برقی ادوار

خالد خان یوسفزئی
کامسیٹ انسٹیٹیوٹ آف انفارمیشن ٹیکنالوجی، اسلام آباد
khalidyousafzai@comsats.edu.pk

عنوان

باب 8

برقرار حالت بدلتی رو

جبری تفاعل میں یکدم تبدیلی سے دور عارضی حالت اختیار کرتا ہے۔ محدود قیمت کے وقتی مستقل کی صورت میں آخر کار عارضی دورانیہ گزر جاتا ہے اور دور ایک بار پھر برقرار حالت اختیار کر لیتا ہے۔ جبری تفاعل میں یکدم تبدیلی کی غیر موجودگی میں دور برقرار صورت میں رہتا ہے۔ اس باب میں ایسے ہی ادوار پر غور کیا جائے گا جن کے جبری تفاعل میں یکدم تبدیلی نہیں پائی جاتی۔ ایسی صورت میں جبری حل ہی مکمل حل ہو گا۔ اس باب میں مکمل حل سے مراد جبری حل ہو گا۔

8.1 مخلوط اعداد

حقیقی[1] عدد اور **خیالی**[2] عدد کے مجموعے کو **مخلوط**[3] عدد کہتے ہیں۔ مخلوط اعداد کو **مخلوط سطح**[4] پر دکھایا جاتا ہے۔ مخلوط سطح پر افقی محدد حقیقی اعداد کو ظاہر کرتا ہے جبکہ عمودی محدد خیالی اعداد کو ظاہر کرتا ہے۔

---

[1] real number
[2] imaginary number
[3] complex number
[4] complex plane

شکل 8.1-الف میں مخلوط عدد $3 + j2$ دکھایا گیا ہے۔اسی شکل میں ایک مستطیل بھی دکھایا گیا ہے۔اس عدد کے حقیقی اور خیالی اجزاء مستطیل کے اطراف ہیں۔یوں مخلوط عدد کو حقیقی اور خیالی اجزاء کے مجموعے یعنی $3 + j2$ کے طرز پر لکھنے کو **مستطیلی طرز**[5] کہتے ہیں۔

شکل 8.1-الف میں مخلوط نقطہ $(3 + j2)$ سے محدد کے مرکز $(0, 0)$ تک لکیر کھینچی گئی ہے۔اس لکیر کی لمبائی r کو مسئلہ فیثاغورث کی مدد سے

$$r = \sqrt{3^2 + 2^2} = \sqrt{13}$$

لکھا جا سکتا ہے۔اسی طرح افقی محدد سے لکیر تک کا زاویہ درج ذیل ہو گا۔

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2}{3} = 33.69^\circ$$

شکل 8.1-ب میں اسی مخلوط عدد کو $r\angle\theta$ کی شکل میں دکھایا گیا ہے۔مخلوط عدد کو حیطے اور زاویے سے ظاہر کرنے کو **زاویائی طرز**[6] کہتے ہیں۔

کسی بھی مخلوط عدد m کو

$$m = x + jy \qquad \text{مستطیل طرز} \tag{8.1}$$

یا

$$m = r\angle\theta \qquad \text{زاویائی طرز} \tag{8.2}$$

میں لکھا جا سکتا ہے جہاں مستطیلی طرز سے زاویائی طرز درج ذیل طریقے سے حاصل کی جاتی ہے

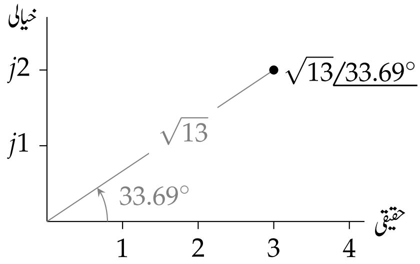
$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{y}{x} \end{aligned} \tag{8.3}$$

جبکہ زاویائی طرز سے مستطیل طرز درج ذیل سے حاصل کی جاتی ہے۔

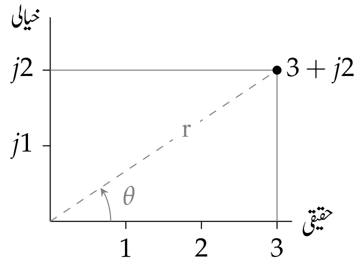
$$\begin{aligned} x &= r \cos\theta \\ y &= r \sin\theta \end{aligned} \tag{8.4}$$

---

[5] rectangular form
[6] angular form



(ب) مخلوط عدد لکھنے کی زاویائی طرز۔



(الف) مخلوط عدد لکھنے کی مستطیل طرز۔

شکل 8.1: مخلوط اعداد کو لکھنے کے طریقے۔

مخلوط اعداد کو جمع، منفی، ضرب اور تقسیم کرنے کی چند مثالیں دیکھتے ہیں۔

مثال 8.1: مخلوط اعداد $a=2+j3$ اور $b=4+j5$ دیے گئے ہیں۔ درج ذیل حاصل کریں۔

$$a+b, \qquad a-b, \qquad ab, \qquad \frac{a}{b}$$

حل: مخلوط اعداد جمع (منفی) کرتے وقت حقیقی اجزاء کو علیحدہ جمع (منفی) کیا جاتا ہے اور خیالی اجزاء کو علیحدہ جمع (منفی) کیا جاتا ہے۔

$$\begin{aligned} a+b &= (2+j3)+(4+j5) = (2+4)+j(3+5) = 6+j8 \\ a-b &= (2+j3)-(4+j5) = (2-4)+j(3-5) = -2-j2 \end{aligned}$$

مخلوط اعداد کو ضرب دیتے ہوئے $j^2 = (\sqrt{-1})^2 = -1$ لکھا جاتا ہے۔

$$ab = (2+j3)(4+j5) = 8+j10+j12+j^2 15 = (8-15)+j(10+12) = -7+j22$$

مخلوط اعداد کو تقسیم کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
\frac{a}{b} &= \frac{2+j3}{4+j5}\\
&= \left(\frac{2+j3}{4+j5}\right)\left(\frac{4-j5}{4-j5}\right)\\
&= \frac{8-j10+j12-j^2 15}{4^2-(j5)^2}\\
&= \frac{23+j2}{16+25}\\
&= \frac{23}{41}+j\frac{2}{41}\\
&= 0.56098+j0.04878
\end{aligned}$$

مثال 8.2: گزشتہ مثال میں مخلوط اعداد کو زاویائی طرز پر لکھتے ہوئے ab اور $\frac{a}{b}$ حاصل کریں۔

حل: مساوات 8.3 استعمال کرتے ہوئے $a=2+j3$ کا حیطہ اور زاویہ حاصل کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned}
r_a &= \sqrt{2^2+3^2}=\sqrt{13}\\
\theta_a &= \tan^{-1}\frac{3}{2}=56.31^\circ
\end{aligned}$$

یوں

$$a=\sqrt{13}\underline{/56.31^\circ}$$

لکھا جائے گا۔اسی طرح $b=4+j5$ کا حیطہ اور زاویہ حاصل کرتے ہوئے

$$\begin{aligned}
r_b &= \sqrt{4^2+5^2}=\sqrt{41}\\
\theta_b &= \tan^{-1}\frac{5}{4}=51.34^\circ
\end{aligned}$$

درج ذیل لکھا جائے گا۔

$$b = \sqrt{41}\underline{/51.34^\circ}$$

اس طرح

$$\begin{aligned} ab &= \left(\sqrt{13}\underline{/56.31^\circ}\right)\left(\sqrt{41}\underline{/51.34^\circ}\right) \\ &= \sqrt{13}\sqrt{41}\underline{/56.31^\circ + 51.34^\circ} \\ &= \sqrt{533}\underline{/107.65^\circ} \end{aligned}$$

اور

$$\begin{aligned} \frac{a}{b} &= \frac{\sqrt{13}\underline{/56.31^\circ}}{\sqrt{41}\underline{/51.34^\circ}} \\ &= \frac{\sqrt{13}}{\sqrt{41}}\underline{/56.31^\circ - 51.34^\circ} \\ &= \sqrt{\frac{13}{41}}\underline{/4.97^\circ} \end{aligned}$$

حاصل ہوتے ہیں۔

ان جوابات کو مستطیلی طرز میں درج ذیل لکھا جائے گا جو گزشتہ مثال کے جوابات ہیں۔

$$\begin{aligned} ab &= \sqrt{533}\cos 107.65^\circ + j\sqrt{533}\sin 107.65^\circ = -7 + j22 \\ \frac{a}{b} &= \sqrt{\frac{13}{41}}\cos 4.97^\circ + j\sqrt{\frac{13}{41}}\sin 4.97^\circ = 0.56098 + j0.04878 \end{aligned}$$

ہم نے دیکھا کہ زاویائی طرز میں لکھا مخلوط عدد $a = r\underline{/\theta}$ مستطیل طرز میں بھی لکھا جا سکتا ہے یعنی

$$a = r\underline{/\theta} = r\cos\theta + jr\sin\theta \tag{8.5}$$

یولر مساوات[7] درج ذیل ہے۔

$$e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta \tag{8.6}$$

[7] Euler's equation

مندرجہ بالا دو مساوات کو ملاتے ہوئے درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$r\underline{/\theta} = re^{j\theta} = r\left(\cos\theta + j\sin\theta\right) \tag{8.7}$$

مثال 8.3: مخلوط عدد $m = 5 - j12$ کو زاویائی طرز میں لکھیں۔

حل: مساوات 8.3 کے استعمال سے درج ذیل حاصل کرتے ہیں

$$r = \sqrt{5^2 + 12^2} = 13$$
$$\theta = \tan^{-1}\frac{-12}{5} = -67.38^\circ$$

لہٰذا درج ذیل لکھے جا سکتے ہیں۔

$$m = 13e^{-j67.38^\circ}$$
$$m = 13\underline{/-67.38^\circ}$$

8.2 سائن نما تفاعل

سائن نما[8] تفاعل سے مراد سائن تفاعل $\sin\theta$ اور کوسائن تفاعل $\cos\theta$ ہیں۔ شکل 8.2-الف میں رداس A_0 کے گول دائرے پر ایک نقطہ یکساں رفتار کے ساتھ، گھڑی کی گردش کی الٹ سمت میں، حرکت کر رہا ہے۔ یہ دائرہ **کارتیسی محدد**[9] کے مرکز $(0,0)$ پر پایا جاتا ہے۔ لمحہ t پر زاویہ $\underline{/aox}$ کی قیمت θ کے برابر ہے۔ نقطے سے x محدد پر عمودی لکیر محدد کو $x(t)$ پر ٹکراتی ہے جبکہ y محدد پر عمودی لکیر $y(t)$ پر ٹکراتی ہے۔ شکل کو دیکھتے ہوئے درج ذیل لکھا جا سکتا ہے

$$y(t) = A_0\sin\theta \tag{8.8}$$

[8] sinusoidal
[9] Cartesian coordinates

جہاں A_0 موج کی چوٹی ہے جسے موج کا **حیطہ**[10] کہتے ہیں اور θ کو تفاعل کا **دلیل**[11][12] کہتے ہیں۔اس مساوات میں θ از خود وقت t پر منحصر ہے۔

گردش کرتا نقطہ ایک چکر میں $360°$ درجے کا زاویہ یعنی 2π ریڈیئن طے کرتا ہے۔ایک چکر کاٹنے کے لئے درکار دورانیے کو **دوری عرصہ**[13] کہتے ہیں جسے T سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

