതനുസരിച്ച് LC സെർക്കീട്ട് താഴെ കൊടുത്ത ആവൃത്തിയിൽ ഒരു ദോലനമുണ്ടാക്കുന്നു.

$$\omega\left(\quad 2\pi\nu \quad \frac{1}{\sqrt{LC}}\right)$$

t സമയത്ത്, കപ്പാസിറ്ററിലെ ചാർജും കറന്റും ഇപ്രകാരമാണ്.

$q(t) = q_0 \cos \omega t$

$i(t) = -q_0 \omega \sin \omega t$

t സമയത്ത്, കപ്പാസിറ്ററിൽ സംഭരിച്ച ഊർജം

$$U_E \quad \frac{1}{2} C V^3 \quad \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} \quad \frac{q_0^2}{2C} \cos^3(\omega t)$$

t സമയത്ത്, ഇൻഡക്ടറിൽ സംഭരിച്ച ഊർജം

$$U_M \quad \frac{1}{2} L i^2$$

$$= \frac{1}{2} L q_0^2 \omega^2 \sin^2(\omega t)$$

$$\frac{q_0^2}{2C} \sin^2(\omega t) \quad \left(\because \omega \quad 1/\sqrt{LC}\right)$$

ഊർജങ്ങളുടെ തുക

$$U_E \quad U_M = \frac{q_0^2}{2C}\left[\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t\right]$$

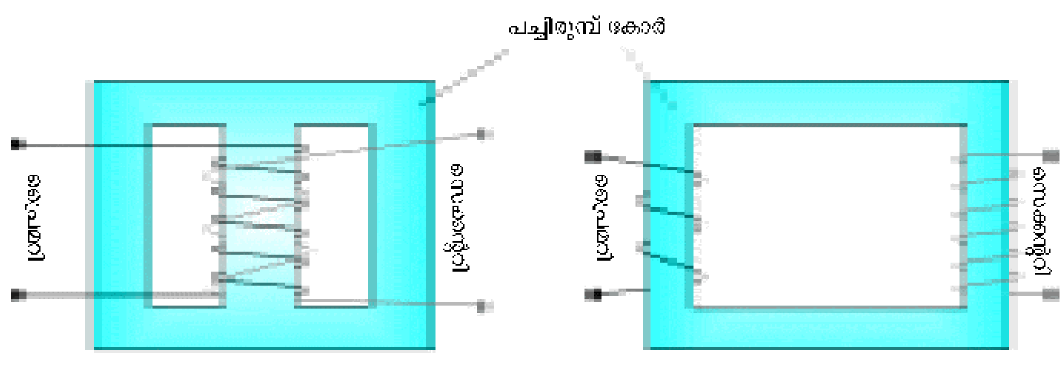
$$= \frac{q_0^2}{2C}$$

q_0 യും C യും സമയത്തെ ആശ്രയിക്കാത്തതു കൊണ്ട് ഈ തുക സ്ഥിരമാണ്. ഇത് കപ്പാസിറ്ററിൽ തുടക്കത്തിലുണ്ടായിരുന്ന ഊർജത്തിനു സമമാണ്. എന്തു കൊണ്ടാണ് ഇപ്രകാരം സംഭവിക്കുന്നതെന്ന് ചിന്തിക്കുക.

ഉദാഹരണം : 7.11

7.9 ട്രാൻസ്ഫോമറുകൾ (Transformers)

പല ആവശ്യങ്ങൾക്കായി വലിയ *ac* വോൾട്ടേജിനെ ചെറുതാക്കുകയോ ചെറിയ *ac* വോൾട്ടേജിനെ വലുതാക്കുകയോ ചെയ്യേണ്ടത് അത്യാവശ്യമായി വരും. ഇത് മ്യൂചൽ ഇൻഡക്ഷൻ എന്ന തത്ത്വം അനുസരിച്ചു പ്രവർത്തിക്കുന്ന ട്രാൻസ്ഫോർമർ എന്ന ഉപകരണം ഉപയോഗിച്ചാണ് ചെയ്യുന്നത്. ഒരു ട്രാൻസ്ഫോമറിൽ പരസ്പരം സ്പർശിക്കാത്ത രണ്ടു കോയിലുകളാണുള്ളത്. അവ ഒരു പച്ചിരുമ്പുകോറിൽ 7.20(a) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ ഒന്നിന് മുകളിൽ മറ്റൊന്നായോ 7.20(b) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ കോറിന്റെ വെവ്വേറെ അഗ്രങ്ങളിലോ ചുറ്റിയിരിക്കുന്നു. കോയിലുകളിലൊന്നിന് പ്രൈമറി കോയിൽ എന്നും രണ്ടാമത്തെ കോയിലിനെ സെക്കന്ററി കോയിൽ എന്നും പറയുന്നു. പ്രൈമറി ചുറ്റുകളുടെ എണ്ണത്തെ N_p എന്നും സെക്കന്ററി ചുറ്റുകളുടെ എണ്ണത്തെ N_s എന്നും വിളിക്കുന്നു. മിക്കവാറും ട്രാൻസ്ഫോമറിന്റെ പ്രൈമറി കോയിൽ ഇൻപുട്ട് കോയിലും സെക്കന്ററി കോയിൽ ഔട്ട്പുട്ട് കോയിലുമായാണ് ഉപയോഗിക്കുക.



ചിത്രം 7.20

ഒരു ട്രാൻസ്ഫോമറിൽ പ്രൈമറി കോയിലും, സെക്കന്ററി കോയിലും ചുറ്റിയിരിക്കുന്ന രണ്ടുതരം രീതികൾ a) ഒന്നിന് മുകളിൽ മറ്റൊന്നായി b) രണ്ടു കോയിലുകൾ കോറിന്റെ രണ്ട് അഗ്രങ്ങളിലായി.

പ്രത്യാവർത്തിത വോൾട്ടേജ് പ്രൈമറി കോയിലിൽ നൽകുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന കറന്റ് സെക്കന്ററി കോയിലിൽ ഒരു പ്രത്യാവർത്തിത കാന്തിക ഫ്ളക്സ് ഉണ്ടാക്കുകയും അത് സെക്കന്ററി കോയിലിൽ ഒരു emf പ്രേരിതമാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ emf ന്റെ മൂല്യം സെക്കന്ററി കോയിലിന്റെ ചുറ്റുകളുടെ എണ്ണത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രൈമറിയിലെ പ്രതിരോധം നിസ്സാരമായതും കോറിലെ എല്ലാ ഫ്ളക്സും പ്രൈമറി, സെക്കന്ററി ചുറ്റുകളുമായി സമ്പർക്കത്തിലിരിക്കുന്നതുമായ ഒരു മാതൃകാ ട്രാൻസ്ഫോമറിനെ പരിഗണിക്കാം. v_p എന്ന വോൾട്ടേജ് പ്രൈമറിയിൽ പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന കറന്റ് മൂലം കോറിലെ ഓരോ ചുറ്റിലും t സമയത്തുണ്ടാകുന്ന ഫ്ളക്സ് ϕ എന്നിരിക്കട്ടെ. N_s ചുറ്റുകളുള്ള സെക്കന്ററിയിൽ പ്രേരിതമാകുന്ന emf അല്ലെങ്കിൽ വോൾട്ടേജ് ε_s

$$\varepsilon_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \tag{7.45}$$

പ്രത്യാവർത്തിത ഫ്ളക്സ് പ്രൈമറിയിൽ തന്നെ പ്രേരിതമാക്കുന്ന emf നെ ബാക്ക് emf (back emf) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതിനെ

$$\varepsilon_p = -N_{sp} \frac{d\phi}{dt} \tag{7.46}$$

ഇവിടെ $\varepsilon_p = v_p$ യാണ്. ഇത് ഇങ്ങനെയായിരുന്നില്ലെങ്കിൽ പ്രൈമറിക്ക് പൂജ്യം പ്രതിരോധമായതിനാൽ (നാം കരുതിയതു പോലെ) പ്രൈമറി കറന്റ് അനന്തമായിരിക്കും.

