

انجینئری حساب

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

عنوان

v میری پہلی کتاب کا دیباچہ

1	درجہ اول سادہ تفرقی مساوات	1
2	1.1 نمونہ کشی	
13	1.2 $y' = f(x, y)$ کا جیومیٹریائی مطلب۔ میدان کی سمت اور ترکیب یولر۔	
22	1.3 قابل علیحدگی سادہ تفرقی مساوات	
40	1.4 قطعی سادہ تفرقی مساوات اور جزو مکمل	
52	1.5 خطی سادہ تفرقی مساوات۔ مساوات برنولی	
70	1.6 عمودی خطوط کی نسلیں	
74	1.7 ابتدائی قیمت تفرقی مساوات: حل کی وجودیت اور یکنائیت	
81	2 درجہ دوم سادہ تفرقی مساوات	2
81	2.1 متجانس خطی دو درجہ تفرقی مساوات	
98	2.2 مستقل عددی سروالے متجانس خطی سادہ تفرقی مساوات	
113	2.3 تفرقی عامل	
117	2.4 اسپرنگ سے جڑی کمیت کی آزادانہ ارتعاش	
132	2.5 یولر روشی مساوات	
141	2.6 حل کی وجودیت اور یکنائیت؛ ورونسکی	
150	2.7 غیر متجانس سادہ تفرقی مساوات	
162	2.8 جبری ارتعاش۔ گمک	
168	2.8.1 برقرار حال حل کا جیٹ۔ عملی گمک	
172	2.9 برقی ادوار کی نمونہ کشی	
183	2.10 مقدار معلوم بدلنے کے طریقے سے غیر متجانس خطی سادہ تفرقی مساوات کا حل	
191	3 بلند درجہ خطی سادہ تفرقی مساوات	3
191	3.1 متجانس خطی سادہ تفرقی مساوات	
203	3.2 مستقل عددی سروالے متجانس خطی سادہ تفرقی مساوات	

- 3.3 غیر متجانس خطی سادہ تفرقی مساوات 212
- 3.4 مقدار معلوم بدلنے کے طریقے سے غیر متجانس خطی سادہ تفرقی مساوات کا حل 215

- 4 نظام تفرقی مساوات 223
- 4.1 قالب اور سمتیہ کے بنیادی حقائق 224
- 4.2 سادہ تفرقی مساوات کے نظام بطور انجینئری مسائل کے نمونے 233
- 4.3 نظریہ نظام سادہ تفرقی مساوات اور ورنسکی 248
- 4.3.1 خطی نظام 249
- 4.4 مستقل عددی سروالے نظام۔ سطح مرحلہ کی ترکیب 252

- اضافی ثبوت 173

میری پہلی کتاب کا دیباچہ

گزشتہ چند برسوں سے حکومتِ پاکستان اعلیٰ تعلیم کی طرف توجہ دے رہی ہے جس سے ملک کی تاریخ میں پہلی مرتبہ اعلیٰ تعلیمی اداروں میں تحقیق کا رجحان پیدا ہوا ہے۔ امید کی جاتی ہے کہ یہ سلسلہ جاری رہے گا۔

پاکستان میں اعلیٰ تعلیم کا نظام انگریزی زبان میں رائج ہے۔ دنیا میں تحقیقی کام کا بیشتر حصہ انگریزی زبان میں ہی چھپتا ہے۔ انگریزی زبان میں ہر موضوع پر لاتعداد کتابیں پائی جاتی ہیں جن سے طلبہ و طالبات استفادہ کر سکتے ہیں۔

ہمارے ملک میں طلبہ و طالبات کی ایک بہت بڑی تعداد بنیادی تعلیم اردو زبان میں حاصل کرتی ہے۔ ان کے لئے انگریزی زبان میں موجود مواد سے استفادہ حاصل کرنا تو ایک طرف، انگریزی زبان از خود ایک رکاوٹ کے طور پر ان کے سامنے آتی ہے۔ یہ طلبہ و طالبات ذہین ہونے کے باوجود آگے بڑھنے اور قوم و ملک کی بھرپور خدمت کرنے کے قابل نہیں رہتے۔ ایسے طلبہ و طالبات کو اردو زبان میں نصاب کی اچھی کتابیں درکار ہیں۔ ہم نے قومی سطح پر ایسا کرنے کی کوئی خاطر خواہ کوشش نہیں کی۔

میں برسوں تک اس صورت حال کی وجہ سے پریشانی کا شکار رہا۔ کچھ کرنے کی نیت رکھنے کے باوجود کچھ نہ کر سکتا تھا۔ میرے لئے اردو میں ایک صفحہ بھی لکھنا ناممکن تھا۔ آخر کار ایک دن میں نے اپنی اس کمزوری کو کتاب نہ لکھنے کا جواز بنانے سے انکار کر دیا اور یوں یہ کتاب وجود میں آئی۔

یہ کتاب اردو زبان میں تعلیم حاصل کرنے والے طلبہ و طالبات کے لئے نہایت آسان اردو میں لکھی گئی ہے۔ کوشش کی گئی ہے کہ اسکول کی سطح پر نصاب میں استعمال ممکن کی الفاظ ہی استعمال کئے جائیں۔ جہاں ایسے الفاظ موجود نہ تھے وہاں روزمرہ میں استعمال ہونے والے الفاظ چنے گئے۔ ممکن کی الفاظ کی چٹائی کے وقت اس بات کا دہان رکھا گیا کہ ان کا استعمال دیگر مضامین میں بھی ممکن ہو۔

کتاب میں بین الاقوامی نظام اکائی استعمال کی گئی ہے۔ اہم متغیرات کی علامتیں وہی رکھی گئی ہیں جو موجودہ نظام تعلیم کی نصابی کتابوں میں رائج ہیں۔ یوں اردو میں لکھی اس کتاب اور انگریزی میں اسی مضمون پر لکھی کتاب پڑھنے والے طلبہ و طالبات کو ساتھ کام کرنے میں دشواری نہیں ہوگی۔

امید کی جاتی ہے کہ یہ کتاب ایک دن خالصتاً اردو زبان میں انجینئرنگ کی نصابی کتاب کے طور پر استعمال کی جائے گی۔ اردو زبان میں الیکٹریکل انجینئرنگ کی مکمل نصاب کی طرف یہ پہلا قدم ہے۔

اس کتاب کے پڑھنے والوں سے گزارش کی جاتی ہے کہ اسے زیادہ سے زیادہ طلبہ و طالبات تک پہنچانے میں مدد دیں اور انہیں جہاں اس کتاب میں غلطی نظر آئے وہ اس کی نشاندہی میری ای۔ میل پر کریں۔ میں ان کا نہایت شکر گزار ہوں گا۔

اس کتاب میں تمام غلطیاں مجھ سے ہی ڈلی ہیں البتہ اسے درست بنانے میں بہت لوگوں کا ہاتھ ہے۔ میں ان سب کا شکریہ ادا کرتا ہوں۔ یہ سلسلہ ابھی جاری ہے اور مکمل ہونے پر ان حضرات کے تاثرات یہاں شامل کئے جائیں گے۔

میں یہاں کامیٹ یونیورسٹی اور ہائر ایجوکیشن کمیشن کا شکریہ ادا کرنا چاہتا ہوں جن کی وجہ سے ایسی سرگرمیاں ممکن ہوئیں۔

خالد خان یوسفزئی

28 اکتوبر 2011

باب 4

نظام تفرقی مساوات

گزشتہ باب میں آپ نے بلند درجی سادہ تفرقی مساوات کو حل کرنا سیکھا۔ اس باب میں سادہ تفرقی مساوات حل کرنے کا نیا طریقہ دکھایا جائے گا جس میں n درجی سادہ تفرقی مساوات سے n عدد درجہ اول سادہ تفرقی مساوات کا نظام حاصل کیا جائے گا۔ اس نظام کو حل کرنا بھی سکھایا جائے گا۔ تفرقی مساوات کے نظام کو قالب اور سمتیہ کی صورت میں لکھنا زیادہ مفید ثابت ہوتا ہے لہذا حصہ 4.1 میں قالب اور سمتیہ کے بنیادی حقائق پر غور کیا جائے گا۔