مشق 8.1: شکل 8.2-الف میں نقطہ ایک چکر $20\,\mathrm{ms}$ میں پورا کرتا ہے۔یہ نقطہ ایک سیکنڈ میں کتنے چکر پورا کرے گا۔یہ نقطہ ایک سیکنڈ میں کتنے ریڈیئن کا زاویہ طے کرتا ہے۔

جوابات: 50 چکر، $100\pi\,\mathrm{rad}$

اگر ایک چکر کاٹنے کے لئے T سیکنڈ کا وقت درکار ہو تب ایک سیکنڈ میں چکروں کی تعداد $\frac{1}{T}$ ہو گی جسے **تعدد**[14] کہتے اور f سے ظاہر کرتے ہیں۔

$$f = \frac{1}{T} \tag{8.9}$$

تعدد کی اکائی ہرٹز[15] ہے جسے Hz سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

ایک چکر 2π ریڈیئن کو کہتے ہیں لہٰذا f چکر سے مراد $2\pi f$ ریڈیئن کا زاویہ ہے۔یوں f تعدد پر گردش کرتا نقطہ ایک سیکنڈ میں $2\pi f$ ریڈیئن کا زاویہ طے کرے گا یعنی اس کی **زاویائی رفتار**[16] کی قیمت $2\pi f$ ہو گی۔زاویائی رفتار کو ω سے ظاہر کیا جاتا ہے جبکہ اس کی اکائی ریڈیئن فی سیکنڈ $\mathrm{rad\,s^{-1}}$ ہے۔

$$\omega = 2\pi f \tag{8.10}$$

---

[10] amplitude
[11] ایک ماہر ریاضی اپنی خیالی دنیا میں کوسائن $\cos\theta$ تفاعل کے ساتھ بحث میں مصروف ہوتا ہے۔ماہر ریاضی تفاعل کو دلیل کے طور پر صفر پیش کرتا ہے۔تفاعل اس کا فوراً جواب اکائی $(\cos 0 = 1)$ دیتا ہے۔
[12] argument
[13] time period
[14] frequency
[15] Hertz
[16] angular speed

زاویائی رفتار ω سے گردش کرتا ہوا نقطہ t سیکنڈ میں $2\pi ft$ ریڈیئن کا زاویہ طے کرے گا۔ یوں اگر $t=0$ پر نقطہ عین x محدد کے مثبت حصے پر ہو تب لمحہ t پر

$$\theta = \omega t = 2\pi ft \tag{8.11}$$

لکھا جائے گا۔ یوں مساوات 8.8 کو

$$\begin{aligned} y(t) &= A_0 \sin 2\pi ft \\ &= A_0 \sin \frac{2\pi}{T} t \\ &= A_0 \sin \omega t \end{aligned} \tag{8.12}$$

لکھا جا سکتا ہے۔

برقی میدان میں $y(t)$ وقت کے ساتھ بدلتے دباو یا وقت کے ساتھ بدلتی رو کو ظاہر کر سکتی ہے۔ مساوات 8.12 میں دیے تفاعل، جسے شکل 8.2-ب میں دکھایا گیا ہے، کا آزاد متغیرہ وقت t ہے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہ تفاعل ہر T سیکنڈ کے بعد اپنے آپ کو دہراتا ہے۔ اس حقیقت کو ریاضی میں درج ذیل لکھا جاتا ہے۔

$$y(t+T) = y(t) \tag{8.13}$$

جس سے مراد یہ ہے کہ تفاعل کی قیمت لمحہ t اور لمحہ $t+T$ پر برابر ہیں۔

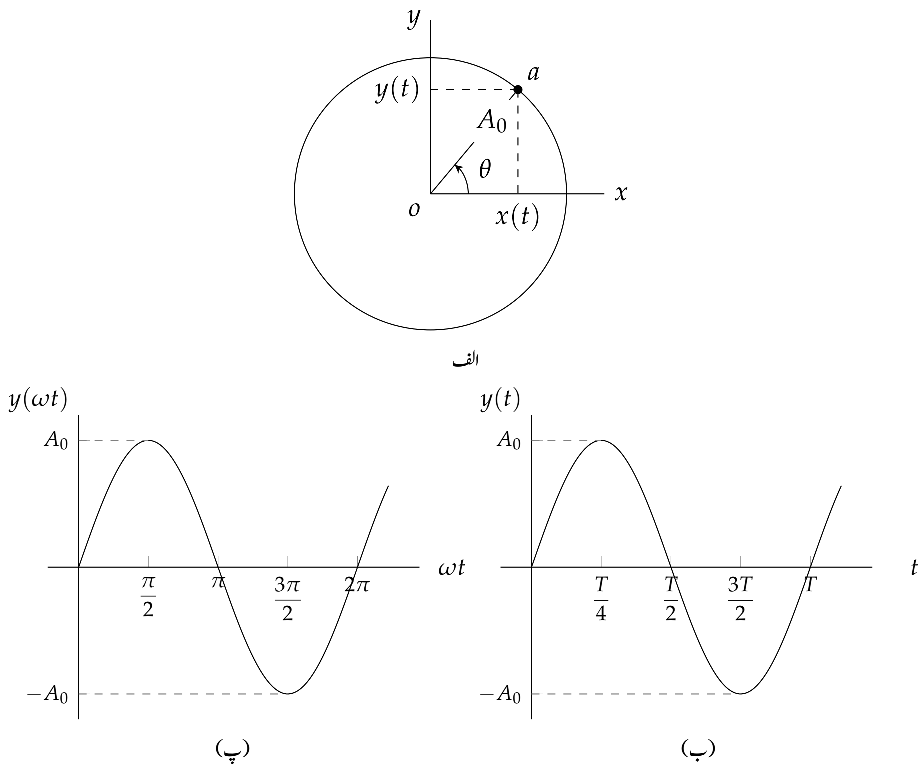
مساوات 8.12 کے خط کو ωt کے ساتھ بھی کھینچا جا سکتا ہے۔ ایسا ہی شکل 8.2-پ میں دکھایا گیا ہے جہاں سے واضح ہے کہ یہ تفاعل ہر 2π ریڈیئن کے بعد اپنے آپ کو دہراتا ہے۔

مشق 8.2: شکل 8.2-الف میں گردش کرتا نقطہ $0.2\,\mathrm{s}$ میں $40°$ کا زاویہ طے کرتا ہے۔ زاویائی رفتار، تعدد اور دوری عرصہ دریافت کریں۔

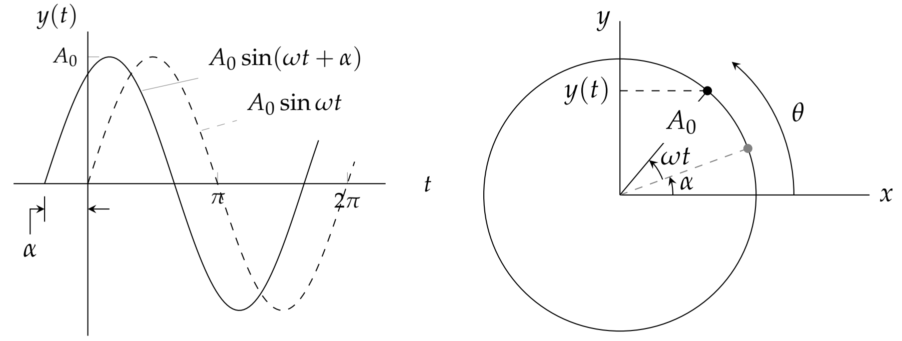
جوابات: $\omega = \frac{10\pi}{9}\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$ ، $f = 1.8\,\mathrm{Hz}$ ، $T = \frac{5}{9}\,\mathrm{s}$

شکل 8.3 میں عمومی صورت حال دکھائی گئی ہے جہاں ω زاویائی رفتار سے گردش کرتا نقطہ، لمحہ $t=0$ پر زاویہ α پر پایا جاتا ہے۔ یہ نقطہ وقت t کے دوران ωt زاویہ طے کرتے ہوئے $\theta = \omega t + \alpha$ پہنچ جائے گا لہٰذا اس کے لئے

$$y(t) = A_0 \sin(\omega t + \alpha) \tag{8.14}$$



شکل 8.2: سائن موج۔



(ب) زاویائی ہٹاو۔ (الف)

شکل 8.3: لمحہ $t = 0$ پر زاویہ α ہے۔

لکھا جا سکتا ہے جہاں α کو زاویائی ہٹاو[17] کہتے ہیں۔اس مساوات کا دلیل $\omega t + \alpha$ ہے۔شکل 8.3-ب میں مساوات 8.12 اور مساوات 8.14 کو دکھایا گیا ہے۔آپ دیکھ سکتے ہیں کہ ان مساوات میں α زاویائی فرق[18] پایا جاتا ہے۔مساوات 8.12 سے مساوات 8.14 α ریڈیئن آگے[19] ہے۔یہ بھی کہا جا سکتا ہے کہ مساوات 8.14 سے مساوات 8.12 α ریڈیئن پیچھے[20] ہے۔ایک ہی تعدد کے دو تفاعل

$$
\begin{aligned}
y_1(t) &= A_{01} \sin(\omega t + \alpha) \\
y_2(t) &= A_{02} \sin(\omega t + \beta)
\end{aligned}
\tag{8.15}
$$

میں $y_1(t)$ تفاعل $y_2(t)$ سے $\alpha - \beta$ ریڈیئن آگے ہے۔ہم یہ بھی کہہ سکتے ہیں کہ $y_2(t)$ تفاعل $y_1(t)$ سے $\beta - \alpha$ ریڈیئن آگے ہے یا کہ $y_1(t)$ تفاعل $y_2(t)$ سے $\beta - \alpha$ ریڈیئن پیچھے ہے۔اگر $\alpha = \beta$ ہو تب تفاعل ہم زاویہ[21] کہلاتے ہیں جبکہ $\alpha \neq \beta$ کی صورت میں تفاعل الگ زاویہ[22] کہلاتے ہیں۔

زاویائی ہٹاو کو عموماً درجوں میں بیان کیا جاتا ہے لہٰذا $\alpha = \frac{\pi}{4}$ کی صورت میں درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$
y(t) = A_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) = A_0 \sin\left(\omega t + 45^\circ\right) \tag{8.16}
$$

---

[17] phase angle
[18] phase difference
[19] lead
[20] lag
[21] in phase
[22] out of phase

باضابطہ طور پر چونکہ ωt کی قیمت ریڈیئن میں ہے لہٰذا α کی قیمت بھی ریڈیئن میں ہونا لازم ہے لہٰذا تفاعل لکھنے کا صحیح طریقہ $y(t) = A_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$ ہی ہے لیکن زاویائی ہٹاو کو درجوں میں لکھنے کی روایت نہایت مقبول ہے لہٰذا اس کتاب میں بھی اس روایت کو برقرار رکھا جائے گا۔ مساوات 8.16 میں $45°$ لکھتے ہوئے زیر بالا میں درجے کی علامت $(°)$ استعمال کی گئی ہے جبکہ $\frac{\pi}{4}$ پر کوئی علامت نہیں لگائی گئی۔ اسی علامت سے ریڈیئن یا درجوں کی پہچان کی جاتی ہے۔

مثال 8.4: مساوات $y_1(t) = 15\sin(100t + 60°)$ اور $y_2(t) = 22\sin(200t + 0.2\pi)$ کی قیمت $t = 25\,\text{ms}$ پر دریافت کریں۔

حل: پہلی تفاعل میں $50°$ کا زاویائی ہٹاو $\frac{60°}{180°} \times \pi = \frac{\pi}{3}$ ریڈیئن کے برابر ہے۔ یوں لمحہ $t = 25\,\text{ms}$ پر

$$y_1(0.025) = 15\sin\left(100 \times 25 \times 10^{-3} + \frac{\pi}{3}\right) = -5.918619766$$