സെക്കന്ററി ഓപ്പൺ സെർക്കീട്ട് ആയാലോ സെക്കന്ററിയിൽ നിന്നു എടുക്കുന്ന കറന്റ് തീരെ കുറവായിരുന്നാലോ $\varepsilon_s = v_s$ എന്ന് അനുമാനിക്കാം.

ഇവിടെ v_s എന്നത് സെക്കന്ററിയിലെ വോൾട്ടേജാണ്. അതുകൊണ്ട് സമവാക്യം 7.45 ഉം 7.46 ഉം ഇങ്ങനെ എഴുതാം.

$$v_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \qquad [7.45(a)]$$

$$v_p = -N_p \frac{d\phi}{dt} \qquad [7.46(a)]$$

സമവാക്യം 7.45 (a), 7.46 (a) എന്നിവയിൽ നിന്ന്

$$\frac{v_s}{v_p} = \frac{N_s}{N_p} \qquad (7.47)$$

മുകളിൽ പറഞ്ഞിരിക്കുന്ന ബന്ധം മൂന്നു സങ്കൽപ്പങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചാണ് ലഭിച്ചിട്ടുള്ളത്.

(i) പ്രൈമറി പ്രതിരോധവും കറന്റും ചെറുതാണ്. (ii) പ്രൈമറി കോയിലിലും സെക്കന്ററി കോയിലിലും ഒരേ ഫ്ളക്സാണ് അഥവാ നിസ്സാരമായ ഫ്ളക്സ് മാത്രമേ കോറിൽ നിന്ന് നഷ്ടപ്പെടുന്നുള്ളൂ. (iii) സെക്കന്ററി കറന്റ് ചെറുതാണ്.

ട്രാൻസ്ഫോമർ 100% കാര്യക്ഷമമാണെന്നു കരുതിയാൽ (ഊർജനഷ്ടമില്ലാത്തത്) ഇൻപുട്ട് പവറും ഔട്ട്പുട്ട് പവറും സമമായിരിക്കും. $p = i\,v$ ആയതുകൊണ്ട്

$$i_p v_p = i_s v_s \qquad (7.48)$$

ഊർജനഷ്ടം തീർത്തും ഒഴിവാക്കാൻ ആകാത്തതാണെങ്കിലും, ഇതൊരു നല്ല അനുമാനമാണ്. നന്നായി രൂപകല്പന ചെയ്ത ട്രാൻസ്ഫോമറിന് 95% ത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ കാര്യക്ഷമതയുണ്ടാകും. സമവാക്യങ്ങൾ 7.47 ൽ 7.48 ഉം കൂട്ടിച്ചേർത്താൽ

$$\frac{i_p}{i_s} = \frac{v_s}{v_p} = \frac{N_s}{N_p} \qquad (7.49)$$

ac സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തിയിൽ i ഉം V ഉം ദോലനം ചെയ്യുന്നതു കൊണ്ട്, സമവാക്യം (7.49) ബന്ധപ്പെട്ട അളവുകളുടെ ആയതികളുടെയോ അല്ലെങ്കിൽ rms മൂല്യങ്ങളുടേയോ അംശബന്ധത്തെ തരുന്നു. ഇനി ഒരു ട്രാൻസ്ഫോമർ എങ്ങനെയാണ് വോൾട്ടേജിനെയും കറന്റിനെയും സ്വാധീനിക്കുന്നതെന്നു നോക്കാം.

$$V_s = \left(\frac{N_s}{N_p}\right) V_p \quad \text{എന്നും} \quad I_s = \left(\frac{N_p}{N_s}\right) I_p \quad \text{എന്നുമാണ്.} \qquad (7.50)$$

അതായത്, പ്രൈമറിയേക്കാൾ സെക്കന്ററിക്കാണ് ചുറ്റുകളുടെ എണ്ണം കൂടുതലുള്ളതെങ്കിൽ ($N_s > N_p$) വോൾട്ടേജ് കൂടുന്നു ($V_s > V_p$). ഇത്തരത്തിലുള്ള ക്രമീകരണത്തെ സ്റ്റെപ്പ് അപ്പ് ട്രാൻസ്ഫോമർ എന്നു വിളിക്കുന്നു. എന്നിരുന്നാലും ഈ ക്രമീകരണത്തിൽ പ്രൈമറിയേക്കാൾ സെക്കന്ററിയിൽ കറന്റ് കുറവാണ് ($N_p/N_s < 1$ and $I_s < I_p$). ഉദാഹരണത്തിന് ഒരു ട്രാൻസ്ഫോമറിൽ പ്രൈമറിയിൽ 100 ചുറ്റുകളും സെക്കന്ററിയിൽ 200 ചുറ്റുകളുമാണ് ഉള്ളതെങ്കിൽ $N_s/N_p = 2$ എന്നും $N_p/N_s = 1/2$ എന്നുമാണ്. അതായത് 220V, 10A ഇൻപുട്ടിന് 440 V, 5.0 A ഔട്ട്പുട്ട് ലഭിക്കുന്നു.

പ്രൈമറിയേക്കാൾ സെക്കന്ററിയുടെ ചുറ്റുകളുടെ എണ്ണം കുറവായാൽ ($N_s < N_p$) അത് സ്റ്റെപ്പ് ഡൗൺ ട്രാൻസ്ഫോമറാകും. ഇവിടെ $V_s < V_p$ എന്നും $I_s > I_p$ എന്നുമാണ്.

അതായത് വോൾട്ടേജ് കുറയുകയും കറന്റ് കൂടുകയും ചെയ്യുന്നു.

മുകളിൽ കൊടുത്ത സമവാക്യങ്ങളെല്ലാം തന്നെ ഒരു മാതൃകാ ട്രാൻസ്ഫോർമറിൽ (ഒരു ഊർജവും നഷ്ടപ്പെടാത്ത) ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ കിട്ടിയതാണ്. എന്നാൽ യഥാർഥ ട്രാൻസ്ഫോമറിൽ താഴെ പറയുന്ന കാര്യങ്ങൾ കൊണ്ട് ചെറിയ ഊർജനഷ്ടം സംഭവിക്കുന്നുണ്ട്:

(i) *ഫ്ളക്സ് ചോർച്ച* : ചില ഫ്ളക്സ് ചോർച്ചകൾ എപ്പോഴുമുണ്ടാകാറുണ്ട്. അതായത് കോറിന്റെ മോശം രൂപകല്പനകൊണ്ടോ കോറിനിടയ്ക്കുള്ള വായുവിടവു കൊണ്ടോ പ്രൈമറിയിലുണ്ടാകുന്ന ഫ്ളക്സ് മുഴുവനായും സെക്കന്ററിയിൽ എത്തുന്നില്ല. പ്രൈമറി, സെക്കന്ററി കോയിലുകൾ ഒന്നിനു മുകളിൽ ഒന്നായി ചുറ്റിക്കൊണ്ട് ഈ നഷ്ടം കുറയ്ക്കാം.