اسی باب میں تفرقی مساوات کے نظام کو حل کرنے کی بجائے تمام مساوات کی مجموعی طرز عمل پر غور کیا جائے گا جس سے نظام کے حل کی توازن¹ کے بارے میں معلومات حاصل ہوتی ہے۔ انجینئری میں متوازن نظام اہمیت رکھتے ہیں۔ متوازن نظام میں کسی لمحے پر معمولی تبدیلی، بعد کے لمحات پر معمولی تبدیلی ہی پیدا کرتی ہے۔ اس ترکیب سے مساوات کا اصل حل دریافت نہیں ہوتا لہذا اس کو کیفی ترکیب² کہتے ہیں۔ جس ترکیب سے نظام کا اصل حل حاصل ہوتا ہو اس کو مقداری ترکیب³ کہتے ہیں۔

stability¹
qualitative method²
quantitative method³

4.1 قالب اور سمتیہ کے بنیادی حقائق

تفرقی مساوات کے نظام پر غور کے دوران قالب اور سمتیات استعمال کئے جائیں گے۔

دو عدد خطی سادہ تفرقی مساوات کے نظام

$$(4.1) \quad \begin{aligned} y_1' &= a_{11}y_1 + a_{12}y_2 & y_1' &= 2y_1 - 7y_2 \\ y_2' &= a_{21}y_1 + a_{22}y_2 & y_2' &= 5y_1 + y_2 \end{aligned} \quad \text{یا}$$

میں دو عدد نامعلوم تفاعل $y_1(t)$ اور $y_2(t)$ پائے جاتے ہیں۔ ان مساوات میں دائیں جانب اضافی تفاعل $g_1(t)$ اور $g_2(t)$ بھی موجود ہو سکتے ہیں۔ اسی طرح n عدد درجہ اول سادہ تفرقی مساوات پر مبنی نظام

$$(4.2) \quad \begin{aligned} y_1' &= a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \cdots + a_{1n}y_n \\ y_2' &= a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + \cdots + a_{2n}y_n \\ &\vdots \\ y_n' &= a_{n1}y_1 + a_{n2}y_2 + \cdots + a_{nn}y_n \end{aligned}$$

میں $y_1(t)$ تا $y_n(t)$ نامعلوم تفاعل پائے جائیں گے۔ درج بالا ہر مساوات میں دائیں جانب اضافی تفاعل بھی پائے جاسکتے ہیں۔

تکنیکی اصطلاحات

قالب

نظام 4.1 کے عددی سر (جو مستقل یا متغیرات ممکن ہیں) کو 2×2 قالب A کی صورت میں لکھا جاسکتا ہے۔

$$(4.3) \quad A = [a_{jk}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad \text{یا} \quad A = [a_{jk}] = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ -1 & \frac{2}{3} \end{bmatrix}$$

matrix⁴

اسی طرح نظام 4.2 کے عددی سر کو $n \times n$ قالب کی صورت میں لکھا جاسکتا ہے۔

$$(4.4) \quad A = [a_{jk}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

قالب میں درج a_{11} ، a_{12} ، a_{21} وغیرہ کو ارکان⁵ کہتے ہیں۔ افقی لکیروں کو صف⁶ جبکہ عمودی لکیروں کو قطار⁷ کہتے ہیں۔ قالب 4.3 میں پہلا صف $[a_{11} \ a_{12}]$ یا $[3 \ 2]$ جبکہ دوسرا صف $[a_{21} \ a_{22}]$ یا $[-1 \ \frac{2}{3}]$ ہے۔ اسی طرح پہلا قطار درج ذیل ہے۔

$$\begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \end{bmatrix} \quad \text{یا} \quad \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \end{bmatrix}$$

ارکان کی علامتی اظہار میں دو گنا زیر نوشت کا پہلا عدد صف کو ظاہر کرتا ہے جبکہ دوسرا عدد قطار کو ظاہر کرتا ہے۔ یوں a_{21} دوسری صف اور پہلی قطار کا رکن ہے۔ قالب 4.3 کا مرکزی وتر⁸ a_{11} اور a_{22} پر مبنی ہے جبکہ قالب 4.4 کا مرکزی وتر a_{11} ، a_{22} ، \dots ، a_{nn} پر مبنی ہے۔ ہمیں یہاں صرف مربع قالب⁹ درکار ہوں گے۔ مربع قالب سے مراد ایسی قالب ہے جس میں صفوں کی تعداد قطاروں کی تعداد کے برابر ہو۔ قالب 4.3 اور قالب 4.4 مربع قالب ہیں۔

سمتیہ۔ ایک قطار اور n ارکان کا سمتیہ قطار¹⁰ درج ذیل ہے۔

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

اسی طرح ایک صف اور n ارکان کا سمتیہ صف¹¹ درج ذیل ہے۔

$$v = [v_1 \ v_2 \ v_3 \ \cdots \ v_n]$$

entry⁵
row⁶
column⁷
main diagonal⁸
square matrix⁹
column vector¹⁰
row vector¹¹

قالب اور سمتیات کا حساب

برابری مساوات

دو عدد $n \times n$ قالب صرف اور صرف اس صورت برابر ہوں گے جب ان کے تمام نظیری¹² ارکان برابر ہوں۔ ظاہر ہے کہ دو قالب کی برابری کے لئے لازم ہے کہ ان میں صفوں کی تعداد یکساں ہو اور ان میں قطاروں کی تعداد یکساں ہو۔ یوں $n = 2$ کی صورت میں

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad \text{اور} \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}$$

صرف اور صرف اس صورت برابر $(A = B)$ ہوں گے جب

$$\begin{aligned} a_{11} &= b_{11}, & a_{12} &= b_{12} \\ a_{21} &= b_{21}, & a_{22} &= b_{22} \end{aligned}$$

ہوں۔ دو عدد سمتیہ صف (یا دو عدد سمتیہ قطار) صرف اور صرف اس صورت برابر ہوں گے جب دونوں میں ارکان کی تعداد n برابر ہو اور ان کے تمام نظیری ارکان برابر ہوں۔ یوں

$$v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad \text{اور} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

کی صورت میں $v = x$ صرف اور صرف تب ہو گا جب

$$v_1 = x_1 \quad \text{اور} \quad v_2 = x_2$$

ہوں۔

مجموعہ

مجموعہ حاصل کرنے کی خاطر دونوں قالب کے نظیری ارکان کا مجموعہ لیا جاتا ہے۔ دونوں قالب یکساں $m \times n$ ہونا لازم ہے۔ اسی طرح دونوں سمتیہ صف (یا دونوں سمتیہ قطار) میں برابر ارکان ہونا لازم ہے۔ یوں 2×2 قالب کا مجموعہ درج ذیل ہو گا۔

$$(4.5) \quad A + B = \begin{bmatrix} a_{11} + b_{11} & a_{12} + b_{12} \\ a_{21} + b_{21} & a_{22} + b_{22} \end{bmatrix}, \quad v + x = \begin{bmatrix} v_1 + x_1 \\ v_2 + x_2 \end{bmatrix}$$

corresponding¹²

غیر سمتی ضرب

¹³ غیر سمتی ضرب یعنی مستقل c سے قالب کا ضرب حاصل کرنے کی خاطر قالب کے تمام ارکان کو c سے ضرب دیا جاتا ہے۔ مثلاً

$$A = \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 5 & 1 \end{bmatrix}, \quad -4A = \begin{bmatrix} -8 & 12 \\ -20 & -4 \end{bmatrix}$$

اور

$$v = \begin{bmatrix} 9 \\ -4 \end{bmatrix}, \quad 3v = \begin{bmatrix} 27 \\ -12 \end{bmatrix}$$

قالب ضرب قالب

دو عدد $n \times n$ قالب $A = [a_{jk}]$ اور $B = [b_{jk}]$ کا حاصل ضرب $C = AB$ ، (اسی ترتیب میں) $n \times n$ قالب $C = [c_{jk}]$ ہو گا جس کے ارکان

$$(4.6) \quad c_{jk} = \sum_{m=1}^n a_{jm} b_{mk} \quad j = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, n$$