اور

$$y_2(0.025) = 22\sin(200 \times 0.025 + 0.2\pi) = -13.39917888$$

حاصل ہوتے ہیں۔

اگرچہ اب تک کی بحث میں ہم نے سائن تفاعل استعمال کیا، ہم اس کی جگہ کوسائن تفاعل بھی استعمال کر سکتے تھے۔ ان دو تفاعل کی صورت بالکل یکساں ہے پس دونوں میں $90°$ کا زاویائی فرق پایا جاتا ہے۔

$$\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \cos\omega t \tag{8.17}$$

$$\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \sin\omega t \tag{8.18}$$

سائن نما تفاعل کے دلیل کے ساتھ 2π ریڈیئن یا $360°$ کا مضرب جمع کرنے سے تفاعل کی قیمت تبدیل نہیں ہوتی۔

$$\cos(\omega t + \alpha + 2\pi n) = \cos(\omega t + \alpha) \qquad n = 0, \pm1, \pm2, \cdots \tag{8.19}$$

$$\sin(\omega t + \alpha + 2\pi n) = \sin(\omega t + \alpha) \qquad n = 0, \pm1, \pm2, \cdots \tag{8.20}$$

دو سائن نما تفاعل میں زاویائی فرق تین شرائط پورا کرنے کے بعد دریافت کیا جا سکتا ہے۔پہلی شرط یہ ہے کہ دونوں تفاعل کی تعدد برابر ہو۔دوسری شرط یہ ہے کہ دونوں کو سائن تفاعل اور یا پھر دونوں کو کوسائن تفاعل کی صورت میں لکھا جائے۔ تیسری اور آخری شرط یہ ہے کہ دوسری شرط میں لکھے گئے تفاعل کے حیطے مثبت ہوں۔درج ذیل مماثل ان شرائط کو پورا کرنے میں مدد دیتے ہیں۔

$$-\sin(\omega t+\alpha)=\sin(\omega t+\alpha\pm 180^\circ) \tag{8.21}$$

$$-\cos(\omega t+\alpha)=\cos(\omega t+\alpha\pm 180^\circ) \tag{8.22}$$

ان کے علاوہ درج ذیل مماثل بھی نہایت اہم ثابت ہوتے ہیں۔

$$\sin(\alpha\pm\beta)=\sin\alpha\cos\beta\pm\cos\alpha\sin\beta \tag{8.23}$$

$$\cos(\alpha\pm\beta)=\cos\alpha\cos\beta\mp\sin\alpha\sin\beta \tag{8.24}$$

ایک آخری تفاعل جس کا ذکر ضروری ہے درج ذیل ہے۔

$$\cos^2\alpha+\sin^2\alpha=1 \tag{8.25}$$

مثال 8.5: درج ذیل تفاعل کے خط کھینچیں۔

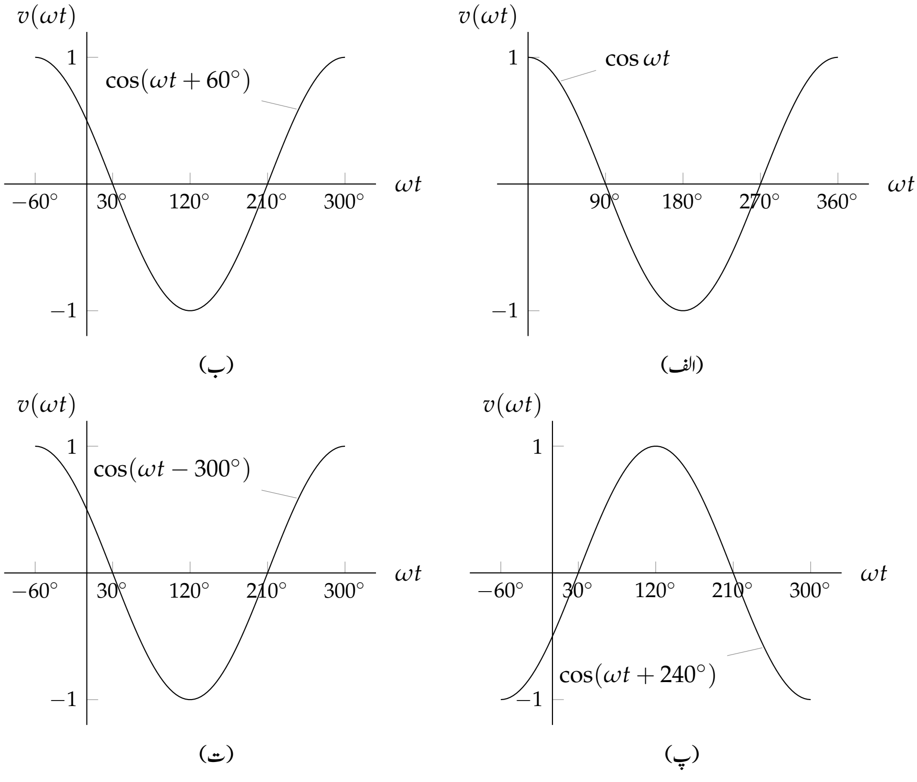
- $v(t)=1\cos(\omega t+60^\circ)$
- $v(t)=1\cos(\omega t+240^\circ)$
- $v(t)=1\cos(\omega t-300^\circ)$

حل: شکل 8.4-الف میں $v(\omega t)=1\cos\omega t$ کا خط دکھایا گیا ہے۔اس کو افقی محدد پر 60° درجے بائیں منتقل کرنے سے $v(\omega t)=1\cos(\omega t+60^\circ)$ کا خط حاصل ہوتا ہے جسے شکل-ب میں دکھایا گیا ہے۔ ہم درج ذیل لکھ سکتے ہیں

$$v(\omega t)=1\cos(\omega t+240^\circ)=1\cos(\omega t+60^\circ+180^\circ)=-1\cos(\omega t+60^\circ)$$

جہاں مساوات 8.22 کا استعمال کیا گیا ہے۔درج بالا مساوات کو شکل-پ میں دکھایا گیا ہے۔آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہ شکل-ب کا منفی ہے۔اسی طرح مساوات 8.19 کی مدد سے

$$v(\omega t)=1\cos(\omega t-300^\circ)=1\cos(\omega t-300^\circ+360^\circ)=1\cos(\omega t+60^\circ)$$



شکل 8.4: مثال 8.5 کے خط۔

لکھتے ہوئے شکل-ت حاصل ہوتی ہے جو عین شکل-ب ہی ہے۔

مثال 8.6: درج ذیل امواج کی تعدد ہرٹز میں حاصل کریں۔ امواج کے مابین زاویائی فرق دریافت کریں۔ یہ بھی بتلائیں کہ کونسی موج آگے ہے۔

$$
\begin{aligned}
v_1(\omega t) &= 100\sin(400t - 30^\circ) \\
v_2(\omega t) &= -250\cos(400t + 0.2\pi)
\end{aligned}
$$

حل: ان امواج میں $\omega = 400\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$ ہے لہٰذا

$$
f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{400}{2\pi} = 63.66\,\mathrm{Hz}
$$

ہو گا۔ زاویائی فرق دریافت کرنے کی خاطر دونوں امواج کو مثبت حیطے کے کوسائن موج کی صورت میں لکھتے ہیں۔ ساتھ ہی ساتھ ان کے زاویائی ہٹاو کو درجوں میں لکھتے ہیں۔ یوں

$$
\begin{aligned}
v_1(\omega t) &= 100\sin(400t - 30^\circ) \\
&= 100\cos(400t - 30^\circ - 90^\circ) \\
&= 100\cos(400t - 120^\circ) \\
&= 100\cos(400t + 240^\circ)
\end{aligned}
$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں آخری قدم پر مساوات 8.19 کا استعمال کیا گیا۔ اسی طرح

$$
\begin{aligned}
v_2(\omega t) &= -250\cos(400t + 0.2\pi) \\
&= 250\cos(400t + 0.2\pi + \pi) \\
&= 250\cos(400t + 216^\circ)
\end{aligned}
$$

بھی لکھا جا سکتا ہے جہاں آخری قدم پر 1.2π ریڈیئن کو 216° درجے لکھا گیا ہے۔ ان امواج کے مابین

$$
240^\circ - 216^\circ = 24^\circ
$$

کا زاویائی فرق پایا جاتا ہے اور موج $v_1(\omega t)$ آگے ہے۔

مشق 8.3: ایک دور میں درج ذیل تین رو پائے جاتے ہیں۔

$$
\begin{aligned}
i_1(1) &= 30\cos(100\pi t + 30^\circ)\\
i_2(2) &= 55\sin(100\pi t + 40^\circ)\\
i_3(t) &= 20\sin(100\pi t + 60^\circ)
\end{aligned}
$$

i_2 سے i_1 کتنی آگے ہے اور i_3 سے i_1 کتنی پیچھے ہے۔

جوابات: 80° ، -60° یا 300°

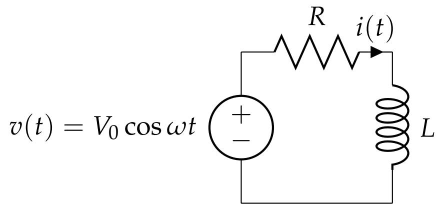
8.3 سائن نما اور مخلوط جبری تفاعل

گزشتہ باب میں دور پر مستقل جبری تفاعل مسلط کرتے ہوئے، دور کا جبری رد عمل بھی مستقل قیمت کا حاصل ہوا۔ تفرقی مساوات کا جبری رد عمل، مسلط جبری تفاعل اور اس کے تمام بلند درجی تفرق کا مجموعہ ہوتا ہے۔ یوں دور پر جبری دباو $v(t) = \sin\omega t$ مسلط کرنے سے رو کا جبری رد عمل $i(t) = c_1\sin\omega t + c_2\cos\omega t$ متوقع ہو گا۔ پس جبری رد عمل کے مستقل c_1 اور c_2 معلوم کرنا باقی ہے۔

مثال 8.7: شکل 8.5 میں رو $i_J(t)$ حاصل کریں۔

حل: دور کی تفرقی مساوات لکھتے ہیں۔

$$Ri(t) + L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = V_0\cos\omega t \tag{8.26}$$



شکل 8.5: مثال 8.7 کا دور۔

دور پر مسلط جبری تفاعل اور اس تفاعل کے تمام بلند درجی تفرق کا مجموعہ جبری حل کے برابر ہو گا۔

$$i_J(t) = c_1 \cos \omega t + c_2 \sin \omega t$$

اس جبری حل کو مساوات 8.26 میں پُر کرتے ہوئے c_1 اور c_2 مستقل دریافت کرتے ہیں۔

$$R(c_1 \cos \omega t + c_2 \sin \omega t) + L(-c_1 \omega \sin \omega t + c_2 \omega \cos \omega t) = V_0 \cos \omega t$$

درج بالا مساوات میں دونوں اطراف $\cos \omega t$ کے عددی سر برابر ہوں گے۔اسی طرح دونوں اطراف $\sin \omega t$ کے عددی سر برابر ہوں گے۔

$$\begin{aligned} c_1 R + c_2 \omega L &= V_0 \\ -c_1 \omega L + c_2 R &= 0 \end{aligned}$$

ان ہمزاد مساوات کو c_1 اور c_2 کے لئے حل کرتے ہوئے درج ذیل ملتا ہے

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{RV_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \\ c_2 &= \frac{\omega L V_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \end{aligned}$$

لہٰذا جبری حل

$$i_J(t) = \frac{RV_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \cos \omega t + \frac{\omega L V_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \sin \omega t \tag{8.27}$$