(ii) *ചുറ്റുകളുടെ പ്രതിരോധം* : ചുറ്റാനുപയോഗിക്കുന്ന വയറുകൾക്കു കുറച്ച് പ്രതിരോധമുണ്ടാകും. അതുകൊണ്ട് വയറിൽ ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കുന്ന താപം (I^2R) കാരണം ഊർജം നഷ്ടമാകുന്നു. ഉയർന്ന കറന്റും താഴ്ന്ന വോൾട്ടേജുമുള്ള ചുറ്റുകളിൽ കട്ടിയുള്ള വയർ ഉപയോഗിച്ച് ഇതു കുറയ്ക്കാൻ കഴിയും.

(iii) *എഡ്ഡി കറന്റ്:* പ്രത്യാവർത്തിത കാന്തിക ഫ്ളക്സ് ഇരുമ്പുകോറിൽ എഡ്ഡി കറന്റ് പ്രേരിതമാക്കുകയും താപമുണ്ടാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു ലാമിനേറ്റഡ് കോർ ഉപയോഗിച്ചാൽ ഇത് കുറയ്ക്കാം.

(iv) *ഹിസ്റ്ററിസിസ്:* പ്രത്യാവർത്തിത കാന്തികമണ്ഡലം കാരണം കോറിന്റെ കാന്തവൽക്കരണം (magnetisation) തുടർച്ചയായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഇതിന് ചെലവാക്കപ്പെടുന്ന ഊർജം കോറിൽ താപമായി രൂപപ്പെടുന്നു. കുറഞ്ഞ ഹിസ്റ്ററിസിസ് നഷ്ടം കാണിക്കുന്ന പദാർഥങ്ങൾ കോറായി ഉപയോഗിച്ച് ഇത്തരം നഷ്ടം കുറയ്ക്കാം.

ട്രാൻസ്ഫോമറുകൾ ഉപയോഗിച്ചാണ് ദൂരസ്ഥലങ്ങളിലേക്ക് ഉയർന്ന തോതിലുള്ള വൈദ്യുതോർജത്തിന്റെ പ്രസരണവും വിതരണവും നടത്തുന്നത്. ജനറേറ്ററിന്റെ ഔട്ട്പുട്ട് വോൾട്ടേജ് ഉയർത്തി (അതുകൊണ്ട് കറന്റ് കുറയ്ക്കുകയും I^2R നഷ്ടം കുറയ്ക്കുകയും ചെയ്യാം) ഇതിനെ ദീർഘദൂരത്തുള്ള ഉപഭോക്താക്കളുടെ അടുത്തുള്ള സബ്സ്റ്റേഷനിലേക്കയക്കുന്നു. അവിടെനിന്ന് വോൾട്ടേജിനെ കുറയ്ക്കുന്നു. വീണ്ടും വിതരണ സബ്സ്റ്റേഷനുകളിൽ നിന്നോ ഉപഭോക്താവിന്റെ അടുത്തുള്ള ട്രാൻസ്ഫോമറുകളിൽ നിന്നോ വോൾട്ടേജ് 240 V ആയി കുറച്ച് വീടുകളിലേക്ക് എത്തിക്കുന്നു.

സംഗ്രഹം

1. ഒരു ac വോൾട്ടേജ് $v = v_m \sin \omega t$. പ്രതിരോധകം R ൽ കൊടുക്കുമ്പോൾ $i = i_m \sin\omega t$ എന്ന കറന്റ് പ്രതിരോധകത്തിലൂടെ ഒഴുകും, $i_m \quad \frac{v_m}{R}$. കറന്റും കൊടുത്ത വോൾട്ടേജും ഒരേ ഫേസിലാണ്.
2. ഒരു ac കറന്റ് $i = i_m \sin\omega t$, പ്രതിരോധകം R ലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ ജൂൾതാപനംകൊണ്ടുള്ള ശരാശരി പവർനഷ്ടം P (ഒരു സെർക്കീട്ടിലെ ശരാശരി) $(1/2)i_m^2R$ എന്നാണ്. ac പവറിന്റെ $(P = I^2R)$ അതേ രൂപത്തിൽ ഇതിനെ അവതരിപ്പിക്കാൻ കറന്റിന്റെ ഒരു പ്രത്യേക മൂല്യത്തെ ഉപയോഗിക്കും. ഇതിനെ സഫല കറന്റ് (rms കറന്റ്) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇതിനെ I എന്നാണ് സൂചിപ്പിക്കുക.

   $$I \quad \frac{i_m}{\sqrt{2}} \quad 0.707\, i_m$$

   അതുപ്രകാരം rms വോൾട്ടേജിനെ നിർവചിക്കുന്നത്

   $$V \quad \frac{v_m}{\sqrt{2}} \quad 0.707\, v_m$$

   നമുക്ക് പവറിനെ $P = IV = I^2R$ എന്നും എഴുതാം.
3. ഒരു ac വോൾട്ടേജ് $v = v_m \sin \omega t$ ഒരു ശുദ്ധ ഇൻഡക്ടറിൽ കൊടുത്താൽ $i = i_m \sin(\omega t - \pi/2)$ എന്ന കറന്റ് ഇൻഡക്ടറിൽ കൂടി ഒഴുകും. ഇവിടെ $i_m = v_m/X_L$ എന്നാണ് $X_L = \omega L$ നെ ഇൻഡക്ടീവ് റിയാക്ടൻസ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇൻഡക്ടറിലെ കറന്റിന്റെ ഫേസ് വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ $\pi/2$ പിറകിലാണ്. ഒരു മുഴുവൻ സൈക്കിളിൽ ഇൻഡക്ടറിലേക്കു നൽകുന്ന ശരാശരി പവർ പൂജ്യമാണ്.
4. ഒരു ac വോൾട്ടേജ് $v = v_m \sin\omega t$ കപ്പാസിറ്ററിനു കൊടുത്താൽ $i = i_m \sin(\omega t + \pi/2)$ എന്ന കറന്റ് കപ്പാസിറ്ററിൽ ഉണ്ടാക്കും.

   ഇവിടെ $i_m = \frac{v_m}{X_C}$, $X_C = \frac{1}{\omega C}$

   X_Cയെ കപ്പാസിറ്റീവ് റിയാക്ടൻസ് എന്നു പറയുന്നു. കപ്പാസിറ്ററിലൂടെയുള്ള കറന്റിന്റെ ഫേസ്, വോൾട്ടേജിനേക്കാൾ $\pi/2$ മുന്നിലാണ്. ഇൻഡക്ടറിലേതു പോലെത്തന്നെ ഒരു മുഴുവൻ സൈക്കിളിൽ കപ്പാസിറ്ററിലേക്കു നൽകുന്ന ശരാശരി പവർ പൂജ്യമാണ്.
5. ഒരു ശ്രേണി LCR സെർക്കീട്ട് $v = v_m \sin\omega t$ വോൾട്ടേജിൽ പ്രവർത്തിക്കുമ്പോൾ $i = i_m \sin(\omega t + \phi)$ എന്ന കറന്റ് ലഭിക്കുന്നു. ഇതിൽ

   $$i_m \quad \frac{v_m}{\sqrt{R^2 - (X_C - X_L)^2}}$$

   $$\phi \quad \tan^{-1} \frac{X_C \quad X_L}{R}$$ എന്നാണ്.

   $$Z = \sqrt{R^2 + (X_C \quad X_L)^2}$$

   Z എന്നതിനെ സെർക്കീട്ടിന്റെ ഇമ്പിഡൻസ് എന്നു വിളിക്കുന്നു.
   ഒരു മുഴുവൻ സൈക്കിളിൽ ശരാശരി പവർനഷ്ടം $P = V I \cos\phi$ ആണ്. $\cos\phi$ എന്ന പദത്തെ പവർ ഫാക്ടർ എന്നു പറയുന്നു.