ہوں گے یعنی A قالب کے j صف کے ہر رکن کو B قالب کے j قطار کے نظیری رکن کے ساتھ ضرب دیتے ہوئے n حاصل ضرب کا مجموعہ لیں۔ ہم کہتے ہیں کہ قالب کے ضرب سے مراد صف ضرب قطار ہے۔ مثلاً

$$\begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 & 1 \\ 2 & -4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \cdot 7 + 1 \cdot 2 & 2 \cdot 1 + 1 \cdot (-4) \\ (-3) \cdot 7 + 0 \cdot 2 & (-3) \cdot 1 + 0 \cdot (-4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 & -2 \\ -21 & -3 \end{bmatrix}$$

یہاں دھیان رہے کہ ضرب قالب غیر مستبدل¹⁴ ہے لہذا عموماً $AB \neq BA$ ہو گا۔ یوں دو قالب کو آپس میں ضرب دیتے ہوئے قالبوں کی ترتیب تبدیل نہیں کی جاسکتی۔ اس حقیقت کی وضاحت کی خاطر درج بالا مثال میں قالبوں کی ترتیب بدلتے ہوئے ان کو آپس میں ضرب دیتے ہیں۔

$$\begin{bmatrix} 7 & 1 \\ 2 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -3 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7 \cdot 2 + 1 \cdot (-3) & 7 \cdot 1 + 1 \cdot 0 \\ 2 \cdot 2 + (-4) \cdot (-3) & 2 \cdot 1 + (-4) \cdot 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11 & 7 \\ 16 & 2 \end{bmatrix}$$

¹³ scalar product
¹⁴ non commutative

$n \times n$ قالب A کو n ارکان کی سمتیہ قطار x سے ضرب بھی اسی قاعدے کے تحت حاصل کی جاتی ہے۔ یوں $v = Ax$ کے n عدد ارکان درج ذیل ہوں گے۔

$$(4.7) \quad v_j = \sum_{m=1}^n a_{jm}x_m \quad j = 1, \dots, n$$

یوں

$$\begin{bmatrix} 7 & -3 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7x_1 - 3x_2 \\ x_1 + 4x_2 \end{bmatrix}$$

ہو گا۔

سادہ تفرقی مساوات کے نظام کا اظہار بذریعہ سمتیات

تفرق

قالب یا سمتیہ کا تفرق، تمام ارکان کا تفرق حاصل کرنے سے حاصل ہوتا ہے۔

$$y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5t^3 \\ 6 \cos 2t \end{bmatrix}, \quad y'(t) = \begin{bmatrix} y'_1(t) \\ y'_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15t^2 \\ -12 \sin 2t \end{bmatrix}$$

قالب کی تفرق اور ضرب کو استعمال کرتے ہوئے مساوات 4.1 کو درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(4.8) \quad y' = \begin{bmatrix} y'_1 \\ y'_2 \end{bmatrix} = Ax = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \quad \text{یا} \quad \begin{bmatrix} y'_1 \\ y'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -7 \\ 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

اسی طرح مساوات 4.2 کو درج ذیل $y = Ax$ صورت میں لکھا جاسکتا ہے۔

$$(4.9) \quad \begin{bmatrix} y'_1 \\ y'_2 \\ \vdots \\ y'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ & \vdots & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

مزید اعمال اور اصطلاحات

تبدیل محل

تبدیلی محل¹⁵ کے عمل سے قالب کے قطاروں کو صفوں کی جگہ لکھا جاتا ہے۔ یوں 2×2 قالب A سے تبدیلی محل¹⁶ کے ذریعہ تبدیلی محل قالب¹⁷ A^T حاصل ہو گا۔

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -11 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}, \quad A^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 4 \\ -11 & 3 \end{bmatrix}$$

سمتیہ صف x کا تبدیلی محل سمتیہ x^T سمتیہ قطار ہو گا۔ اسی طرح سمتیہ قطار v کا تبدیلی محل سمتیہ v^T سمتیہ صف ہو گا۔

$$x = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix} \quad x^T = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad v^T = \begin{bmatrix} v_1 & v_2 \end{bmatrix}$$

قالب کا معکوس

ایسا $n \times n$ قالب جس کے مرکزی وتر کے تمام ارکان اکائی (1) اور بقیہ ارکان صفر ہوں کو اکائی قالب¹⁸ I کہتے ہیں۔

$$(4.10) \quad I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

¹⁵transposition

¹⁶transposition

¹⁷transpose matrix

¹⁸unit matrix

ایسا B قالب، جس کا A قالب کے ساتھ حاصل ضرب اکائی قالب ہو $BA = AB = I$ ، قالب A کا معکوس قالب کہلاتا ہے جسے A^{-1} لکھا جاتا ہے جبکہ ایسی صورت میں A غیر نادر قالب¹⁹ کہلاتا ہے۔ یہاں A اور B دونوں $n \times n$ قالب ہیں۔

$$(4.11) \quad A^{-1}A = AA^{-1} = I$$

قالب A کا معکوس تب پایا جاتا ہے جب A کا مقطع غیر صفر $|A| \neq 0$ ہو۔ اگر A کا معکوس نہ پایا جاتا ہو تب A نادر²⁰ قالب کہلاتا ہے۔ مربع 2×2 قالب کا معکوس

$$(4.12) \quad A^{-1} = \frac{1}{|A|} \begin{bmatrix} a_{22} & -a_{12} \\ -a_{21} & a_{11} \end{bmatrix}$$

ہے جہاں A کا مقطع $|A|$ درج ذیل ہے۔

$$(4.13) \quad |A| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$$

خطی طور تالبعیت

r عدد سمتیات $v^{(1)}$ تا $v^{(r)}$ جہاں ہر سمتیہ n ارکان پر مشتمل ہو، اس صورت خطی طور غیر تابع سلسلہ²¹ یا خطی طور غیر تابع کہلاتے ہیں جب

$$(4.14) \quad c_1 v^{(1)} + \dots + c_r v^{(r)} = 0$$

سے مراد c_1 تا c_r کی قیمتیں صفر ہو۔ درج بالا مساوات میں 0 صفر سمتیہ²² ہے جس کے تمام n ارکان صفر کے برابر ہیں۔ اگر مساوات 4.14 میں c_1 تا c_r کوئی ایک یا ایک سے زائد مستقل غیر صفر ہوں تب $v^{(1)}$ تا $v^{(r)}$ خطی طور تابع سلسلہ²³ یا خطی طور تابع کہلائیں گے چونکہ ایسی صورت میں کم از کم ایک سمتیہ کو

¹⁹ non singular matrix

²⁰ singular

²¹ linearly independent set

²² zero vector

²³ linearly dependent vector

بقایا سمتیات کی مدد سے لکھا جاسکتا ہے، مثلاً $c_1 \neq 0$ کی صورت میں مساوات 4.14 کو c_1 سے تقسیم کرتے ہوئے

$$v^{(1)} = -\frac{1}{c_1} [c_2 v^{(2)} + \dots + c_r v^{(r)}]$$

لکھا جاسکتا ہے۔

آگنی قدر اور آگنی سمتیات

آگنی قدر²⁴ اور آگنی سمتیات²⁵ انتہائی اہم ہیں جو کوانٹم میکانیات²⁶ میں کلیدی کردار ادا کرتے ہیں۔ مساوات

$$(4.15) \quad Ax = \lambda x$$

میں $A = [a_{jk}]$ معلوم $n \times n$ قالب ہے جبکہ λ نا معلوم مستقل (جو حقیقی یا مخلوط مقدار ہو سکتا ہے) اور x نا معلوم سمتیہ ہے جنہیں حاصل کرنا درکار ہے۔ کسی بھی λ کے لئے مساوات 4.15 کا ایک حل $x = 0$ ممکن ہے۔ ایسی غیر سمتیہ²⁷ λ جو $x \neq 0$ کی صورت میں مساوات 4.15 پر پورا اترتی ہو، A کی آگنی قدر²⁸ کہلاتی ہے جبکہ، اس λ کی نظیری، x کو A کی آگنی سمتیہ²⁹ کہتے ہیں۔