ہو گا۔

مثال 8.8: درج بالا مثال میں $R = 100\,\Omega$ ، $L = 5\,\mathrm{mH}$ ، $V_0 = 310\,\mathrm{V}$ اور $\omega = 10\,\mathrm{krad\,s^{-1}}$ کی صورت میں جبری حل کو مساوات 8.24 کی مدد سے $i(t) = I_0 \cos(\omega t - \phi)$ کے طرز پر لکھیں۔

حل: مساوات 8.27 میں دی گئی قیمتیں پُر کرنے سے

$$i_J(t) = \frac{100 \times 310}{100^2 + (10\,000 \times 0.005)^2} \cos \omega t + \frac{10\,000 \times 0.005 \times 310}{100^2 + (10\,000 \times 0.005)^2} \sin \omega t$$

یعنی درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$i_J(t) = 2.48 \cos \omega t + 1.24 \sin \omega t \tag{8.28}$$

مساوات 8.24 سے جبری حل کی درکار صورت کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$i(t) = I_0 \cos(\omega t - \phi) = I_0 \cos\phi \cos\omega t + I_0 \sin\phi \sin\omega t \tag{8.29}$$

مساوات 8.28 میں $\cos \omega t$ اور $\sin \omega t$ کے عددی سر کو مساوات 8.29 کے عددی سر کے برابر پُر کرتے ہیں۔

$$I_0 \cos\phi = 2.48 \tag{8.30}$$
$$I_0 \sin\phi = 1.24 \tag{8.31}$$

ان ہمزاد مساوات کے مربع جمع کرتے ہوئے

$$I_0^2 \cos^2\phi + I_0^2 \sin^2\phi = 2.48^2 + 1.24^2$$

ملتا ہے جس میں مساوات 8.25 کے استعمال سے $\cos^2\phi + \sin^2\phi = 1$ پُر کرتے ہوئے

$$I_0 = \sqrt{2.48^2 + 1.24^2} = 2.7727$$

ملتا ہے۔اسی طرح مساوات 8.31 کو مساوات 8.30 سے تقسیم کرنے سے

$$\frac{\sin\phi}{\cos\phi} = \frac{1.24}{2.48} = \tan\phi$$

یعنی

$$\phi = \tan^{-1}\frac{1.24}{2.48} = \underline{/26.6^\circ}$$

ملتا ہے۔ یوں جبری حل درج ذیل لکھا جائے گا

$$i_J(t) = 2.77\cos(\omega t - 26.6^\circ) = 2.77\cos(10\,000t - 26.6^\circ) \tag{8.32}$$

جہاں سے ظاہر ہے کہ دباو سے رو 26.6° درجے پیچھے ہے۔ مخلوط جبری حل درج ذیل لکھا جائے گا جس کا حقیقی جزو درج بالا مساوات ہے۔

$$i_M(t) = 2.77e^{j(10\,000t - 26.6^\circ)} \tag{8.33}$$

مثال 8.9: مثال 8.8 کے طرز پر مثال 8.7 میں حاصل کئے گئے جبری حل کو $i_J(t) = I_0\cos(\omega t - \phi)$ کی صورت میں لکھیں۔

حل: مساوات 8.27 میں $\cos\omega t$ اور $\sin\omega t$ کے عددی سر کو مساوات 8.29 میں $\cos\omega t$ اور $\sin\omega t$ کے عددی سر کے برابر پُر کرتے ہوئے درج ذیل ملتا ہے۔

$$I_0\cos\phi = \frac{RV_0}{R^2 + \omega^2L^2}$$
$$I_0\sin\phi = \frac{\omega LV_0}{R^2 + \omega^2L^2}$$

ان ہمزاد مساوات میں دوسری مساوات کو پہلی سے تقسیم کرتے ہوئے

$$\frac{\sin\phi}{\cos\phi} = \tan\phi = \frac{\omega L}{R}$$

یعنی

$$\phi = \tan^{-1}\frac{\omega L}{R} \tag{8.34}$$

ملتا ہے جبکہ دونوں ہمزاد مساوات کے مربع کا مجموعہ لیتے ہوئے

$$\begin{aligned} I_0^2 \cos^2 \phi + I_0^2 \sin^2 \phi = I_0^2 &= \left(\frac{RV_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \right)^2 + \left(\frac{\omega L V_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \right)^2 \\ &= \frac{(R^2 + \omega^2 L^2) V_0^2}{(R^2 + \omega^2 L^2)^2} \\ &= \frac{V_0^2}{R^2 + \omega^2 L^2} \end{aligned}$$

یعنی

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \tag{8.35}$$

ملتا ہے۔یوں جبری حل درج ذیل لکھا جائے گا۔

$$i_J(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \cos \left(\omega t - \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} \right) \tag{8.36}$$

مساوات 8.36 سے ظاہر ہے کہ $L = 0$ کی صورت میں $\phi = 0$ ہو گا لہٰذا دباو اور رو ہم زاویہ ہوں گے جبکہ $R = 0$ کی صورت میں $\phi = 90°$ ہو گا لہٰذا دباو سے رو $90°$ درجے پیچھے ہو گی۔مزاحمت اور امالہ کے دیگر قیمتوں کی صورت میں دباو سے رو $0°$ تا $90°$ کے مابین کسی مخصوص درجے پر پیچھے رہے گی۔اسی لئے مزاحمت اور امالہ کے ادوار کو پیچھے رہنے والے ادوار کہا جاتا ہے۔

سلسلہ وار جڑے مزاحمت اور امالہ کے دور کا حل آپ نے دیکھا۔یقیناً اس دور کا حل سلسلہ وار جڑے دو عدد مزاحمتی دور کے حل سے کئی گنا مشکل تھا۔آپ خود تصور کر سکتے ہیں کہ زیادہ تعداد کے پرزوں کا دور حل کرنا کتنا مشکل ہو گا۔اسی مشکل کو مد نظر رکھتے ہوئے ہم **مخلوط تفاعل**[23] کو پیش کرتے ہیں جس سے ادوار کا حل انتہائی آسان ثابت ہوتا ہے۔

مخلوط تفاعل اور سائن نما تفاعل کا تعلق **یولر مساوات**[24]

$$e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t \qquad \text{یولر مساوات} \tag{8.37}$$

---

complex function[23]
Euler's equation[24]

دیتی ہے جہاں $j=\sqrt{-1}$ خیالی عدد ہے۔یولر مساوات میں $\cos \omega t$ **حقیقی**[25] مقدار اور $\sin \omega t$ **خیالی**[26] مقدار ہیں۔

حقیقی دنیا میں مخلوط جبری تفاعل نہیں پایا جاتا۔اس کے باوجود، دور پر سائن نما جبری تفاعل کی جگہ مخلوط جبری تفاعل مسلط کرتے ہوئے مخلوط حل حاصل کیا جا سکتا ہے۔مخلوط جبری تفاعل کو حقیقی جبری تفاعل اور خیالی جبری تفاعل کا مجموعہ تصور کیا جا سکتا ہے۔خطی ادوار میں مسئلہ نفاذ کے تحت تمام جبری تفاعل کی علیحدہ علیحدہ اثرات کا مجموعہ لیا جا سکتا ہے۔یوں جبری تفاعل کے حقیقی جزو سے حل کا حقیقی جزو جبکہ جبری تفاعل کے خیالی جزو سے حل کا خیالی جزو حاصل ہو گا۔یوں مخلوط حل کے خیالی جزو کو رد کرتے ہوئے حقیقی جزو کو سائن نما تفاعل کا رد عمل تسلیم کیا جاتا ہے۔اس ترکیب کو مثال کی مدد سے زیادہ آسانی سے سمجھا جا سکتا ہے۔

مثال 8.10: شکل 8.5 میں حقیقی جبری تفاعل $V_0 \cos \omega t$ کی جگہ مخلوط جبری تفاعل نسب کرتے ہوئے حقیقی $i(t)$ کے لئے حل کریں۔

حل: حقیقی جبری تفاعل $v(t)=V_0 \cos \omega t$ کی جگہ دور میں مخلوط جبری تفاعل $v(t)=V_0 e^{j\omega t}$ نسب کرتے ہوئے کرخوف مساوات لکھتے ہیں۔

$$Ri(t)+L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}=V_0 e^{j\omega t}$$

جبری تفاعل $e^{j\omega t}$ کا تفرق $j\omega e^{j\omega t}$ بھی جبری تفاعل ہی ہے لہٰذا درج بالا مساوات کا مخلوط حل $i_M(t)=I_0 e^{j\omega t}$ فرض کرتے ہیں جہاں I_0 نامعلوم مخلوط مستقل ہے۔اس حل کو درج بالا مساوات میں پُر کرتے ہوئے

$$RI_0 e^{j\omega t}+L\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(I_0 e^{j\omega t}\right)=V_0 e^{j\omega t}$$

درکار تفرق کے بعد

$$RI_0 e^{j\omega t}+j\omega L I_0 e^{j\omega t}=V_0 e^{j\omega t} \tag{8.38}$$

ملتا ہے جس کے دونوں اطراف کو $e^{j\omega t}$ سے تقسیم کرتے ہوئے درج ذیل ملتا ہے۔

$$RI_0+j\omega L I_0=V_0 \tag{8.39}$$

---

[25] real
[26] imaginary

اس سے I_0 حاصل کرتے ہیں۔

$$I_0=\frac{V_0}{R+j\omega L} \tag{8.40}$$

یوں مخلوط رو درج ذیل لکھی جا سکتی ہے۔

$$\begin{aligned} i_M(t)&=I_0e^{j\omega t}\\ &=\frac{V_0e^{j\omega t}}{R+j\omega L} \end{aligned} \tag{8.41}$$

ہمیں اس کا حقیقی جزو درکار ہے۔ یولر مساوات کی مدد سے درج بالا مساوات کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$i_M(t)=\frac{V_0(\cos\omega t+j\sin\omega t)}{R+j\omega L}$$

دائیں ہاتھ کسر کے بالائی اور نچلے حصے کو $R-j\omega t$ سے ضرب دیتے ہیں

$$\begin{aligned} i_M(t)&=\frac{V_0(\cos\omega t+j\sin\omega t)(R-j\omega L)}{(R+j\omega L)(R-j\omega L)}\\ &=\frac{V_0(R\cos\omega t+\omega L\sin\omega t)+jV_0(R\sin\omega t-\omega L\cos\omega t)}{R^2+\omega^2L^2} \end{aligned}$$

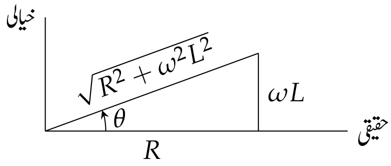
جہاں دوسرا قدم ترتیب دیتے ہوئے لکھا گیا ہے۔ اس کا حقیقی جزو درکار حل ہے

$$i(t)=\frac{V_0(R\cos\omega t+\omega L\sin\omega t)}{R^2+\omega^2L^2} \tag{8.42}$$

جو عین مساوات 8.27 ہی ہے۔

ہم مساوات 8.40 کے مخلوط مستقل I_0 کو زاویائی شکل میں لکھ کر بھی آگے بڑھ سکتے ہیں۔ مخلوط مستقل کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے

$$\begin{aligned} I_0&=\frac{V_0}{R+j\omega L}\\ &=\frac{V_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}\,\underline{/\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}}}\\ &=\frac{V_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}\,e^{j\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}}}\\ &=\frac{V_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}e^{-j\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}} \end{aligned}$$