6. ഒരു ശുദ്ധ ഇൻഡക്ടീവ് അല്ലെങ്കിൽ കപ്പാസ്റ്റീവ് സെർക്യൂട്ടിൽ $\cos\phi = 0$ ആയിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് സെർക്കീട്ടിൽ കറന്റ് ഉണ്ടെങ്കിലും പവർനഷ്ടം പൂജ്യമായിരിക്കും. ഇത്തരം സന്ദർഭങ്ങളിൽ കറന്റിനെ വാട്ട്ലസ് കറന്റ് എന്നു പറയുന്നു.
7. ഒരു ac സെർക്കീട്ടിൽ വോൾട്ടേജും കറന്റും തമ്മിലുള്ള ഫേസ്ബന്ധം സൗക ര്യപ്രദമായി കാണിക്കാൻ വോൾട്ടേജിനെയും കറന്റിനേയും കറങ്ങുന്ന സദി ശങ്ങളായി പരിഗണിക്കാം. ഇതിനെ ഫേസർ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു ഫേസർ എന്നാൽ ഒറിജിനെ ആസ്പദമാക്കി നിശ്ചിത കോണീയ ആവൃത്തിയിൽ കറങ്ങുന്ന സദിശമാണ്. ഒരു ഫേസറിന്റെ പരിമാണം ഫേസറായി പരിഗണി ക്കുന്ന അളവിന്റെ (കറന്റ് - അല്ലെങ്കിൽ വോൾട്ടേജ്) ആയതി അല്ലെങ്കിൽ പീക്ക് മൂല്യമായിരിക്കും.
ഒരു ac സെർക്കീട്ടിന്റെ വിശകലനം ഒരു ഫേസർ ഡയഗ്രം ഉപയോഗിച്ച് നിർവഹിക്കാനാകും.
8. ശ്രേണി LCR സെർക്യൂട്ടിന്റെ ഒരു സവിശേഷതയാണ് അനുനാദം എന്ന പ്രതിഭാസം. ഒരു നിശ്ചിത ആവൃത്തിയിൽ സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിന്റെ ആയതി പരമാവധിയാകും. ഈ $\omega_0 \quad \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ആവൃത്തിയെ അനുനാദ ആവൃത്തി എന്നു പറയുന്നു.

ക്വാളിറ്റി ഫാക്ടർ Q വിനെ നിർവചിക്കുന്നത് $Q \quad \frac{\omega_0 L}{R} \quad \frac{1}{\omega_0 CR}$ എന്നാണ്.

അനുനാദത്തിന്റെ കൂർമത (sharpness) യുടെ സൂചകമാണ് Q. ഇതിന്റെ ഉയർന്ന മൂല്യം കറന്റിന്റെ ഏറ്റവും കൂർമതയുള്ള പീക്കിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.
9. ഒരു ഇൻഡക്ടർ, ചാർജ് ചെയ്ത കപ്പാസിറ്റർ എന്നിവയുള്ളതും സ്രോതസ്സും പ്രതിരോധകവും ഇല്ലാത്തതുമായ ഒരു സെർക്കീട്ട് ഒരു സ്വതന്ത്ര ദോലനം കാണിക്കുന്നു. കപ്പാസിറ്ററിലുള്ള q എന്ന ചാർജ് സരള ഹാർമണിക ചലനത്തിന്റെ (simple harmonic motion) സമവാക്യം

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q \quad 0$$ അനുസരിക്കുന്നു.

സ്വതന്ത്രദോലനത്തിന്റെ ആവൃത്തി $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ എന്നാണ്. സിസ്റ്റത്തിന്റെ ഊർജം കപ്പാസിറ്ററിനും ഇൻഡക്ടറിനുമിടയിലായി ദോലനം ചെയ്യുന്നു. എന്നിരുന്നാലും മൊത്തം ഊർജം എപ്പോഴും സ്ഥിരമായിരിക്കും.
10. ഒരു ട്രാൻസ്ഫോമറിന്റെ ഇരുമ്പുകോറിൽ N_p ചുറ്റുകളുള്ള പ്രൈമറി കോയിലും N_s ചുറ്റുകളുള്ള സെക്കന്ററി കോയിലുകളുമാണുള്ളത്. പ്രൈമറി കോയിൽ ഒരു ac സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചാൽ പ്രൈമറിയിലെയും സെക്കന്ററിയിലെയും വോൾട്ടേജുകളെ

$$V_s = \left(\frac{N_s}{N_p}\right) V_p$$ എന്നും

കറന്റിനെ $I_s = \left(\frac{N_p}{N_s}\right) I_p$ എന്നും ബന്ധപ്പെടുത്താം.

സെക്കന്ററി കോയിലിലെ ചുറ്റുകൾ പ്രൈമറിയേക്കാൾ കൂടുതലാണെങ്കിൽ വോൾട്ടേജ് കൂടും ($V_s > V_p$). ഇത്തരത്തിലുള്ള ക്രമീകരണത്തെ സ്റ്റെപ് അപ് ട്രാൻഫോമർ എന്നു വിളിക്കുന്നു. സെക്കന്ററി കോയിലിലെ ചുറ്റുകൾ പ്രൈമറി യേക്കാൾ കുറവാണ് സ്റ്റെപ് - ഡൗൺ ട്രാൻസ്ഫോർമറിൽ.

ഭൗതിക അളവ്	പ്രതീകം	ഡൈമൻഷൻ	യൂണിറ്റ്	കുറിപ്പ്
rms വോൾട്ടേജ്	V	$[M L^2 T^{-3} A^{-1}]$	V	$V = \frac{v_m}{\sqrt{2}}$, v_m എന്നത് വോൾട്ടേജിന്റെ ആയതിയാണ്.
rms കറന്റ്	I	[A]	A	$I = \frac{i_m}{\sqrt{2}}$, i_m എന്നത് കറന്റിന്റെ ആയതിയാണ്.
റിയാക്ടൻസ്:				
ഇൻഡക്ടീവ്	X_L	$[M L^2 T^{-3} A^{-2}]$	Ω	$X_L = \omega L$
കപ്പാസിറ്റീവ്	X_C	$[M L^2 T^{-3} A^{-2}]$	Ω	$X_C = 1/\omega C$
ഇമ്പിഡൻസ്	Z	$[M L^2 T^{-3} A^{-2}]$	Ω	സെർക്യൂട്ടിലുള്ള ഘടകങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.
അനുനാദ ആവൃത്തി	ω_r അല്ലെങ്കിൽ ω_0	$[T^{-1}]$	Hz	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ഒരു ശ്രേണി LCR, സെർക്യൂട്ടിൽ
ക്വാളിറ്റി ഫാക്ടർ	Q	ഡൈമൻഷനില്ല		$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R}$ ഒരു ശ്രേണി CR സെർക്യൂട്ടിൽ
പവർ ഫാക്ടർ		ഡൈമൻഷനില്ല		$= \cos\phi$, ϕ എന്നത് സെർക്യൂട്ടിൽ പ്രയോഗിച്ച വോൾട്ടേജും കറന്റും തമ്മിലുള്ള ഫേസ് വ്യത്യാസമാണ്