ہم مساوات 4.15 کو $Ax - \lambda x = 0$ یا

$$(4.16) \quad (A - \lambda I)x = 0$$

لکھ سکتے ہیں جو n عدد خطی الجبرائی مساوات کو ظاہر کرتی ہے جس کے نا معلوم متغیرات x_1 تا x_n ، سمتیہ x کے ارکان ہیں۔ اس مساوات کے غیر صفر حل $x \neq 0$ کے لئے ضروری ہے کہ $A - I$ کے عددی سر قالب کا مقطع صفر ہو۔ (یہ خطی الجبرا کی بنیادی حقیقت ہے)۔ اس باب میں ہمیں $n = 2$ سے دلچسپی ہے لہذا مساوات 4.16 کو

$$(4.17) \quad \begin{bmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Eigenvalues²⁴
Eigenvectors²⁵
quantum mechanics²⁶
scalar²⁷
Eigenvalue²⁸
Eigenvector²⁹

لکھتے ہیں جو درج ذیل مساوات کو ظاہر کرتی ہے۔

$$(4.18) \quad \begin{aligned} (a_{11} - \lambda)x_1 + a_{12}x_2 &= 0 \\ a_{21}x_1 + (a_{22} - \lambda)x_2 &= 0 \end{aligned}$$

اب نادر قالب کا مقطع صفر ہوتا ہے لہذا $A - \lambda I$ اس صورت نادر قالب ہو گا جب اس قالب کا مقطع (جسے A کی امتیازی مقطع³⁰ کہتے ہیں) صفر ہو۔

$$(4.19) \quad \begin{aligned} |A - \lambda I| &= \begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda \end{vmatrix} \\ &= (a_{11} - \lambda)(a_{22} - \lambda) - a_{12}a_{21} \\ &= \lambda^2 - (a_{11} + a_{22})\lambda + a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = 0 \end{aligned}$$

اس دو درجی مساوات کو A کی امتیازی مساوات³¹ کہتے ہیں۔ اس کے حل λ_1 اور λ_2 ، قالب A کے آگنی قدر یا آگنی قیمتیں ہیں۔ پہلے آگنی قدر حاصل کریں۔ اس کے بعد λ_1 کو مساوات 4.18 میں پر کرتے ہوئے، λ_1 کی نظیری، A کی آگنی سمتیہ $x^{(1)}$ دریافت کریں۔ اسی طرح λ_2 کو مساوات 4.18 میں پر کرتے ہوئے، λ_2 کی نظیری، A کی آگنی سمتیہ $x^{(2)}$ دریافت کریں۔ یاد رہے کہ اگر x قالب A کا آگنی سمتیہ ہو تب kx بھی A کا آگنی سمتیہ ہو گا جہاں $k \neq 0$ ہے۔

مثال 4.1: درج ذیل قالب کی آگنی قیمتیں اور آگنی سمتیات دریافت کریں۔

$$A = \begin{bmatrix} -3 & 3 \\ -0.8 & 0.4 \end{bmatrix}$$

حل: امتیازی مساوات

$$\begin{vmatrix} -3 - \lambda & 3 \\ -0.8 & 0.4 - \lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 + 2.6\lambda + 1.2 = 0$$

characteristic determinant³⁰
characteristic equation³¹

سے A کے آگنی قدر $\lambda_1 = -0.6$ اور $\lambda_2 = -2$ ملتے ہیں۔ آگنی قیمت $\lambda = \lambda_1 = -0.6$ کو مساوات 4.18 میں پر کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} (-3 + 0.6)x_1 + 3x_2 &= 0 \\ -0.8x_1 + (0.4 + 0.6)x_2 &= 0 \end{aligned}$$

پہلی مساوات کو $x_2 = 0.8x_1$ لکھا جاسکتا ہے۔ دوسری مساوات کو بھی $x_2 = 0.8x_1$ لکھا جاسکتا ہے۔ یوں اگر $x_1 = 1$ چنا جائے تو $x_2 = 0.8$ ہو گا لہذا، $\lambda_1 = -0.6$ کی نظیری، A کا آگنی سمتیہ

$$x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.8 \end{bmatrix}$$

ہو گا۔ اسی طرح $\lambda = \lambda_2 = -2$ کو مساوات 4.18 میں پر کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} (-3 + 2)x_1 + 3x_2 &= 0 \\ -0.8x_1 + (0.4 + 2)x_2 &= 0 \end{aligned}$$

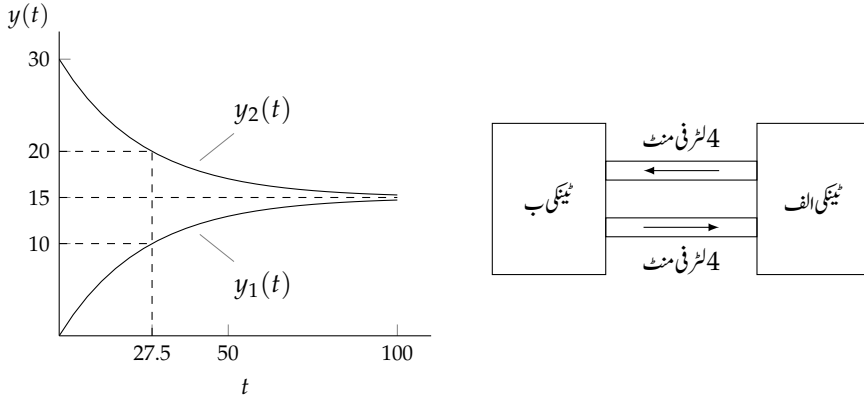
ان دونوں مساوات کو $x_1 = 3x_2$ لکھا جاسکتا ہے۔ یوں اگر $x_2 = 1$ چنا جائے تو $x_1 = 3$ حاصل ہو گا لہذا، $\lambda_2 = -2$ کی نظیری، A کا آگنی سمتیہ

$$x^{(2)} = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

ہو گا۔ جیسا پہلے ذکر کیا گیا، آگنی سمتیات کو کسی بھی غیر صفر عدد سے ضرب دیا جاسکتا ہے۔

4.2 سادہ تفرقی مساوات کے نظام بطور انجینئری مسائل کے نمونے

اس حصے میں ہم تفرقی مساوات کے نظام کی عملاً اہمیت دیکھیں گے۔ ہم پہلے دیکھتے ہیں کہ ایسے نظام مختلف عملی مسائل میں کیسے کردار ادا کرتے ہیں۔ اس کے بعد ہم دیکھیں گے کہ بلند درجی تفرقی مساوات کو کیسے تفرقی مساوات کے نظام میں تبدیل کیا جاسکتا ہے۔



شکل 4.1: ٹینکیوں کا نظام۔

مثال 4.2: دو ٹینکیوں کا نظام

ایک ٹینکی کو استعمال کرتے ہوئے مرکب بنانے کے عمل پر صفحہ 26 مثال 1.10 میں غور کیا گیا جہاں مسئلے کو ایک عدد تفرقی مساوات سے ظاہر کیا گیا۔ اس مثال کو ایک مرتبہ دیکھ لیں چونکہ وہی معلومات یہاں بھی استعمال کی جائیں گی۔

شکل 4.1 میں دو ٹینکیاں دکھائی گئی ہیں جن میں یک برابر دو سو (200) لٹر پانی موجود ہے۔ ٹینکی الف میں خالص پانی ہے جبکہ ٹینکی ب کی پانی میں تیس (30) کلو گرام کا نمک ملا یا گیا ہے۔ ٹینکیوں میں پانی کو مسلسل ہلایا جاتا ہے تاکہ ان میں ہر جگہ محلول یکساں رہے۔ ٹینکیوں میں پانی کو چار (4) لٹر فی منٹ سے گردش دینے سے ٹینکی الف میں نمک کی مقدار $y_1(t)$ اور ٹینکی ب میں نمک کی مقدار $y_2(t)$ وقت کے ساتھ تبدیل ہوتی ہے۔ کتنی دیر کے بعد ٹینکی الف میں نمک کی مقدار، ٹینکی ب میں نمک کی مقدار کا نصف ہو گا؟