شکل 8.6: مثال 8.10 کا شکل۔

جہاں دوسری قدم پر کسر کے نچلی حصے کو مساوات 8.3 کی مدد سے زاویائی صورت میں لکھا گیا ہے اور تیسری قدم پر یولر مساوات کا استعمال کیا گیا ہے۔زاویہ $\theta=\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$ کو شکل 8.6 میں دکھایا گیا ہے۔ یوں مخلوط رو درج ذیل لکھی جائے گی۔

$$
\begin{aligned}
i_M &= I_0e^{j\omega t}\\
&= \frac{V_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}e^{j\left(\omega t-\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\right)}
\end{aligned}
$$

اس مساوات میں $\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}=\theta$ لکھتے ہوئے حقیقی جزو لے کر حقیقی رو حاصل کرتے ہیں۔

$$
\begin{aligned}
i(t) &= \left.\frac{V_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}e^{j(\omega t-\theta)}\right|_{\text{حقیقی}}\\
&= \frac{V_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}\cos(\omega t-\theta)\\
&= \frac{V_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}\left(\cos\omega t\cos\theta+\sin\omega t\sin\theta\right)
\end{aligned}
$$

شکل 8.6 سے $\cos\theta=\frac{R}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}$ اور $\sin\theta=\frac{\omega L}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}$ پُر کرتے ہوئے

$$
\begin{aligned}
i(t) &= \frac{V_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}\left(\cos\omega t\frac{R}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}+\sin\omega t\frac{\omega L}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}\right)\\
&= \frac{V_0(R\cos\omega t+\omega L\sin\omega t)}{R^2+\omega^2L^2}
\end{aligned}
$$

8.4 دوری سمتیہ

درج بالا حصے میں ہم نے دیکھا کہ حقیقی جبری تفاعل کی جگہ مخلوط جبری تفاعل نسب کرتے ہوئے مخلوط حل حاصل کیا جا سکتا ہے جس کا حقیقی جزو حقیقی جبری رد عمل ہو گا۔ اس ترکیب کو مثال 8.10 میں استعمال کیا گیا جہاں مساوات 8.38 کو $e^{j\omega t}$ سے تقسیم کرتے ہوئے مساوات 8.39 حاصل کی گئی۔ مساوات 8.39 سے I_0 حاصل کی گئی جسے $e^{j\omega t}$ سے ضرب دیتے ہوئے مخلوط حل حاصل کیا گیا۔ مخلوط حل کا حقیقی جزو یعنی مساوات 8.42 درکار جواب ہے۔ مثال 8.8 میں مخصوص قیمتیں استعمال کرتے ہوئے مخلوط رو کو مساوات 8.33 میں پیش کیا گیا۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ جزو $e^{j\omega t}$ جوں کا توں مخلوط جبری تفاعل اور مخلوط جبری حل میں پایا جاتا ہے۔

حقیقت میں کسی بھی خطی دور پر مخلوط جبری تفاعل مثلاً

$$v_M = V_0 e^{j\omega t} \tag{8.43}$$

مسلط کرنے سے دور میں تمام رو کی صورت $i_M(t) = I_0 e^{j(\omega t+\phi)}$ اور دباو کی صورت $v_M(t) = V_0 e^{j(\omega t+\phi)}$ ہو گی جہاں تمام رو اور دباو کی تعدد ω جبکہ ان کے انفرادی حیطے I_0 یا V_0 اور زاویہ ہٹاو ϕ مختلف ہوں گے۔ یہاں حیطہ حقیقی مقدار ہے۔

یوں تعدد جانتے ہوئے کسی بھی مخلوط تفاعل مثلاً مخلوط رو کو اس کے حیطے I_0 اور زاویائی ہٹاو ϕ سے مکمل طور پر ظاہر کیا جا سکتا ہے۔ مخلوط تفاعل مثلاً

$$i_M(t) = I_0 e^{j(\omega t+\phi)} \tag{8.44}$$

سے حقیقی تفاعل درج ذیل

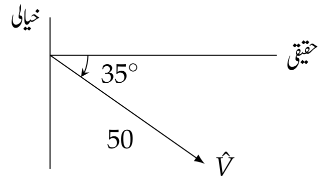
$$i(t) = \left. I_0 e^{j(\omega t+\phi)} \right|_{\text{حقیقی}} \tag{8.45}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں I_0 حقیقی مقدار ہے اور زیر نوشت میں لفظ "حقیقی" لکھنے کا مطلب ہے کہ اس تفاعل کا حقیقی جزو لیا جائے یعنی

$$i(t) = I_0 \cos(\omega t + \phi) \tag{8.46}$$

مساوات 8.45 حقیقی رو دیتی ہے۔ اس طرز کے تمام مساوات میں $e^{j\omega t}$ پایا جاتا ہے اور مساوات کا حقیقی جزو ہی حقیقی مقدار ہوتا ہے۔ یوں ایسے مساوات میں لفظ "حقیقی" اور $e^{j\omega t}$ کو ذہن میں رکھتے ہوئے انہیں لکھنے سے گریز کیا جاتا ہے۔ مساوات 8.45 میں ایسا ہی کرتے ہوئے درج ذیل لکھا جائے گا

$$\hat{I} = I_0 e^{j\phi} \tag{8.47}$$



شکل 8.7: مثال 8.11 کی دوری سمتیہ۔

جہاں رو کو ٹوپی والے بڑے حرف سے ظاہر کیا گیا ہے۔ دباو کی صورت میں تفاعل کو $\hat{V}$ لکھا جاتا۔ ٹوپی والے بڑے حرف سے ظاہر کردہ تفاعل کو $e^{j\omega t}$ سے ضرب دے کر حقیقی جزو لینے سے حقیقی تفاعل حاصل کیا جاتا ہے۔

مساوات 8.47 کا صفحہ 364 پر مساوات 8.7 سے موازنہ کریں۔ ایسا معلوم ہوتا ہے جیسے $\hat{I}$ مخلوط عدد کو ظاہر کرتا ہے۔ اگرچہ مساوات 8.47 در حقیقت میں مساوات 8.45 کو چھوٹا لکھنے کا طریقہ ہے لہٰذا $\hat{I}$ مخلوط عدد کو ظاہر نہیں کرتا لیکن دیکھا یہ گیا ہے کہ $\hat{I}$ کو مخلوط عدد تصور کر لینے سے ہمارے لئے آسانی پیدا ہوتی ہے۔ آئیں $\hat{V}$ کو مخلوط عدد فرض کرتے ہوئے اس کو مخلوط سطح پر ظاہر کریں۔

مثال 8.11: مخلوط دباو $v_M(t) = 50e^{j(100\pi t - 35^\circ)}$ سے $\hat{V}$ حاصل کرتے ہوئے $\hat{V}$ کو مخلوط سطح پر دکھائیں۔

حل: مخلوط دباو سے حقیقی دباو لکھتے ہیں۔

$$v(t) = 50e^{j(100\pi t - 35^\circ)}\Big|_{\text{حقیقی}}$$

اس مساوات کی تعدد $(\omega = 100\pi)$ کو ذہن نشین کرتے ہوئے لفظ "حقیقی" اور $e^{j100\pi t}$ لکھنے سے گریز کرتے ہوئے درج ذیل لکھا جائے گا

$$\begin{aligned}\hat{V} &= 50e^{-j35^\circ}\\ &= 50\underline{/-35^\circ}\end{aligned}$$

جسے شکل 8.7 میں مخلوط سطح پر دکھایا گیا ہے۔ حقیقی محدد سے گھڑی کی گردش کی جانب مثبت زاویہ ناپا جاتا ہے لہٰذا منفی زاویے کو گھڑی کی گردش کے الٹ جانب دکھایا گیا ہے۔ مخلوط اعداد اور $\hat{V}$ میں فرق رکھنے کی خاطر $\hat{V}$ کو مخلوط سطح پر تیر کی نشان سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

مثال 8.11 میں $\hat{V}$ کو مخلوط سطح پر تیر کے نشان سے ظاہر کیا گیا ہے جسے دیکھ کر یوں معلوم ہوتا ہے جیسے $\hat{V}$ ایک سمتیہ ہے۔اسی حقیقت کی بنا پر $\hat{V}$ یا $\hat{I}$ کو **دوری سمتیہ**[27] کہتے ہیں اور شکل 8.7 کو **دوری سمتی شکل**[28] کہتے ہیں۔

مخلوط عدد لکھنے کے تمام طرز پر دوری سمتیہ کو لکھا جاتا ہے لہٰذا درج ذیل لکھنا ممکن ہے۔

$$\begin{aligned}\hat{I} &= I_0 e^{j\phi} \\ &= I_0 \underline{/\phi} \\ &= I_x + jI_y\end{aligned} \tag{8.48}$$

دوری سمتیہ کا حیطہ حقیقی اور مثبت مقدار ہوتا ہے۔یوں درج بالا مساوات میں I_0 حقیقی مثبت مقدار ہے۔

مساوات 8.46 کو تفاعل کی **وقتی دائرہ کار**[29] صورت کہتے ہیں جبکہ مساوات 8.48 کو تفاعل کی **تعددی دائرہ کار**[30] صورت کہتے ہیں۔

مثال 8.12: درج ذیل تفاعل کے دوری سمتیہ دریافت کریں۔

$$v_1(t) = 20\cos(100t + 30^\circ), \quad v_2(t) = -40\sin(310t - 40^\circ), \quad i(t) = 22\cos(\omega t + 0.2\pi)$$

حل: دباو $v_1(t)$ کو مخلوط تفاعل کا حقیقی جزو لکھ کر

$$v_1(t) = 20e^{j(100t+30^\circ)}\Big|_{\text{حقیقی}}$$

تعدد کو ذہن نشین کرتے ہوئے، e^{j100t} نہ لکھتے ہوئے اور زیر نوشت میں لفظ "حقیقی" نہ لکھتے ہوئے دوری سمتیہ حاصل ہوتا ہے۔

$$\hat{V}_1 = 20e^{j30^\circ} = 20\underline{/30^\circ}$$

[27] phasor
[28] phasor diagram
[29] time domain
[30] frequency domain

اسی طرح $v_2(t)$ کو $\cos$ کی صورت میں یوں لکھتے ہیں کہ حیطہ مثبت لکھا جائے۔

$$v_2 = -40\sin(310t - 40^\circ) = 40\cos(310t - 40^\circ + 90^\circ) = 40\cos(310t + 50^\circ)$$

اس کو مخلوط تفاعل کا حقیقی جزو لکھتے ہیں۔

$$v_2 = 40e^{j(310t+50^\circ)}\Big|_{\text{حقیقی}}$$

اس مساوات کے زیر نوشت میں لفظ "حقیقی" نہ لکھتے ہوئے اور ساتھ ہی ساتھ e^{j310t} نہ لکھتے ہوئے دوری سمتیہ حاصل ہوتی ہے یعنی

$$\hat{V}_2 = 40e^{j50^\circ}$$

جس کو درج ذیل بھی لکھا جا سکتا ہے۔

$$\hat{V}_2 = 40\underline{/50^\circ}$$

رو کو بھی مخلوط تفاعل کا حقیقی جزو لکھ کر

$$i(t) = 22e^{j(\omega t+0.2\pi)}\Big|_{\text{حقیقی}}$$

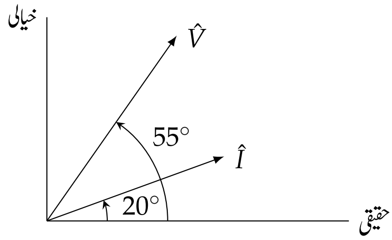
دوری سمتیہ حاصل کرتے ہیں۔

$$\hat{I} = 22e^{j0.2\pi} = 22\underline{/0.2\pi}$$

مشق 8.4: درج ذیل کو تعددی دائرہ کار میں لکھیں جہاں $\omega = 400\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$ ہے۔

$$\hat{I} = 35\underline{/44^\circ}, \quad \hat{V} = 12e^{j\frac{\pi}{4}}, \quad \hat{I} = 33\underline{/-77^\circ}$$