വിചിന്തനവിഷയങ്ങൾ

1. വോൾട്ടേജിനോ കറന്റിനോ ഒരു വില നൽകുമ്പോൾ സാധാരണ rms വിലയാണ് കൊടുക്കാറുള്ളത്. നിങ്ങളുടെ മുറിയിലെ വൈദ്യുത സെർക്കീട്ട് ടെർമിനലുകൾക്കിടയിലുള്ള വോൾട്ടേജ് സാധാരണയായി 240 V ആണ്. ഇത് വോൾട്ടേജിന്റെ rms വിലയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഈ വോൾട്ടേജിന്റെ ആയതി

   $v_m = \sqrt{2}V = \sqrt{2}(240) = 340\ V$ ആണ്.

2. ഒരു ac സെർക്കീട്ടിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒരു ഘടകത്തിന്റെ പവർ റേറ്റിങ് അതിന്റെ ശരാശരി പവർ റേറ്റിങിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

3. ഒരു സെർക്കീട്ടിൽ വിനിയോഗിക്കുന്ന പവർ ഒരിക്കലും നെഗറ്റീവ് ആകുകയില്ല.

4. ac കറന്റും dc കറന്റും അളക്കുന്നത് ആമ്പിയറിലാണ്. പക്ഷേ, ac യിൽ എങ്ങനെയാണ് ആമ്പിയറിനെ നിർവചിക്കുക. dc ആമ്പിയർ ലഭിച്ചതു പോലെ രണ്ടു സമാന്തര വയറുകളിലൂടെ ac കറന്റ് കടന്നുപോകുമ്പോൾ അവ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണബലത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഇതു ലഭിക്കില്ല. സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തി അനുസരിച്ച് dc കറന്റിന്റെ ദിശ മാറുകയും ആകർഷണ

ബലത്തിന്റെ ശരാശരിമൂല്യം പൂജ്യമാവുകയും ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ട് ദിശയെ സ്വാധീനിക്കാത്ത ചില സവിശേഷതകൾ കൊണ്ടുവേണം ac ആമ്പിയറിനെ നിർവചിക്കാൻ. ജൂൾ താപനം ഇപ്രകാരമുള്ള ഒരു സവിശേഷതയാണ്. ഒരേ സാഹചര്യത്തിൽ ഒരു ആമ്പിയർ dc കറന്റ് ഉണ്ടാക്കുന്ന അതേ ശരാശരി താപീകരണമുണ്ടാക്കുന്ന ac കറന്റിനെയാണ് *rms* കറന്റ് എന്നു പറയുന്നത്.

5. ഒരു ac സെർക്കീട്ടിൽ വ്യത്യസ്ത ഘടകങ്ങൾക്കിടയ്ക്കുള്ള വോൾട്ടേജുകൾ കൂട്ടുമ്പോൾ അവ തമ്മിലുള്ള ഫേസുകൾ പരിഗണിക്കേണ്ടതുണ്ട്. ഉദാഹരണത്തിന് ഒരു *RC* സെർക്കീട്ടിൽ V_R, V_C എന്നിവ യഥാക്രമം പ്രതിരോധത്തിന്റെയും കപ്പാസിറ്ററിന്റെയും അഗ്രങ്ങൾക്കിടയ്ക്കുള്ള വോൾട്ടേജുകളാണെങ്കിൽ *RC* യ്ക്ക് ഇടയ്ക്കുള്ള മൊത്തം വോൾട്ടേജ് $V_{RC}\quad\sqrt{V_R^2+V_C^2}$ എന്നാണ്.

   V_R+V_C എന്നല്ല. എന്തുകൊണ്ടെന്നാൽ, V_C യും V_R ഉം തമ്മിൽ $\pi/2$ ഫേസ് വ്യത്യാസമുണ്ട്.

6. ഫേസർ ഡയഗ്രത്തിൽ, വോൾട്ടേജും കറന്റും സദിശ അളവുകളായിട്ടാണ് പരിഗണിക്കുന്നതെങ്കിലും ഇവ യഥാർഥത്തിൽ സദിശ അളവുകളല്ല. അദിശ അളവുകളാണ്. ഹാർമണികമായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന അദിശ അളവുകളുടെ ആയതിയും ഫേസും ഗണിതപരമായി യോജിപ്പിക്കുന്നത്, അളവിനോടും ദിശയോടും യോജിച്ച് കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന സദിശങ്ങളുടെ പ്രക്ഷേപങ്ങളെ ചെയ്യുന്നതുപോലെത്തന്നെയാണ്. കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന സദിശങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ദോലനം ചെയ്യുന്ന അദിശങ്ങളെ പ്രതിനിധീകരിക്കാനുള്ള കാരണം ഈ അളവുകളെ നമുക്കറിയാവുന്ന സദിശ അളവുകൾ കൂട്ടുന്ന നിയമങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് കൂട്ടാൻ കഴിയും എന്നതുകൊണ്ടാണ്.

7. ഒരു ac സെർക്കീട്ടിൽ ശുദ്ധ കപ്പാസിറ്ററിലും ഇൻഡക്ടറിലും പവർ നഷ്ടമുണ്ടാകില്ല. ac സെർക്കീട്ടിൽ പവർവിനിയോഗം നടക്കുന്നത് പ്രതിരോധകത്തിൽക്കൂടി മാത്രമാണ്.

8. ഒരു *RLC* സെർക്കീട്ടിൽ $X_L = X_C$ അല്ലെങ്കിൽ $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ ആകുമ്പോഴാണ് അനുനാദം എന്ന പ്രതിഭാസമുണ്ടാകുന്നത്. അനുനാദം സംഭവിക്കാൻ *L*, *C* എന്നീ ഘടകങ്ങളുടെ സാന്നിധ്യം നിർബന്ധമാണ്. ഇവയിലേതെങ്കിലും ഒന്ന് മാത്രമേ ഉള്ളുവെങ്കിൽ (*L* അല്ലെങ്കിൽ *C*) വോൾട്ടേജ് റദ്ദാക്കാനുള്ള സാധ്യതയില്ല. അതുകൊണ്ട് അനുനാദം സാധ്യമാകില്ല.

9. ഒരു *LCR* സെർക്കീട്ട് പരമാവധി ഊർജം ചെലവഴിക്കുന്നതിനോട് എത്രത്തോളം അടുത്തുനിൽക്കുന്നു എന്നതിനുള്ള ഒരളവാണ് പവർഫാക്ടർ.

10. ജനറേറ്ററുകളിലും മോട്ടോറുകളിലും ഇൻപുട്ടും ഔട്ട്പുട്ടും നേർവിപരീതമായാണുള്ളത്. മോട്ടോറിൽ വൈദ്യുതോർജം ഇൻപുട്ടും യാന്ത്രികോർജം ഔട്ട്പുട്ടുമാണ്. ജനറേറ്ററിൽ യാന്ത്രികോർജം ഇൻപുട്ടും വൈദ്യുതോർജം ഔട്ട്പുട്ടുമാണ്. രണ്ട് ഉപകരണങ്ങളും ഊർജത്തെ ഒരു രൂപത്തിൽനിന്ന് മറ്റൊരു രൂപത്തിലേക്കു മാറ്റുന്നു.