حل: پہلا قدم: نظام کی نمونہ کشی کرتے ہیں۔ ایک ٹینکی کی طرح، ٹینکی الف میں نمک کی مقدار $y_1(t)$ میں تبدیلی کی شرح $y_1'(t)$ نمک کی درآمدی اور برآمدی شرح میں فرق کے برابر ہوگی۔ یہی کچھ $y_2'(t)$ کے لئے

بھی کہا جاسکتا ہے لہذا

$$\begin{aligned} y_1' &= 4 \frac{y_2}{200} - 4 \frac{y_1}{200} \\ y_2' &= 4 \frac{y_1}{200} - 4 \frac{y_2}{200} \end{aligned}$$

یعنی

$$\begin{aligned} y_1' &= -0.02y_1 + 0.02y_2 \\ y_2' &= 0.02y_1 - 0.02y_2 \end{aligned}$$

ہو گا۔ اس نظام کو

$$(4.20) \quad y' = Ay$$

لکھا جاسکتا ہے جہاں

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \quad \text{اور} \quad A = \begin{bmatrix} -0.02 & 0.02 \\ 0.02 & -0.02 \end{bmatrix}$$

ہیں۔

دوسرا قدم: عمومی حل حاصل کرتے ہیں۔ ایک عدد تفرقی مساوات کی طرح یہاں بھی حل کو قوت نمائی تفاعل

$$(4.21) \quad y = xe^{\lambda t}$$

فرض کرتے ہیں۔ مساوات 4.20 میں اس فرضی تفاعل اور اس کے تفرق کو پر کرتے ہیں۔

$$y' = \lambda xe^{\lambda t} = Axe^{\lambda t}$$

دونوں اطراف کو $e^{\lambda t}$ سے تقسیم کرتے ہوئے دونوں اطراف کو بدل کر لکھتے ہیں۔

$$Ax = \lambda x$$

ہمیں اس مساوات کے غیر صفر اہم حل درکار ہیں لہذا ہمیں A کے آگنی قدر اور آگنی سمتیات حاصل کرنے ہوں گے۔ آگنی قدر امتیازی مساوات

$$|A - \lambda I| = \begin{vmatrix} -0.02 - \lambda & 0.02 \\ 0.02 & -0.02 - \lambda \end{vmatrix} = (-0.02 - \lambda)^2 - 0.02^2 = \lambda(\lambda + 0.04) = 0$$

کے حل $\lambda_1 = 0$ اور $\lambda_2 = -0.04$ ہوں گے۔ (یہاں دھیان رہے کہ ہمیں غیر صفر آگنی سمتیات درکار ہیں۔ آگنی قدر صفر ہو سکتے ہیں۔) آگنی سمتیات مساوات 4.18 کے پہلے یا دوسرے مساوات سے حاصل ہوں گے۔ مساوات 4.18 کی پہلے مساوات کو استعمال کرتے ہوئے $\lambda_1 = 0$ اور $\lambda_2 = -0.04$ کے لئے

$$-0.02x_1 + 0.02x_2 = 0, \quad (-0.02 + 0.04)x_1 + 0.02x_2 = 0$$

لکھے جائیں گے جن سے $x_1 = x_2$ اور $x_1 = -x_2$ ملتے ہیں۔ ہم $x_1 = x_2 = 1$ اور $x_1 = -x_2 = 1$ چنتے ہوئے $\lambda_1 = 0$ اور $\lambda_2 = -0.04$ کے نظیری آگنی سمتیات

$$x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{اور} \quad x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

حاصل کرتے ہیں۔ مساوات 4.21 اور مسئلہ خطی میل (جو خطی متجانس تفرقی مساوات کے نظام پر بھی لاگو ہوتا ہے) کی مدد سے حل لکھتے ہیں۔

$$(4.22) \quad y = c_1 x^{(1)} e^{\lambda_1 t} + c_2 x^{(2)} e^{\lambda_2 t} = c_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} + c_2 \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} e^{-0.04t}$$

تیسرا قدم: ابتدائی معلومات $y_1(0) = 0$ (یعنی ٹینکی الف میں ابتدائی طور پر کوئی نمک نہیں پایا جاتا) اور $y_2(0) = 30$ (یعنی ٹینکی ب میں ابتدائی طور پر تیس کلو گرام نمک پایا جاتا ہے) ہیں۔ مساوات 4.22 میں $t = 0$ اور ابتدائی معلومات پر کرتے ہیں۔

$$y(0) = c_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} + c_2 \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 30 \end{bmatrix}$$

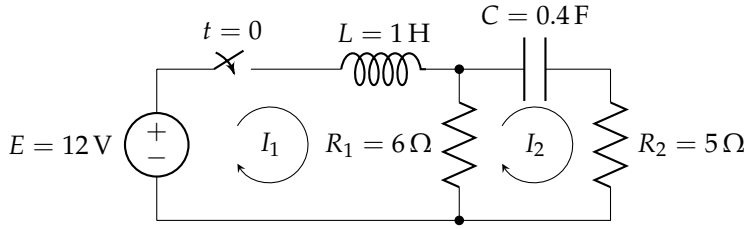
درج بالا مساوات کی جزوی صورت $c_1 + c_2 = 0$ اور $c_1 - c_2 = 30$ ہے جس کا حل $c_1 = 15$ اور $c_2 = -15$ ہے۔ یوں ابتدائی معلومات پر پورا اترتا ہوا حل

$$y = 15 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} - 15 \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} e^{-0.04t}$$

یعنی

$$y_1(t) = 15 - 15e^{-0.04t}$$

$$y_2(t) = 15 + 15e^{-0.04t}$$



شکل 4.2: مثال 4.3 کا برقی جال۔

ہو گا۔ اس حل کو شکل 4.1 میں دکھایا گیا ہے۔

چوتھا قدم: ٹینکی الف میں اس وقت ٹینکی ب کا آدھا نمک ہو گا جب اس میں $\frac{30}{3} = 10$ کلو گرام نمک ہو۔ یوں درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$y_1(t) = 15 - 15e^{-0.04t} = 10, \quad t = -\frac{1}{0.04} \ln \frac{1}{3} = 27.5 \text{ min}$$

مثال 4.3: برقی جال

شکل 4.2 میں لمحہ $t = 0$ پر سوئچ چالو ہوتا ہے۔ برقی رو $I_1(t)$ اور $I_2(t)$ دریافت کریں۔ ابتدائی رو اور ابتدائی برقی گیر میں ذخیرہ بار صفر ہیں۔

حل: پہلا قدم نظام کی نمونہ کشی ہے۔ امالہ میں رو I_1 ہے لہذا اس پر برقی دباؤ $v_L = L \frac{dI_1}{dt}$ ہو گا۔ برقی گیر میں رو I_2 ہے لہذا اس پر دباؤ $v_C = \frac{1}{C} \int I_2 dt$ ہو گا۔ مزاحمت R_2 پر دباؤ $v_{R2} = I_2 R_2$ ہو گا جبکہ مزاحمت R_1 میں کل رو $I_1 - I_2$ ہے لہذا اس پر دباؤ $v_{R1} = (I_1 - I_2) R_1$ ہو گا۔ کرخوف قانون دباؤ کے تحت کسی بھی بند دائرے میں کل دباؤ کا اضافہ اس دائرے میں کل دباؤ کے گھٹاؤ کے برابر ہو گا۔ یوں بائیں دائرے کے لئے

$$E = L \frac{dI_1}{dt} + (I_1 - I_2) R_1$$

لکھا جاسکتا ہے جس میں $E = 12$ ، $L = 1$ اور $R_1 = 6$ پر کرتے ہوئے

$$(4.23) \quad I_1' = -6I_1 + 6I_2 + 12$$

ملتا ہے۔ اسی طرح دائیں دائرے کے لئے

$$0 = \frac{1}{C} \int I_2 dt + I_2 R_2 + (I_2 - I_1) R_1$$

لکھا جاسکتا ہے جس میں $C = 0.4$ اور $R_2 = 5$ پر کرتے ہوئے تفرق لینے سے

$$I_2 + 4.4I_2' - 2.4I_1' = 0$$

ملتا ہے۔ اس میں مساوات 4.23 سے I_1' کی قیمت پر کرتے ہوئے

$$I_2 + 4.4I_2' - 2.4(-6I_1 + 6I_2 + 12) = 0$$

یعنی

$$(4.24) \quad I_2' = -\frac{36}{11}I_1 + \frac{67}{22}I_2 + \frac{72}{11}$$

حاصل ہوتا ہے۔ مساوات 4.23 اور مساوات 4.24 کو

$$(4.25) \quad J' = AJ + g$$

لکھا جاسکتا ہے جہاں

$$J = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} -6 & 6 \\ -\frac{36}{11} & \frac{67}{22} \end{bmatrix}, \quad g = \begin{bmatrix} 12 \\ \frac{72}{11} \end{bmatrix}$$