جوابات: $i(t) = 35\cos(400t + 44^\circ)$ ، $v(t) = 12\cos(400t + \frac{\pi}{4})$ ، $i(t) = 33\cos(400t - 77^\circ)$



شکل 8.8: دوری سمتیات۔

شکل 8.8 میں $\hat{I} = 25\underline{/20°}$ اور $\hat{V} = 30e^{j55°}$ کھینچے گئے ہیں جہاں سے دوری سمتیات کا زاویائی تعلق بھی ظاہر ہوتا ہے۔ شکل 8.8 میں دباو سے رو $33°$ درجے پیچھے ہے۔

کسی بھی حقیقی تفاعل مثلاً حقیقی دباو کو $v(t) = V_0 \cos(\omega t + \phi)$ صورت میں لکھتے ہوئے جہاں V_0 مثبت حقیقی مقدار ہو، V_0 اور ϕ استعمال کرتے ہوئے دوری سمتیہ فوراً

$$\hat{V} = V_0\underline{/\phi} \tag{8.49}$$

لکھا جا سکتا ہے۔

مثال 8.13: درج ذیل کے دوری سمتیات فوراً لکھیں۔

$$\begin{aligned}
i_1(t) &= 20\cos(132t - 27°)\\
v_1(t) &= -100\cos(20t - 60°)\\
i_2(t) &= -90\sin(450t - 100°)
\end{aligned}$$

حل: رو i_1 میں $I_0 = 20$ اور $\phi = -27°$ ہے لہٰذا درج ذیل لکھا جائے گا۔

$$\hat{I}_1 = 20\underline{/-27°}$$

دباو کا حیطہ منفی ہے لہٰذا مثبت حیطہ حاصل کرنے کی خاطر دباو کو درج ذیل لکھتے ہیں

$$v_1(t) = 100\cos(20t - 60^\circ + 180^\circ) = 100\cos(20t + 120^\circ)$$

جس سے دوری سمتیہ درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$\hat{V}_1 = 100\underline{/120^\circ}$$

رو $i_2(t)$ کو $i(t) = I_0\cos(\omega t + \phi)$ کی صورت میں لکھتے ہیں۔

$$i_2(t) = 90\cos(450t - 100^\circ + 90^\circ) = 90\cos(450t - 10^\circ)$$

یوں دوری سمتیہ درج ذیل ہو گا۔

$$\hat{I}_2 = 90\underline{/-10^\circ}$$

8.5 مزاحمت، امالہ گیر اور برق گیر کے انفرادی دوری سمتی تعلق

شکل 8.9 پر نظر رکھتے ہوئے پڑھیں۔ مزاحمت R پر مخلوط دباو $v(t) = V_0e^{j(\omega t+\phi_v)}$ مسلط کرنے سے مزاحمت میں مخلوط رو $i(t) = I_0e^{j(\omega t+\phi_i)}$ گزرے گی۔ اوہم کے قانون کے تحت

$$V_0e^{j(\omega t+\phi_v)} = RI_0e^{j(\omega t+\phi_i)}$$

یعنی

$$V_0e^{j\phi_v} = RI_0e^{j\phi_i}$$

ہو گا۔ اس کو دوری سمتیہ کی صورت میں

$$\hat{V} = R\hat{I} \tag{8.50}$$

لکھا جا سکتا ہے جہاں

$$\hat{V} = V_0e^{j\phi_v}$$
$$\hat{I} = I_0e^{j\phi_i}$$

یعنی

$$\hat{V} = V_0\underline{/\phi_v} \qquad \hat{I} = I_0\underline{/\phi_i} \tag{8.51}$$

کے برابر ہیں۔اس طرح مساوات 8.50 کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$V_0\underline{/\phi_v} = RI_0\underline{/\phi_i}$$

یاد رہے کہ دوری سمتیات میں V_0 اور I_0 حقیقی اور مثبت مقدار ہیں۔درج بالا مساوات میں بائیں ہاتھ اور دائیں ہاتھ کے مخلوط اعداد صرف اور صرف اس صورت برابر ہوں گے جب ان کے حیطے برابر ہوں اور ان کے زاویے برابر ہوں یعنی

$$V_0 = I_0R \qquad \phi_v = \phi_i \tag{8.52}$$

اس طرح مزاحمت کی رو اور دباو ہم زاویہ ہیں۔مساوات 8.52 کی مدد سے مساوات 8.51 درج ذیل صورت اختیار کرتے ہیں۔

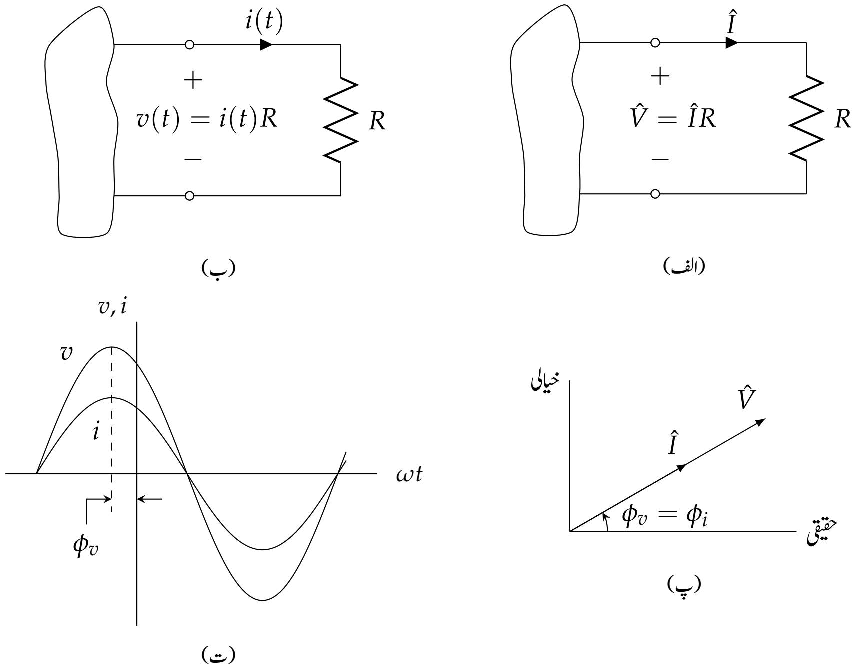
$$\hat{V} = V_0\underline{/\phi_v} \qquad \hat{I} = \frac{V_0}{R}\underline{/\phi_v} \tag{8.53}$$

شکل 8.9-پ میں مزاحمت کے $\hat{I}$ اور $\hat{V}$ دوری سمتیات دکھائے گئے ہیں جو تعددی تفاعل ہیں جبکہ شکل 8.9-ت میں مزاحمت کے $i(t)$ اور $v(t)$ دکھائے گئے ہیں جو وقتی تفاعل ہیں۔

مثال 8.14: شکل 8.9-ب میں $10\,\Omega$ کے مزاحمت پر $v(t) = 22\cos(30t - 66°)$ دباو مسلط کی گئی ہے۔ مزاحمت کے رو کو وقتی دائرہ کار میں لکھیں۔رو کی تعددی دائرہ کار صورت شکل 8.9-الف سے دریافت کریں۔

حل:اوہم کے قانون کی مدد سے رو کی وقتی دائرہ کار صورت معلوم کرتے ہیں۔

$$i(t) = \frac{v(t)}{R} = \frac{22\cos(30t - 66°)}{10} = 2.2\cos(30t - 66°)\,\text{A}$$



شکل 8.9: مزاحمت کے دباو اور رو کے تعددی اور وقتی تفاعل۔

آئیں اب رو کی تعددی دائرہ کار صورت حاصل کرتے ہیں۔ دوری دباو

$$\hat{V} = 22\underline{/-66^\circ}\,\mathrm{V}$$

ہے لہٰذا دوری رو درج ذیل ہو گی۔

$$\hat{I} = \frac{\hat{V}}{R} = \frac{22\underline{/-66^\circ}}{10} = 2.2\underline{/-66^\circ}\,\mathrm{A}$$

مشق 8.5: بارہ اوہم کے مزاحمت میں دوری رو $\hat{I} = 37\underline{/43^\circ}\,\mathrm{A}$ ہے جبکہ تعدد $\omega = 172\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$ ہے۔ دباو کی وقتی دائرہ کار صورت لکھیں۔

جواب: $v(t) = 444\cos(172t + 43^\circ)\,\mathrm{V}$

شکل 8.10 پر نظر رکھتے ہوئے پڑھیں۔ امالہ گیر کے دباو اور رو کا تعلق درج ذیل ہے۔

$$v = L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} \tag{8.54}$$

امالہ گیر پر مخلوط دباو $v(t) = V_0 e^{j(\omega t+\phi_v)}$ مسلط کرنے سے اس میں مخلوط رو $i(t) = I_0 e^{j(\omega t+\phi_i)}$ پیدا ہو گی۔ ان قیمتوں کو درج بالا مساوات میں پُر کرنے سے

$$\begin{aligned} V_0 e^{j(\omega t+\phi_v)} &= L\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left[I_0 e^{j(\omega t+\phi_i)}\right] \\ &= j\omega L I_0 e^{j(\omega t+\phi_i)} \end{aligned}$$

یعنی

$$V_0 e^{j\phi_v} = j\omega L I_0 e^{j\phi_i}$$

ملتا ہے جو دوری مساوات ہے۔ یہ دوری مساوات درج ذیل لکھی جائے گی۔

$$\hat{V} = j\omega L\hat{I} \tag{8.55}$$

آپ نے دیکھا کہ مساوات 8.54 جو تفرقی اور وقتی مساوات ہے سے مساوات 8.55 حاصل ہوتا ہے جو تعددی اور الجبرائی مساوات ہے۔ دوری سمتیات کی مدد سے تفرقی مساوات سے الجبرائی مساوات حاصل ہوتے ہیں۔ آپ جانتے ہیں کہ الجبرائی مساوات حل کرنا نہایت آسان ہوتا ہے جبکہ تفرقی مساوات کو حل کرنا دشوار ہوتا ہے۔ یہی وجہ ہے کہ دوری سمتیات اتنے مقبول ہیں۔

آپ جانتے ہیں کہ

$$\underline{/90^\circ} = e^{j90^\circ} = \cos 90^\circ + j\sin 90^\circ = j \tag{8.56}$$

لکھا جا سکتا ہے لہٰذا مساوات 8.55 کو

$$\hat{V} = \omega L\hat{I}e^{j90^\circ}$$

یعنی

$$V_0 e^{j\phi_v} = \omega L I_0 e^{j(\phi_i + 90^\circ)} \tag{8.57}$$

لکھا جا سکتا ہے۔ مساوات 8.57 میں دونوں ہاتھ کے مخلوط اعداد صرف اور صرف اس وقت برابر ہوں گے جب ان کے حیطے برابر ہوں اور ان کے زاویے برابر ہوں لہٰذا اس مساوات کے تحت