11. ഒരു ട്രാൻസ്ഫോമർ (സ്റ്റെപ് അപ്) താഴ്ന്ന വോൾട്ടേജിനെ ഉയർന്ന വോൾട്ടേജാക്കി മാറ്റുന്നു. ഇത് ഊർജസംരക്ഷണനിയമം ലംഘിക്കുന്നില്ല. കറന്റ് അതേ അനുപാതത്തിൽ കുറയുന്നുണ്ട്.

12. ഒരു ദോലനചലനത്തെ സൈനിലോ കോസിലോ അല്ലെങ്കിൽ ഇവയുടെ തുകയായോ ആണ് വിവരിച്ചിരിക്കുന്നുവെന്നത് അപ്രധാനമാണ്. എന്തെന്നാൽ, പൂജ്യം കണക്കാക്കുന്നത് എന്നതിനനുസരിച്ച് ഇത് ഒന്നിൽ നിന്നു മറ്റേതിലേക്ക് (സൈൻ അല്ലെങ്കിൽ കോസൈൻ) മാറുന്നതാണ്.

പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

7.1 ഒരു 220 V, 50 Hz ac സപ്ലൈയിൽ ഒരു 100 W പ്രതിരോധകം ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു.
(a) സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിന്റെ rms മൂല്യമെത്രയാണ്?
(b) ഒരു മുഴുവൻ സൈക്കിളിൽ ഉപയോഗിക്കപ്പെട്ട ആകെ പവർ എത്രയാണ്?

7.2 (a) ഒരു ac സപ്ലൈയിൽ ഏറ്റവും ഉയർന്ന വോൾട്ടേജ് 300 V ആണ്. rms വോൾട്ടേജ് എത്രയാണ്?
(b) ഒരു ac സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിന്റെ rms മൂല്യം 10 A ആണ്. എത്രയാണ് ഏറ്റവും ഉയർന്ന കറന്റ്?

7.3 ഒരു 44 mH ഇൻഡക്ടർ 220 V, 50 Hz ac സപ്ലൈയുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിന്റെ rms മൂല്യം നിശ്ചയിക്കുക.

7.4 ഒരു 60 μF കപ്പാസിറ്റർ 110 V, 60 Hz ac സപ്ലൈയുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. സെർക്കീട്ടിലെ കറന്റിന്റെ rms മൂല്യം നിശ്ചയിക്കുക.

7.5 പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ 7.3 ലും 7.4 ലും ഒരു മുഴുവൻ സൈക്കിളിൽ ഓരോ സെർക്കീട്ടും ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന മൊത്തം പവർ എത്രയാണ്? നിങ്ങളുടെ ഉത്തരം വിശദീകരിക്കുക.

7.6 $L = 2.0$ H, $C = 32$ μF, $R = 10\ \Omega$ ആയ ഒരു ശ്രേണി *LCR* സെർക്കീട്ടിന്റെ അനുനാദ ആവൃത്തി കണ്ടെത്തുക. ഈ സെർക്കീട്ടിന്റെ *Q* മൂല്യം എത്രയാണ്?

7.7 ഒരു ചാർജ് ചെയ്ത 30 μF കപ്പാസിറ്റർ 27 mH ഇൻഡക്ടറുമായി ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. സെർക്കീട്ടിന്റെ സ്വതന്ത്രദോലനത്തിന്റെ കോണീയ ആവൃത്തി എത്രയാണ്?

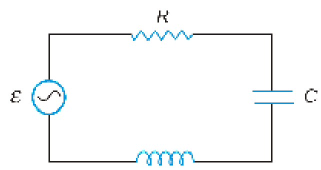
7.8 പരിശീലനപ്രശ്നം 7.7 ലെ കപ്പാസിറ്ററിൽ തുടക്കത്തിലുള്ള ചാർജ് 6 mC ആണെന്ന് കരുതുക. സെർക്കീട്ടിൽ തുടക്കത്തിൽ ശേഖരിച്ച മൊത്തം ഊർജമെത്ര? കുറച്ചു സമയത്തിനു ശേഷമുള്ള മൊത്ത ഊർജം എത്രയാണ്?

7.9 $R = 20\ \Omega$, $L = 1.5$ H, $C = 35$ μF ഉള്ള ഒരു ശ്രേണി *LCR* സെർക്കീട്ട് ആവൃത്തി മാറ്റാൻ കഴിയുന്ന 200 V ac സപ്ലൈയുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന സപ്ലൈയുടെ ആവൃത്തി സെർക്കീട്ടിന്റെ ആവൃത്തിയുമായി തുല്യമായാൽ ഒരു മുഴുവൻ സൈക്കിളിൽ സെർക്കീട്ടിലേക്കു മാറ്റപ്പെടുന്ന ശരാശരി പവർ എത്രയാണ്?

7.10 ഒരു റേഡിയോ MW പ്രക്ഷേപണ ബാന്റിന്റെ ഒരു ഭാഗത്തിന്റെ ആവൃത്തിയിൽ ട്യൂൺ ചെയ്യാൻ കഴിയും (800 kHz മുതൽ 1200 kHz). *LC* സെർക്കീട്ടിന്റെ സഫല ഇൻഡക്ടൻസ് 200 μH ആണെങ്കിൽ വേരിയബിൾ കപ്പാസിറ്ററിന്റെ പരിധി എത്രയായിരിക്കണം?

(*സൂചന:* ട്യൂൺ ചെയ്യുമ്പോൾ സ്വഭാവിക ആവൃത്തിയിൽ, അതായത് ഒരു *LC* സെർക്കീട്ടിന്റെ സ്വതന്ത്രദോലനത്തിന്റെ ആവൃത്തി റേഡിയോതരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തിക്ക് തുല്യമാകണം).

7.11 ചിത്രം 7.21 ഒരു ശ്രേണി *LCR* സെർക്കീട്ട് ആവൃത്തി മാറ്റാൻ കഴിയുന്ന 230V ഉള്ള ഒരു സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതാണ്. $L = 5.0$ H, $C = 80$ μF, $R = 40\ \Omega$.



ചിത്രം 7.21

(a) അനുനാദത്തിലുള്ള സെർക്കീട്ട് പ്രേരകം ചെയ്യുന്ന സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തി നിർണയിക്കുക.

(b) അനുനാദ ആവൃത്തിയിൽ കറന്റിന്റെ ആയതിയും സെർക്കീട്ടിന്റെ ഇമ്പിഡൻസും കണ്ടെത്തുക.

(c) സെർക്കീട്ടിലെ മൂന്നു ഘടകങ്ങളുടെയും അഗ്രങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള rms പൊട്ടൻഷ്യൽ താഴ്ച നിർണയിക്കുക. അനുനാദത്തിൽ *LC* കൂട്ടുകെട്ടുകൾക്കിടയിലുള്ള പൊട്ടൻഷ്യൽ ശോഷണം പൂജ്യമാണെന്നു കാണിക്കുക.

അധികപരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

7.12 ഒരു *LC* സെർക്കീട്ടിൽ 20 mH ഇൻഡക്ടറും തുടക്കത്തിൽ 10 mC ചാർജ് ചെയ്ത 50 µF കപ്പാസിറ്ററും അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. സെർക്കീട്ടിന്റെ പ്രതിരോധം വളരെ നിസ്സാരമാണ്. $t = 0$ എന്ന സമയത്ത് സെർക്കീട്ട് പൂർത്തിയാക്കിയാൽ

(a) തുടക്കത്തിൽ സംഭരിച്ച മൊത്തം ഊർജമെത്ര? *LC* ദോലനത്തിൽ ഊർജം സംരക്ഷിക്കപ്പെടുന്നുണ്ടോ?

(b) സെർക്കീട്ടിന്റെ സ്വാഭാവിക ആവൃത്തി എത്രയാണ്?

(c) ഇതിൽ ഏതു സമയത്താണ് (i) ഊർജം മുഴുവൻ വൈദ്യുതോർജമായി (കപ്പാസിറ്ററിൽ) സംഭരിക്കുന്നത്?

(ii) മുഴുവൻ കാന്തികോർജമായി (ഇൻഡക്ടറിൽ) സംഭരിക്കുന്നത്?

(d) ഏതു സമയത്താണ് മൊത്തം ഊർജം ഇൻഡക്ടറിലും കപ്പാസിറ്ററിലുമായി തുല്യമായി ഭാഗിച്ചിട്ടുള്ളത്?

(e) ഒരു പ്രതിരോധകം സെർക്കീട്ടിൽ ഉൾപ്പെടുത്തിയാൽ എത്രമാത്രം ഊർജം താപമായി നഷ്ടപ്പെടും?

7.13 0.50 H ഇൻഡക്ടൻസുള്ള ഒരു കോയിലും 100 Ω പ്രതിരോധവും 240 V, 50 Hz ac സപ്ലൈയുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു.

(a) സെർക്കീട്ടിലെ ഏറ്റവും വലിയ കറന്റ് എത്രയാണ്?

(b) ഏറ്റവും വലിയ വോൾട്ടേജിന്റെയും കറന്റിന്റെയും ഇടക്കുള്ള സമയത്തിന്റെ ലാഗിങ് എത്രയാണ്?

7.14 പരിശീലനപ്രശ്നം 7.13 ൽ (a) യുടെയും (b) യുടെയും ഉത്തരങ്ങൾ, സർക്കീട്ട് ഉയർന്ന ആവൃത്തിയുള്ള ഒരു സ്രോതസ്സുമായി (240 V, 10 kHz) ബന്ധിപ്പിക്കുമ്പോൾ കണ്ടെത്തുക. അതിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിൽ ഇൻഡക്ടറുള്ള ഒരു സെർക്കീട്ട് തുറന്ന സെർക്കീട്ടിനോട് ഏതാണ്ട് തുല്യമായിരിക്കുന്നു എന്ന് വിശദീകരിക്കുക. കറന്റ് സ്ഥിരത പ്രാപിച്ചതിനുശേഷം ഒരു dc സെർക്കീട്ടിൽ ഒരു ഇൻഡക്ടർ എങ്ങനെയാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്?

7.15 ശ്രേണിയായി ഘടിപ്പിച്ച 100 µF കപ്പാസിറ്ററും 40 Ω പ്രതിരോധവും 110 V, 60 Hz സപ്ലൈയുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു.

(a) സെർക്കീട്ടിലെ ഏറ്റവും വലിയ കറന്റ് എത്രയാണ്?

(b) ഏറ്റവും വലിയ വോൾട്ടേജിന്റെയും കറന്റിന്റെയും ഇടയിലുള്ള സമയ വിളംബം (lagging) എത്രയാണ്?

7.16 പരിശീലനപ്രശ്നം 7.15 ൽ (a) യുടെയും (b) യുടെയും ഉത്തരങ്ങൾ, സെർക്കീട്ട് 110 V, 12 kHz സപ്ലൈയുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുമ്പോളെന്തെന്ന് കണ്ടെത്തുക. ഉയർന്ന ആവൃത്തിയിൽ കപ്പാസിറ്റർ ഒരു ചാലകംപോലെ പ്രവർത്തിക്കുമെന്ന് വിശദീകരിക്കുക. കറന്റ് സ്ഥിരത പ്രാപിച്ച ശേഷം ഒരു dc സെർക്കീട്ടിൽ ഒരു കപ്പാസിറ്റർ എങ്ങനെയാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത് എന്നു താരതമ്യം ചെയ്യുക.

7.17 സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തിശ്രേണി *LCR* സെർക്കീട്ടിന്റെ അനുനാദ ആവൃത്തിയായി നിലനിർത്തി *L*, *C*, *R* എന്നീ ഘടകങ്ങളെ സമാന്തരമായി ബന്ധിപ്പിക്കുക. ഈ ആവൃത്തിയിൽ സമാന്തരമായി ഘടിപ്പിച്ച *LCR* സെർക്കീട്ടിൽ മൊത്തം കറന്റ് ഏറ്റവും കുറവായിരിക്കുമെന്നു കാണിക്കുക. ഈ ആവൃത്തിയിലുള്ള സ്രോതസ്സും ഘടകങ്ങളും പ്രശ്നപരിശീലനം 7.11 ൽ വ്യക്തമാക്കിയതിനനുസരിച്ച് എടുത്ത് ഓരോ ശാഖയിലുമുള്ള കറന്റിന്റെ rms മൂല്യം കണ്ടെത്തുക.

7.18 ഒരു സെർക്കീട്ടിൽ 80 mH ഇൻഡക്ടറും 60 μF കപ്പാസിറ്ററും ശ്രേണിയായി 230 V, 50 Hz സപ്ലൈയുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. സെർക്കീട്ടിന്റെ പ്രതിരോധം അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്.

(a) കറന്റിന്റെ ആയതിയും rms മൂല്യവും കണ്ടെത്തുക.
(b) ഓരോ ഘടകത്തിനുമിടയ്ക്കുള്ള പൊട്ടൻഷ്യൽ ശോഷണം കണ്ടെത്തുക.
(c) ഇൻഡക്ടറിലേക്കു കൈമാറ്റം ചെയ്യുന്ന ശരാശരി പവർ എത്രയാണ്?
(d) കപ്പാസിറ്ററിലേക്കു കൈമാറ്റം ചെയ്യുന്ന ശരാശരി പവർ എത്രയാണ്?
(e) സെർക്കീട്ട് ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന മൊത്തം ശരാശരി പവർ എത്രയാണ്? (ശരാശരി എന്ന് ഉദ്ദേശിക്കുന്നത് ഒരു സൈക്കിളിലുള്ള ശരാശരിയാണ്).

7.19 പ്രശ്നപരിശീലനം 7.18 ലുള്ള സെർക്കീട്ടിൽ 15 Ω പ്രതിരോധമുണ്ടെന്ന് കരുതുക. സെർക്കീട്ടിലെ ഓരോ ഘടകത്തിനും കൈമാറ്റം ചെയ്ത പവറും ആകെ ആഗിരണം ചെയ്ത പവറും കണ്ടെത്തുക.