ہیں۔ I_1' اور I_2' کے سمتیہ قطار کو J اس لئے لکھا گیا ہے کہ اس باب میں I اکائی قالب کے لئے استعمال کیا گیا ہے۔

دوسرا قدم نظام کا حل تلاش کرنا ہے۔ g کی موجودگی غیر متجانس سادہ تفرقی نظام کو ظاہر کرتی ہے لہذا ہم ایک عدد تفرقی مساوات کی طرح پہلے متجانس مطابقتی نظام $J' = AJ$ کا حل حاصل کرتے ہیں۔ ہم $J = xe^{\lambda t}$ کو حل تصور کرتے ہوئے متجانس نظام میں پر کرتے ہوئے درج ذیل حاصل کرتے ہیں۔

$$J' = \lambda xe^{\lambda t} = A xe^{\lambda t} \implies Ax = \lambda x$$

غیر صفر اہم حل کے حصول کے لئے A کا آگنی قدر اور آگنی سمتیات درکار ہوں گے۔ آگنی قدر امتیازی مساوات

$$|A - \lambda I| = \begin{vmatrix} -6 - \lambda & 6 \\ -\frac{36}{11} & \frac{67}{22} - \lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 + \frac{65}{22}\lambda - \frac{15}{11} = 0$$

سے $\lambda_1 = -2.38209$ اور $\lambda_2 = -0.57245$ حاصل ہوتے ہیں۔ ان آگنی قدر کی نظیری آگنی سمتیات مساوات 4.18 سے حاصل ہوں گے۔ مساوات 4.18 کے پہلے مساوات میں λ_1 پر کرتے ہوئے

$$(-6 + 2.38209)x_1 + 6x_2 = 0, \quad \Rightarrow \quad x_1 = 1.658416x_2$$

ملتا ہے۔ یوں $x_2 = 1$ چنتے ہوئے $x_1 = 1.658416$ ملتا ہے جس سے $x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1.658416 \\ 1 \end{bmatrix}$ حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح مساوات 4.18 کے پہلے مساوات میں λ_2 پر کرتے ہوئے

$$(-6 + 0.57245)x_1 + 6x_2 = 0, \quad \Rightarrow \quad x_1 = 1.105471x_2$$

ملتا ہے۔ یوں $x_2 = 1$ چنتے ہوئے $x_1 = 1.105471$ ملتا ہے جس سے $x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1.105471 \\ 1 \end{bmatrix}$ حاصل ہوتا ہے۔ یوں متجانس نظام کا عمومی حل درج ذیل ہو گا۔

$$(4.26) \quad J = c_1 x^{(1)} e^{\lambda_1 t} + c_2 x^{(2)} e^{\lambda_2 t}$$

مساوات 4.25 کے غیر متجانس نظام کا جبری تفاعل g مستقل مقدار ہے لہذا اس نظام کا مخصوص حل مستقل سمتیہ قطار $J_p = a$ فرض کرتے ہیں جس کے ارکان a_1 اور a_2 ہیں۔ یوں $J' = 0$ ہو گا۔ مساوات 4.25 میں فرض کردہ مخصوص حل پر کرتے ہوئے $Aa + g = 0$ ملتا ہے جو درج ذیل مساوات کو ظاہر کرتی ہے۔

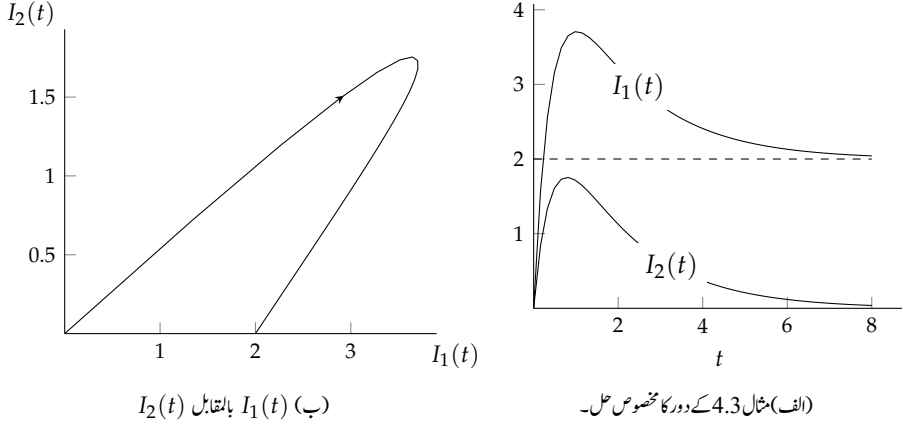
$$\begin{aligned} -6a_1 + 6a_2 + 12 &= 0 \\ -\frac{36}{11}a_1 + \frac{67}{22}a_2 + \frac{72}{11} &= 0 \end{aligned}$$

ان ہمزاد مساوات کو حل کرنے سے $a_1 = 2$ اور $a_2 = 0$ ملتا ہے لہذا $a = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$ ہو گا۔ یوں عمومی حل

$$J = J_h + J_p = c_1 x^{(1)} e^{\lambda_1 t} + c_2 x^{(2)} e^{\lambda_2 t} + a$$

ہو گا جو درج ذیل مساوات کو ظاہر کرتی ہے۔

$$\begin{aligned} I_1 &= 1.658416c_1 e^{-2.38209t} + 1.105471c_2 e^{-0.57245t} + 2 \\ I_2 &= c_1 e^{-2.38209t} + c_2 e^{-0.57245t} \end{aligned}$$



شکل 4.3: مثال 4.3 کے منحنی۔

ابتدائی معلومات کے تحت $I_1(0) = 0$ اور $I_2(0) = 0$ ہے۔ انہیں درج بالا مساوات میں پر کرتے ہوئے

$$1.658416c_1 + 1.105471c_2 + 2 = 0$$

$$c_1 + c_2 = 0$$

ماتا ہے جنہیں حل کرتے ہوئے $c_1 = -3.61699$ اور $c_2 = 3.61699$ حاصل ہوتا ہے۔ یوں مخصوص حل

$$\mathbf{J} = -3.617x^{(1)}e^{-2.38t} + 3.617x^{(2)}e^{-0.57t} + \mathbf{a}$$

یعنی

$$I_1 = -5.998e^{-2.38t} + 3.998e^{-0.57t} + 2$$

$$I_2 = -3.617e^{-2.38t} + 3.617e^{-0.57t}$$

ہو گا جسے شکل 4.3-الف میں دکھایا گیا ہے۔

شکل 4.3-ب میں $I_1(t)$ بالقابل $I_2(t)$ کو I_1I_2 سطح پر دکھایا گیا ہے جس میں t مقدار معلوم ہے۔ مقدار معلوم کے بڑھنے کی سمت کو منحنی پر تیر کے نشان سے دکھایا گیا ہے۔ سطح I_1I_2 کو نظام کی سطح مرحلہ³² کہتے ہیں جبکہ شکل 4.3-ب کی منحنی کو خط حرکت³³ کہتے ہیں۔ ہم دیکھیں گے کہ سطح مرحلہ اشکال، سادہ شکل

phase plane³²
trajectory³³

4.3-الف طرز کے اشکال سے زیادہ اہم ثابت ہوتے ہیں۔ یہ خطوط کی نسل کے بارے میں بہتر کیفی معلومات فراہم کرتے ہیں۔