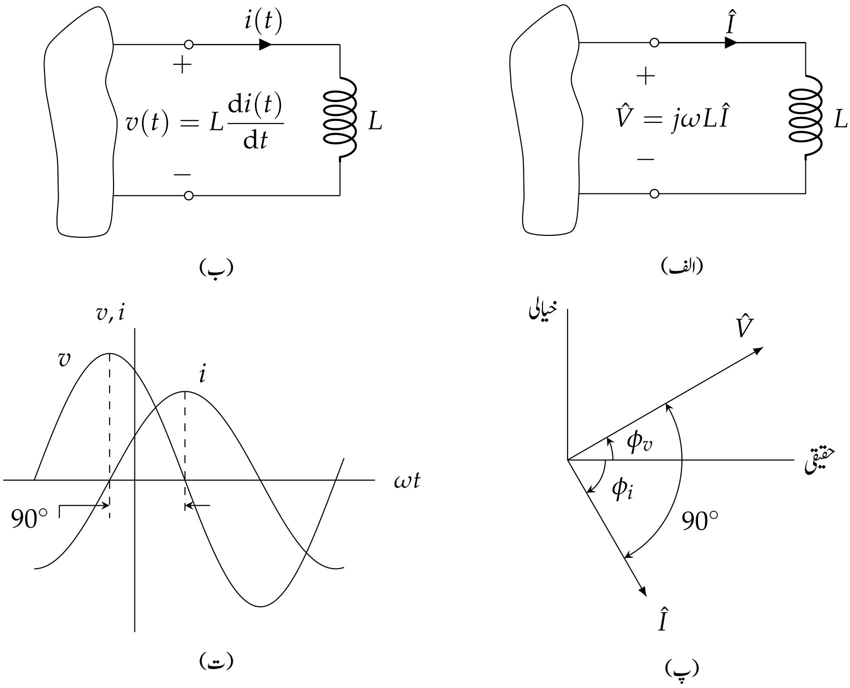
$$\begin{aligned} V_0 &= \omega L I_0 \\ \phi_v &= \phi_i + 90^\circ \end{aligned} \tag{8.58}$$

ہوں گے۔ یوں دباو کا زاویہ، رو کے زاویے سے 90° درجے زیادہ ہے لہٰذا رو سے دباو 90° درجے آگے ہے یا دباو سے رو 90° پیچھے ہے۔ شکل 8.10-پ میں دوری سمتیات دکھائے گئے ہیں جہاں دباو سے رو 90° درجے پیچھے دکھایا گیا ہے۔

مساوات 8.57 سے وقتی مساوات درج ذیل لکھی جائے گی جہاں مساوات 8.58 کے تحت $\phi_v = \phi_i + 90^\circ$ ہو گا۔

$$V_0 \cos(\omega t + \phi_v) = \omega L I_0 \cos(\omega t + \phi_i + 90^\circ) \tag{8.59}$$

درج بالا مساوات میں دیے دباو اور رو کو شکل 8.10-ت میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 8.10: امالہ کے دباو اور رو کے تعددی اور وقتی تفاعل۔

مثال 8.15: شکل 8.10 میں $4\,\mathrm{mH}$ امالہ گیر پر $v(t) = 12\cos(1000t + 22^\circ)$ دباو مسلط کی جاتی ہے۔امالہ گیر کی رو دریافت کریں۔

حل: دوری سمتیہ دباو درج ذیل ہے۔

$$\hat{V} = 12\underline{/22^\circ}$$

مساوات 8.55 کی مدد سے دوری سمتیہ رو حاصل کرتے ہیں

$$\begin{aligned}
\hat{I} &= \frac{\hat{V}}{j\omega L} \\
&= \frac{12\underline{/22^\circ}}{j1000 \times 0.004} \\
&= \frac{12\underline{/22^\circ}}{4\underline{/90^\circ}} \\
&= 3\underline{/-68^\circ}\,\mathrm{A}
\end{aligned}$$

جہاں مساوات 8.56 کا استعمال کرتے ہوئے $j = \underline{/90^\circ}$ لکھا گیا ہے۔یوں رو کی وقتی دائرہ کار صورت درج ذیل ہو گی۔

$$i(t) = 3\cos(1000t - 68^\circ)\,\mathrm{A}$$

مشق 8.6: امالہ کی قیمت $10\,\mathrm{mH}$ جبکہ اس میں رو $\hat{I} = 8\underline{/44^\circ}$ کی تعدد $500\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$ ہے۔دباو کی وقتی دائرہ کار صورت دریافت کریں۔

جواب: $v(t) = 40\cos(500t + 134^\circ)\,\mathrm{V}$

شکل 8.11 پر نظر رکھتے ہوئے پڑھیں جہاں برق گیر پر دباو $v(t) = V_0\cos(\omega t+\phi_v)$ مسلط کی گئی ہے۔ برق گیر کی تفرقی مساوات

$$i(t) = C\frac{\mathrm{d}v(t)}{\mathrm{d}t} \tag{8.60}$$

میں مخلوط دباو اور مخلوط رو پُر کرتے ہوئے

$$\begin{aligned} I_0 e^{j(\omega t+\phi_i)} &= C\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left[V_0 e^{j(\omega t+\phi_v)}\right] \\ &= j\omega C V_0 e^{j(\omega t+\phi_v)} \end{aligned}$$

یعنی

$$I_0 e^{j\phi_i} = j\omega C e^{j\phi_v}$$

حاصل ہوتا ہے جس کو دوری سمتیہ کی صورت میں لکھتے ہیں۔

$$\hat{I} = j\omega C\hat{V} \tag{8.61}$$

مساوات 8.60 برق گیر کی تفرقی مساوات ہے جبکہ مساوات 8.61 برق گیر کی الجبرائی مساوات ہے۔

مساوات 8.61 میں $j = e^{j90^\circ}$ لکھنے سے درج ذیل ملتا ہے۔

$$I_0 e^{j\phi_i} = \omega C e^{j(\phi_v+90^\circ)} \tag{8.62}$$

اس مساوات کے دونوں اطراف صرف اور صرف اس صورت برابر ہو سکتے ہیں جب دونوں اطراف کے حیطے برابر ہوں اور ان کے زاویے برابر ہوں۔

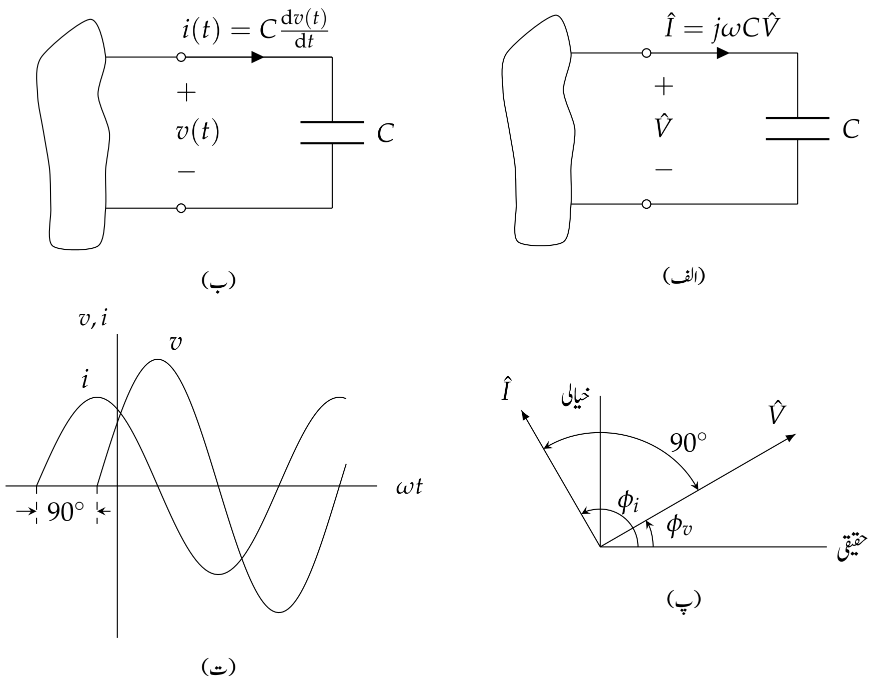
$$\begin{aligned} I_0 &= \omega C V_0 \\ \phi_i &= \phi_v + 90^\circ \end{aligned} \tag{8.63}$$

درج بالا مساوات کے تحت دباو سے رو 90° درجے آگے ہے۔

مساوات 8.62 سے وقتی دائرہ کار صورت لکھتے ہیں جہاں درج بالا مساوات کے تحت $\phi_i = \phi_v + 90^\circ$ ہو گا۔

$$I_0\cos(\omega t+\phi_i) = \omega C V_0\cos(\omega t+\phi_v+90^\circ) \tag{8.64}$$

شکل 8.11-پ میں دوری سمتیات دکھائے گئے ہیں جبکہ شکل-ت میں دباو اور رو کی وقتی دائرہ کار صورت دکھائی گئی ہے۔



شکل 8.11: برق گیر کے دباؤ اور رو کے تعددی اور وقتی تفاعل۔

مثال 8.16: شکل 8.11 میں $100\,\mu\mathrm{F}$ برق گیر پر $v(t) = 7\cos(5000t - 60^\circ)\,\mathrm{V}$ کا دباو مسلط کیا گیا ہے۔ رو حاصل کریں۔

حل: مسلط دباو کی دوری سمتیہ لکھتے ہیں۔

$$\hat{V} = 7\underline{/-60^\circ}$$

یوں رو درج ذیل ہو گی

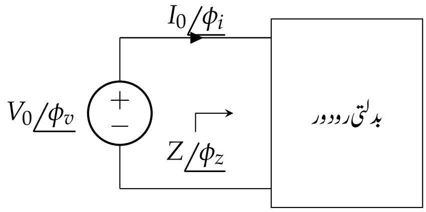
$$\begin{aligned}
\hat{I} &= j\omega C\hat{V}\\
&= j5000 \times 100 \times 10^{-6} 7\underline{/-60^\circ}\\
&= 3.5\underline{/-60^\circ + 90^\circ}\\
&= 3.5\underline{/30^\circ}\,\mathrm{A}
\end{aligned}$$

جس کی وقتی دائرہ کار صورت درج ذیل ہے۔

$$i(t) = 3.5\cos(5000t + 30^\circ)\,\mathrm{A}$$

مشق 8.7: شکل 8.11 میں $330\,\mu\mathrm{F}$ برق گیر کی رو $\hat{I} = 11\underline{/-12^\circ}\,\mathrm{A}$ ہے۔ رو کی تعدد $6000\,\mathrm{Hz}$ ہے۔ دباو کی وقتی دائرہ کار صورت حاصل کریں۔

جواب: $v(t) = 0.884\cos(12000\pi t - 102^\circ)\,\mathrm{V}$



شکل 8.12: برقی رکاوٹ کی تعریف۔

8.6 برقی رکاوٹ اور برقی فراوانی

قانون اوہم کے تحت برقی مزاحمت کو $R = \frac{V}{I}$ لکھا جا سکتا ہے۔ بالکل اسی طرح، شکل 8.12 میں دوری سمتیہ دباو اور دوری سمتیہ رو کی شرح کو **برقی رکاوٹ**[31] کہتے اور Z سے ظاہر کرتے ہیں۔

$$\boldsymbol{Z} = \frac{\hat{V}}{\hat{I}} \tag{8.65}$$

برقی رکاوٹ کو عموماً رکاوٹ کہا جاتا ہے۔ چونکہ $\hat{V}$ اور $\hat{I}$ مخلوط اعداد ہیں لہٰذا $\mathbf{Z}$ بھی مخلوط عدد ہو گا۔

$$\boldsymbol{Z} = \frac{V_0\angle\phi_v}{I_0\angle\phi_i} = \frac{V_0}{I_0}\angle\phi_v - \phi_i = Z_0\angle\phi_z \tag{8.66}$$