7.20 ഒരു ശ്രേണി *LCR* സെർക്കീട്ട് ($L = 0.12$ H, $C = 480$ nF, $R = 23\ \Omega$) 230 V ഉള്ള ആവൃത്തി മാറ്റാൻ കഴിയുന്ന ഒരു സ്രോതസ്സുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു.

(a) കറന്റിന്റെ ആയതി ഏറ്റവും വലുതാകുമ്പോൾ സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തി എത്രയാണ്? കറന്റിന്റെ ഈ വലിയ ആയതി കണ്ടെത്തുക.
(b) സെർക്കീട്ട് ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന ശരാശരി പവർ ഏറ്റവും കൂടുതലാകുമ്പോഴുള്ള സ്രോതസ്സിന്റെ ആവൃത്തി എത്രയാണ്? ഏറ്റവും കൂടിയ പവറിന്റെ മൂല്യം കണ്ടെത്തുക.
(c) ഏത് ആവൃത്തിയിലാണ് അനുനാദത്തിലുള്ള പവറിന്റെ പകുതി പവർ സെർക്കീട്ടിലേക്കു കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്നത്? ഈ ആവൃത്തികളിൽ കറന്റിന്റെ ആയതി എത്രയാണ്?
(d) തന്ന സെർക്കീട്ടിന്റെ *Q* ഫാക്ടർ എത്രയാണ്?

7.21 $L = 3.0$ H, $C = 27\ \mu$F, $R = 7.4\ \Omega$ ഉള്ള ഒരു ശ്രേണി *LCR* സെർക്കീട്ടിന്റെ അനുനാദ ആവൃത്തിയും *Q* ഫാക്ടറും കണ്ടുപിടിക്കുക. സെർക്കീട്ടിന്റെ അനുനാദത്തിന്റെ കൂർമത മെച്ചപ്പെടുത്താൻ 'പകുതി ഉന്നതിയിലെ വീതി' രണ്ടു മടങ്ങ് കുറയ്ക്കണം. ഇതിന് അനുയോജ്യമായ മാർഗം നിർദേശിക്കുക.

7.22 താഴെ പറയുന്ന ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരം നൽകുക.

(a) ഏതൊരു ac സെർക്കീട്ടിലും പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ട തൽക്ഷണ വോൾട്ടേജ് ശ്രേണിയായി ഘടിപ്പിച്ച ഓരോ ഘടകത്തിനുമിടയ്ക്കുള്ള തൽക്ഷണ വോൾട്ടേജുകളുടെ ബീജീയതുകയാണോ? rms വോൾട്ടേജിലും ഇപ്രകാരമാണോ?
(b) ഇൻഡക്ഷൻ കോയിലിന്റെ പ്രൈമറി സെർക്കീട്ടിൽ കപ്പാസിറ്ററിന്റെ ഉപയോഗമെന്താണ്?
(c) പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ഒരു വോൾട്ടേജ് സിഗ്നൽ dc വോൾട്ടേജും ഉയർന്ന ആവൃത്തിയുള്ള ac വോൾട്ടേജും കൂടിച്ചേർന്നതാണ്. സെർക്കീട്ടിൽ ഇൻഡക്ടറും കപ്പാസിറ്ററും ശ്രേണിയായി ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. *C* യുടെ കുറുകെയുള്ള dc സിഗ്നലിനെയും *L* ന്റെ കുറുകെയുള്ള ac സിഗ്നലിനെയും കണ്ടെത്തുക.

(d) ഒരു ചോക്ക് കോയിൽ ബൾബുമായി ശ്രേണിയായി ഒരു dc ലൈനുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. ബൾബ് ശോഭയോടുകൂടി തിളങ്ങുന്നതു കാണാം. ചോക്കിലേക്ക് ഒരു ഇരുമ്പുകോർ വച്ചാൽ ബൾബിന്റെ തിളക്കത്തിന് ഒരു മാറ്റവും സംഭവിക്കുന്നില്ല. ഇതൊരു ac ലൈനായിരുന്നെങ്കിലുള്ള മാറ്റം പ്രവചിക്കുക.

(e) ഫ്ളൂറസന്റ് ട്യൂബുകളിൽ ചോക്ക്കോയിൽ ac മെയ്നിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നത് എന്തുകൊണ്ടാണ്? ചോക്ക് കോയിലിന് പകരമായി സാധാരണ പ്രതിരോധകം ഉപയോഗിക്കാത്തത് എന്തുകൊണ്ടാണ്?

723 2300V ഉള്ള ഒരു പവർവിതരണ ലൈൻ ഒരു സ്റ്റെപ്ഡൗൺ ട്രാൻസ്ഫോമറിന്റെ 4000 ചുറ്റുകളുള്ള പ്രൈമറിയിലേക്കു കൊടുക്കുന്നു. 230V ഔട്ട്പുട്ട് ലഭിക്കാൻ സെക്കന്ററി കോയിലിൽ എത്ര ചുറ്റുകൾ വേണം?

724 ഒരു ജലവൈദ്യുതനിലയത്തിൽ 300 m ഉയരത്തിൽ ശേഖരിച്ചിട്ടുള്ള വെള്ളം 100 m^3s^{-1} എന്ന നിരക്കിൽ ഒഴുക്കാൻ കഴിയും. ടർബൈൻ ജനറേറ്ററിന് 60% കാര്യക്ഷമതയുണ്ട്. നിലയത്തിൽനിന്ന് ലഭ്യമാകുന്ന വൈദ്യുതപവർ കണക്കാക്കുക. ($g = 9.8\ ms^{-2}$)

725 ഒരു ചെറിയ പട്ടണത്തിന് 220 V ൽ 800 kW വൈദ്യുതപവർ ആവശ്യമാണ്. 440 V ൽ പവർ ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കുന്ന നിലയത്തിൽ നിന്നു 15 km അകലെയാണ് പട്ടണം. പവർ വഹിക്കുന്ന വയറുകളുടെ പ്രതിരോധം 0.5 Ω per km ആണ്. പട്ടണത്തിലെ സബ്സ്റ്റേഷനിലെ 4000 - 220V സ്റ്റെപ്ഡൗൺ ട്രാൻസ്ഫോമറിൽ നിന്നാണ് അവിടേക്കു വേണ്ട പവർ ലഭിക്കുന്നത്.

(a) താപരൂപത്തിൽ നഷ്ടമായ പവർ കണക്കാക്കുക.

(b) ചോർച്ചകാരണം പവർ നഷ്ടമില്ല എന്ന അനുമാനത്തിൽ നിലയം എത്ര പവർ വിതരണം ചെയ്യണം?

(c) നിലയത്തിലുള്ള സ്റ്റെപ്അപ് ട്രാൻസ്ഫോമർ രൂപകൽപ്പന ചെയ്യുക.

726 മുകളിലെ പരിശീലനപ്രശ്നം 40,000-220 V സ്റ്റെപ് അപ് ട്രാൻസ്ഫോമറായി മാറ്റി ചെയ്യുക. (മുമ്പത്തെ പോലെ ചോർച്ചനഷ്ടം അവഗണിക്കുക. ഉയർന്ന വോൾട്ടേജ് വിതരണത്തിന് ഇതത്ര നല്ല അനുമാനമല്ല എന്നാൽ പോലും) ഇതിൽനിന്ന് ഉയർന്ന വോൾട്ടേജോടു കൂടിയ വിതരണം എന്തുകൊണ്ട് തിരഞ്ഞെടുക്കുന്നു എന്നു വിശദീകരിക്കുക.