صفحہ 26 مثال 1.10 میں ایک عدد ٹینکی کی مثال پر غور کیا گیا جس کی نمونہ کشی ایک عدد سادہ تفرقی مساوات سے کی گئی۔ مثال 4.2 میں دو ٹینکیوں پر مبنی نظام کی نمونہ کشی دو عدد تفرقی مساوات سے کی گئی۔ اسی طرح مثال 4.3 میں دو عدد نامعلوم رو کی بنا دو عدد سادہ تفرقی مساوات حاصل ہوئے۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ زیادہ بڑے نظام کی نمونہ کشی زیادہ تعداد کی تفرقی مساوات سے کی جائے گی۔

n درجی سادہ تفرقی مساوات سے تفرقی مساوات کے نظام کا حصول

درج ذیل مسئلہ میں ثابت کیا جاتا ہے کہ n درجی سادہ تفرقی مساوات 4.27 سے تفرقی مساوات کا نظام حاصل کیا جاسکتا ہے۔

مسئلہ 4.1: تفرقی مساوات کا مبادلہ
سادہ n درجی تفرقی مساوات

$$(4.27) \quad y^{(n)} = F(t, y, y', \dots, y^{(n-1)})$$

میں

$$(4.28) \quad y_1 = y, \quad y_2 = y', \quad y_3 = y'', \dots, y_n = y^{(n-1)}$$

لے کر اس کو n عدد سادہ ایک درجی تفرقی مساوات کے نظام

$$(4.29) \quad \begin{aligned} y_1' &= y_2 \\ y_2' &= y_3 \\ &\vdots \\ y_{n-1}' &= y_n \\ y_n' &= F(t, y_1, y_2, \dots, y_n) \end{aligned}$$

میں تبدیل کیا جاسکتا ہے۔

ثبوت : مساوات 4.28 کے تفرق سے نظام کے پہلے $n - 1$ عدد تفرقی مساوات حاصل ہوتے ہیں۔ مساوات 4.28 سے $y'_n = y^{(n)}$ بھی حاصل ہوتا ہے لہذا مساوات 4.27 سے مساوات 4.29 کی آخری مساوات بھی حاصل ہوتی ہے۔

مثال 4.4: ہم اسپرنگ اور کمیت کی آزادانہ ارتعاش کے مسئلے پر غور کر چکے ہیں جس کی تفرقی مساوات صفحہ 120 پر مساوات 2.41

$$(4.30) \quad my'' + cy' + ky = 0 \quad \implies \quad y'' = -\frac{k}{m}y - \frac{c}{m}y'$$

دیتی ہے جس کے لئے مساوات 4.29 کا نظام

$$\begin{aligned} y'_1 &= y_2 \\ y'_2 &= -\frac{k}{m}y_1 - \frac{c}{m}y_2 \end{aligned}$$

متجانس اور خطی ہے۔ قالب کا استعمال کرتے ہوئے $y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$ لکھتے ہوئے اس نظام کو درج ذیل لکھا جاسکتا ہے

$$(4.31) \quad y' = Ay = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

جس سے امتیازی مساوات لکھتے ہیں۔

$$|A - \lambda I| = \begin{vmatrix} -\lambda & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} - \lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 + \frac{c}{m}\lambda + \frac{k}{m} = 0$$

بامثالاً $m = 1$ ، $c = 1.4$ اور $k = 0.24$ ہوں تب

$$\lambda^2 + 1.4\lambda + 0.24 = (\lambda + 0.2)(\lambda + 1.2) = 0$$

ہو گا جس سے آگنی قدر $\lambda_1 = -0.2$ اور $\lambda_2 = -1.2$ حاصل ہوتے ہیں۔ آگنی سمتیات $A - \lambda I = 0$ کی پہلی مساوات $-\lambda x_1 + x_2$ سے حاصل کرتے ہیں۔ آگنی قدر $\lambda_1 = -0.2$ پر کرتے ہوئے $0.2x_1 + x_2 = 0$ سے $x_2 = -0.2x_1$ ملتا ہے لہذا $x_1 = 1$ چنتے ہوئے $x_2 = -0.2$ ہو گا۔ اسی طرح $\lambda_2 = -1.2$ پر کرتے ہوئے $1.2x_1 + x_2 = 0$ سے $x_2 = -1.2x_1$ ملتا ہے لہذا $x_1 = 1$ چنتے ہوئے $x_2 = -1.2$ ہو گا۔ یوں درج ذیل آگنی سمتیات حاصل ہوتی ہیں

$$x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.2 \end{bmatrix}, \quad x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1.2 \end{bmatrix}$$

جنہیں استعمال کرتے ہوئے

$$y = c_1 \begin{bmatrix} 1 \\ -0.2 \end{bmatrix} e^{-0.2t} + c_2 \begin{bmatrix} 1 \\ -1.2 \end{bmatrix} e^{-1.2t}$$

سمتیہ حل لکھا جائے گا۔ اس نظام کی پہلی مساوات

$$y = y_1 = c_1 e^{-0.2t} + c_2 e^{-1.2t}$$

درکار حل ہے جبکہ نظام کی دوسری مساوات حل کی تفرق ہے۔

$$y_2 = y'_1 = y' = -0.2c_1 e^{-0.2t} - 1.2c_2 e^{-1.2t}$$

سوالات

سوال 4.1 تا سوال 4.5 میں دیے گئے قالب کے آگنی قدر اور آگنی سمتیات حاصل کریں۔

سوال 4.1: الیکٹران کی ایک خاصیت چکر³⁴ کہلاتی ہے جس کی مقدار $-\frac{\hbar}{2}$ یا $\frac{\hbar}{2}$ ہو سکتی ہے جہاں $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ہے اور $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$ مستقل پلانک³⁵ ہے۔ چکر سمتیہ مقدار ہے۔ مقناطیسی میدان

³⁴ spin
³⁵ Plank's constant

میں الیکٹران کا چکر یا ہمہ میدان (مقناطیسی میدان کی سمت میں) رہتا ہے اور یا مخالف میدان (میدان کی الٹ سمت میں) رہتا ہے۔ ہمہ میدان صورت میں الیکٹران کو اوپر چکر³⁶ الیکٹران کہتے ہیں جبکہ میدان مخالف چکر کی صورت میں الیکٹران کو نیچے چکر³⁷ الیکٹران کہتے ہیں۔ z سمت میں مقناطیسی میدان میں موجود الیکٹران کی خاصیت S_z قالب چکر³⁸ سے معلوم کی جاسکتی ہے۔ z میدان میں اوپر چکر الیکٹران کو آگنی سمتیہ χ_+^z اور نیچے چکر الیکٹران کو آگنی سمتیہ χ_-^z سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ درج ذیل S_z قالب کے آگنی قدر (یعنی الیکٹران کا چکر) حاصل کرتے ہوئے آگنی سمتیات دریافت کریں۔

$$S_z = \begin{bmatrix} \frac{\hbar}{2} & 0 \\ 0 & -\frac{\hbar}{2} \end{bmatrix}$$

$$\chi_+^z = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \chi_-^z = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \lambda_+ = \frac{\hbar}{2}, \lambda_- = -\frac{\hbar}{2} \text{ جوابات:}$$