چونکہ دباو اور رو کی شرح کو اوہم Ω میں ناپتے ہیں لہٰذا رکاوٹ کی اکائی بھی اوہم ہے۔ یوں بدلتی رو دور کی رکاوٹ یک سمتی رو دور کی مزاحمت کی مانند ہے۔ رکاوٹ کو مستطیل طرز میں بھی لکھا جا سکتا ہے

$$\boldsymbol{Z}(\omega) = R(\omega) + jX(\omega) \tag{8.67}$$

جہاں R حقیقی جزو یعنی **مزاحمت**[32] ہے جبکہ X خیالی جزو یعنی **متعاملیت**[33] ہے۔ رکاوٹ مخلوط عدد ہے ناکہ دوری سمتیہ چونکہ دوری سمتیہ سائن نما تفاعل کو ظاہر کرتی ہے جبکہ رکاوٹ سائن نما تفاعل نہیں ہے۔

کسی بھی مخلوط عدد کی طرح، رکاوٹ کو بھی مستطیل طرز اور زاویائی طرز میں لکھا جا سکتا ہے

$$\boldsymbol{Z} = Z\angle\phi_z = R + jX \tag{8.68}$$

---

[31] impedance
[32] resistive
[33] reactance

جہاں ایک طرز سے دوسری طرز میں تبادلہ درج ذیل مساوات سے کیا جاتا ہے۔

$$
\begin{aligned}
R &= Z\cos\phi_z \\
X &= Z\sin\phi_z \qquad \text{زاویائی سے مستطیل طرز}
\end{aligned}
\tag{8.69}
$$

$$
\begin{aligned}
Z &= \sqrt{R^2+X^2} \\
\phi_z &= \tan^{-1}\frac{X}{R} \qquad \text{مستطیل سے زاویائی طرز}
\end{aligned}
\tag{8.70}
$$

مساوات 8.65 رکاوٹ کی تعریف ہے۔اسے استعمال کرتے ہوئے مساوات 8.50، مساوات 8.55 اور مساوات 8.61 سے بالترتیب مزاحمت، امالہ گیر اور برق گیر کی رکاوٹ لکھتے ہیں۔

$$
\begin{aligned}
Z_R &= R \\
Z_L &= j\omega L = jX_L \\
Z_C &= \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C} = -jX_C
\end{aligned}
\tag{8.71}
$$

درج بالا میں برق گیر کی رکاوٹ لکھتے ہوئے $\frac{1}{j} = \frac{1\times j}{j\times j} = \frac{j}{-1} = -j$ کا استعمال کیا گیا ہے۔یوں امالی متعاملیت اور برق گیری متعاملیت درج ذیل ہیں۔

$$
\begin{aligned}
X_L &= \omega L \\
X_C &= \frac{1}{\omega C}
\end{aligned}
\tag{8.72}
$$

مشق 8.8: مزاحمت $R = 30\,\Omega$، امالہ $L = 20\,\mathrm{mH}$ اور برق گیر $C = 2000\,\mu\mathrm{F}$ کی رکاوٹ $100\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$، $1000\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$ اور $9000\,\mathrm{Hz}$ تعدد پر دریافت کریں۔

جوابات: پہلی تعدد پر $Z_R = 30\,\Omega$، $Z_L = j2\,\Omega$، $Z_C = -j5\,\Omega$ ہیں۔
دوسری تعدد پر $Z_R = 30\,\Omega$، $Z_L = j20\,\Omega$، $Z_C = -j0.5\,\Omega$ ہیں۔
تیسری تعدد پر $Z_R = 30\,\Omega$، $Z_L = j1131\,\Omega$، $Z_C = -j0.00884\,\Omega$ ہیں۔

قوانین کرخوف وقتی دائرہ کار کے علاوہ تعددی دائرہ کار میں بھی لاگو ہوتے ہیں۔ صفحہ 55 پر حصہ 2.5 میں سلسلہ وار جڑے مزاحمتوں کا مساوی مزاحمت مساوات 2.33 میں حاصل کیا گیا۔ اسی طرح صفحہ 61 پر حصہ 2.8 میں متعدد مساوی مزاحمتوں کا مساوی مزاحمت مساوات 2.47 میں پیش کیا گیا۔ بالکل اسی طرح متعدد سلسلہ وار جڑے رکاوٹ اور متعدد متوازی رکاوٹ کے مساوی رکاوٹ حاصل کی جا سکتی ہے۔ مشق میں آپ سے ایسا ہی کرنے کو کہا گیا ہے۔

مساوات 8.73 متعدد سلسلہ وار رکاوٹ کی مساوی رکاوٹ دیتی ہے جبکہ مساوات 8.74 متعدد متوازی رکاوٹوں کی مساوی رکاوٹ دیتی ہے۔

$$\boldsymbol{Z}_s = \boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3 + \cdots + \boldsymbol{Z}_n \quad \text{سلسلہ وار رکاوٹوں کا مساوی رکاوٹ} \tag{8.73}$$

$$\frac{1}{\boldsymbol{Z}_m} = \frac{1}{\boldsymbol{Z}_1} + \frac{1}{\boldsymbol{Z}_2} + \frac{1}{\boldsymbol{Z}_3} + \cdots + \frac{1}{\boldsymbol{Z}_n} \quad \text{متوازی رکاوٹوں کا مساوی رکاوٹ} \tag{8.74}$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ یہ مساوات ہو بہو مزاحمتوں کی مساوات کی طرح ہیں۔

مشق 8.9: صفحہ 56 پر شکل 2.23 میں سلسلہ وار مزاحمت جڑے دکھائے گئے ہیں۔ مزاحمتوں کی جگہ رکاوٹ نسب کرتے ہوئے، مخلوط دباو اور مخلوط رو کے استعمال سے مساوی رکاوٹ کی مساوات حاصل کریں۔ اسی طرح متعدد رکاوٹوں کو متوازی جوڑتے ہوئے ان کا مساوی رکاوٹ حاصل کریں۔

جوابات: مساوات 8.73 اور مساوات 8.74

مثال 8.17: متعدد برق گیر سلسلہ وار جڑے ہیں۔ ان کی انفرادی رکاوٹیں استعمال کرتے ہوئے مساوی رکاوٹ حاصل کریں۔ مساوی رکاوٹ سے مساوی برقی گیر دریافت کریں۔

حل: برق گیر C_1 تا C_n کی ω تعدد پر رکاوٹیں $\frac{1}{j\omega C_1}$ ، $\frac{1}{j\omega C_2}$ ، $\cdots$ ، $\frac{1}{j\omega C_n}$ ہوں گی۔ان کے مساوی برق گیر کو C_s کہتے ہوئے مساوی رکاوٹ $\frac{1}{j\omega C_s}$ لکھا جائے گا۔یوں مساوات 8.73 کے تحت درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$\frac{1}{j\omega C_s} = \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + \frac{1}{j\omega C_3} + \cdots + \frac{1}{j\omega C_n}$$

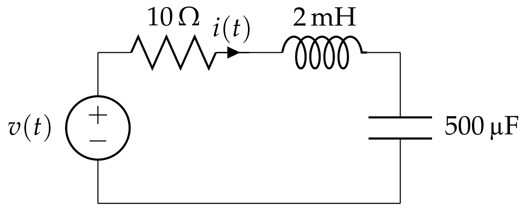
اس مساوات کے دونوں اطراف کو $j\omega$ سے ضرب دیتے ہوئے درج ذیل ملتا ہے جو عین مساوات 6.22 ہی ہے۔

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

مشق 8.10: متعدد برق گیر متوازی جڑے ہیں۔ان کی رکاوٹیں استعمال کرتے ہوئے مساوات 8.74 کی مدد سے ان کا مساوی رکاوٹ حاصل کریں۔مساوی رکاوٹ سے مساوی برق گیر کی مساوات حاصل کریں۔متعدد متوازی برق گیر کا مساوی برق گیر مساوات 6.25 دیتی ہے۔

مشق 8.11: متعدد امالہ گیر متوازی جڑے ہیں۔ان کی رکاوٹیں استعمال کرتے ہوئے مساوات 8.74 کی مدد سے ان کا مساوی رکاوٹ حاصل کریں۔مساوی رکاوٹ سے مساوی امالہ گیر کی مساوات حاصل کریں۔

جواب: صفحہ 284 پر مساوات 6.29



شکل 8.13: مثال 8.18 کا دور۔

مشق 8.12: متعدد امالہ گیر سلسلہ جڑے ہیں۔ان کی رکاوٹیں استعمال کرتے ہوئے مساوات 8.73 کی مدد سے ان کا مساوی رکاوٹ حاصل کریں۔مساوی رکاوٹ سے مساوی امالہ گیر کی مساوات حاصل کریں۔

جواب: صفحہ 281 پر مساوات 6.27

مثال 8.18: شکل 8.13 میں منبع دباو کو درپیش مساوی رکاوٹ $50\,\mathrm{Hz}$ اور $2000\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$ تعدد پر دریافت کریں۔دباو $v(t) = 30\cos(\omega t + 45^\circ)\,\mathrm{V}$ کی صورت میں دونوں تعدد پر وقتی دائرہ کار میں رو دریافت کریں۔

حل: مساوات 8.71 سے انفرادی پرزوں کی رکاوٹ $50\,\mathrm{Hz}$ تعدد پر حاصل کرتے ہیں۔

$$
\begin{aligned}
Z_R &= 10\,\Omega\\
Z_L &= j2\pi \times 50 \times 2 \times 10^{-3} = j0.6283\,\Omega\\
Z_C &= \frac{1}{j2\pi \times 50 \times 500 \times 10^{-6}} = -j6.3662\,\Omega
\end{aligned}
$$

چونکہ تمام پرزے سلسلہ وار جڑے ہیں لہٰذا ان کا مساوی رکاوٹ درج ذیل ہو گا۔

$$
\boldsymbol{Z}_s = 10 + j0.6283 - j6.3662 = 10 - j5.7379\,\Omega
$$

دباو کو دوری سمتیہ صورت میں لکھتے ہوئے تعددی دائرہ کار میں رو حاصل کرتے ہیں۔

$$
\hat{I} = \frac{\hat{V}}{\boldsymbol{Z}_s} = \frac{30\underline{/45^\circ}}{10 - j5.7379} = \frac{30\underline{/45^\circ}}{11.5292\underline{/-29.85^\circ}} = 2.6\underline{/74.85^\circ}\,\mathrm{A}
$$

اس سے وقتی دائرہ کار میں رو لکھتے ہیں۔

$$i(t) = 2.6\cos(100\pi t + 74.85^\circ)\,\mathrm{A}$$

اب $2000\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$ پر قیمتیں دریافت کرتے ہیں۔انفرادی رکاوٹ درج ذیل ہیں

$$\begin{aligned}
Z_R &= 10\,\Omega\\
Z_L &= j2000 \times 2 \times 10^{-3} = j4\,\Omega\\
Z_C &= \frac{1}{j2000 \times 500 \times 10^{-6}} = -j1\,\Omega
\end{aligned}$$

جن سے مساوی رکاوٹ درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$\boldsymbol{Z}_s = 10 + j4 - j1 = 10 + j3 = 10.44\underline{/16.7^\circ}\,\Omega$$

یوں دوری رو درج ذیل ہو گی

$$\hat{I} = \frac{30\underline{/45^\circ}}{10.44\underline{/16.7^\circ}} = 2.87\underline{/28.3^\circ}$$

جس سے وقتی دائرہ کار میں رو لکھتے ہیں۔

$$i(t) = 2.87\cos(2000t + 28.3^\circ)\,\mathrm{A}$$