سوال 4.2: مقناطیسی میدان میں الیکٹران کی زاویائی حرکت کے معیار اثر کا مربع S^2 قالب سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ اس قالب کی آگنی قدر زاویائی حرکت کے معیار اثر کا مربع ہو گا۔ قالب کی آگنی قدر اور آگنی سمتیات دریافت کریں۔

$$S^2 = \begin{bmatrix} \frac{3\hbar}{4} & 0 \\ 0 & \frac{3\hbar}{4} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \lambda_1 = \lambda_2 = \frac{3\hbar^2}{4} \text{ جوابات:}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ سوال 4.3:}$$

$$x^{(1)} = x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \lambda_1 = \lambda_2 = 1 \text{ جوابات:}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ سوال 4.4:}$$

$$x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \end{bmatrix}, x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \end{bmatrix}, \lambda_2 = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i, \lambda_1 = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \text{ جوابات:}$$

spin up³⁶
spin down³⁷
spin matrix³⁸

4.2. سادہ تفرقی مساوات کے نظام بطور انجینئری مسائل کے نمونے

سوال 4.5: $A = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 \\ -0.4 & 1.2 \end{bmatrix}$

جوابات: $x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ ، $x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{2}{3} \end{bmatrix}$ ، $\lambda_2 = \frac{4}{5}$ ، $\lambda_1 = \frac{3}{5}$

سوال 4.6 اور سوال 4.7 ٹینکیوں کے سوالات ہیں۔

سوال 4.6: اگر مثال 4.2 میں ٹینکی الف میں ابتدائی طور پر چار سو (400) لٹر پانی موجود ہو تب جوابات کیا ہوں گے؟

جوابات: $x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$ ، $\lambda_2 = 0$ ، $\lambda_1 = -0.03$ ، $A = \begin{bmatrix} -0.01 & 0.02 \\ 0.01 & -0.02 \end{bmatrix}$

23.1 min ، $c_2 = 20$ ، $c_1 = -20$ ، $x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \end{bmatrix}$

سوال 4.7: مثال 4.2 میں ٹینکی الف کے ساتھ دو سو (200) لٹر کی ٹینکی پ دو نالیوں کے ذریعہ جوڑی جاتی ہے۔ ان کے مابین بھی چار لٹری منٹ کی شرح سے پانی کا تبادلہ ہوتا ہے۔ ٹینکی پ میں ابتدائی طور پر دو سو لٹر کا خالص پانی پایا جاتا ہے۔ اس نظام کے تفرقی مساوات لکھ کر A حاصل کریں۔ نظام کی آگنی قدر اور آگنی سمتیت دریافت کرتے ہوئے مخصوص حل دریافت کریں۔

جوابات: $A = \begin{bmatrix} -0.04 & 0.02 & 0.02 \\ 0.02 & -0.02 & 0 \\ 0.02 & 0 & -0.02 \end{bmatrix}$ ، $\lambda_3 = 0$ ، $\lambda_2 = -0.02$ ، $\lambda_1 = -0.06$

، $x^{(3)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ ، $x^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$ ، $x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.5 \\ -0.5 \end{bmatrix}$

$y = -10x^{(1)}e^{-0.06t} + 15x^{(-0.02t)} + 10x^{(3)}$

سوال 4.8 تا سوال 4.10 برقی جال پر مبنی ہیں۔

سوال 4.8: اگر مثال 4.3 میں ابتدائی برقی رو $I_1(0) = 0$ اور $I_2 = 2A$ ہوں تب حل کیا ہوگا؟

جواب: $I_2 = 9.62e^{-0.57t} - 7.62e^{-2.38t}$ ، $I_1 = 10.63e^{-0.57t} - 12.63e^{-2.38t} + 2$

سوال 4.9: اگر مثال 4.3 میں $L = 0.5H$ کر دیا جائے تب مخصوص حل کیا ہوگا؟

جواب: $I_2 = 2.83e^{-0.529t} - 2.83e^{-5.153t}$ ، $I_1 = 2.96e^{-0.529t} - 4.96e^{-5.153t} + 2$

سوال 4.10: اگر مثال 4.3 میں $L = 2H$ کر دیا جائے تب مخصوص حل کیا ہوگا؟

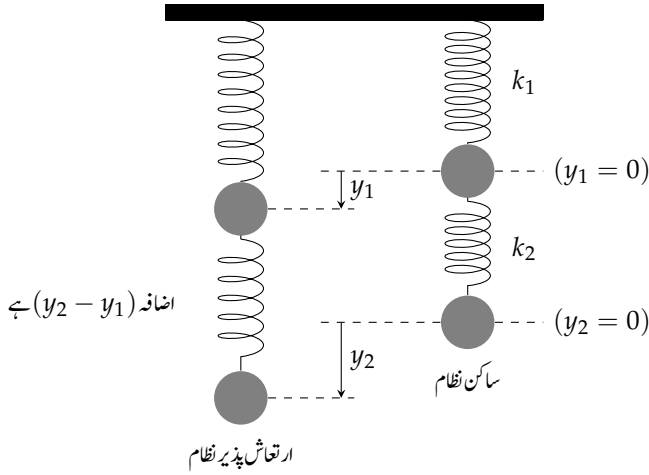
جواب: $I_2 = 14.77e^{-\frac{35}{44}t} \sin(0.22t)$ ، $I_1 = 2 + e^{-\frac{35}{44}t} [19.9 \cos(0.22t) - 2 \sin(0.22t)]$

سوال 4.11 تا سوال 4.11 میں تفرقی مساوات کو نظام میں تبدیل کرتے ہوئے A قالب حاصل کریں۔ اس قالب کی آگنی قدر اور آگنی سمتیت دریافت کریں۔ مساوات کا عمومی حل حاصل کریں۔ تفرقی مساوات کو جوں کا توں بھی حل کریں۔

سوال 4.11: $y'' + 5y' + 6y = 0$
 جوابات: $x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \end{bmatrix}$ ، $x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -3 \end{bmatrix}$ ، $\lambda_2 = -2$ ، $\lambda_1 = -3$ ، $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5 & -6 \end{bmatrix}$
 $y = c_1 \begin{bmatrix} 1 \\ -3 \end{bmatrix} e^{-3t} + c_2 \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \end{bmatrix} e^{-2t}$ ،

سوال 4.12: $12y'' - y' - 6y = 0$
 جوابات: $x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{3}{4} \end{bmatrix}$ ، $x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{2}{3} \end{bmatrix}$ ، $\lambda_2 = \frac{3}{4}$ ، $\lambda_1 = -\frac{2}{3}$ ، $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{12} \end{bmatrix}$
 $y = c_1 \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{2}{3} \end{bmatrix} e^{-\frac{2}{3}t} + c_2 \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{3}{4} \end{bmatrix} e^{\frac{3}{4}t}$

سوال 4.13: $y''' - y' = 0$
 جوابات: $x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$ ، $\lambda_3 = 0$ ، $\lambda_2 = 1$ ، $\lambda_1 = -1$ ، $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
 $y = c_1 \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} e^{-t} + c_2 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} e^t + c_3 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ ، $x^{(3)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ ، $x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$



شکل 4.4: دو اسپرنگ اور دو کمیت کا نظام۔

سوال 4.14: $y'' + 9y' + 14y = 0$

جوابات: $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -14 & -9 \end{bmatrix}$ ، $\lambda_1 = -2$ ، $\lambda_2 = -7$ ، $x^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \end{bmatrix}$ ،

$y = c_1 \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \end{bmatrix} e^{-2t} + c_2 \begin{bmatrix} 1 \\ -7 \end{bmatrix} e^{-7t}$ ، $x^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ -7 \end{bmatrix}$

سوال 4.15: دو اسپرنگ اور دو کمیت کا نظام شکل 4.4 میں دکھایا گیا ہے جس میں $k_1 = 3$ ، $m_1 = m_2 = 1$ اور $k_2 = 4$ ہیں۔ اس نظام کے تفرقی مساوات لکھیں۔ $y = x e^{\omega t}$ تصور کرتے ہوئے، جہاں $\omega^2 = \lambda$ ہے، ان کا حل دریافت کریں۔

جوابات: $y_1 = A \cos(1.109t) + B \sin(1.109t) + C \cos(3.126t) + D \sin(3.126t)$ ، $y_2 = A * \cos(1.109t) + B * \sin(1.109t) + C * \cos(3.126t) + D * \sin(3.126t)$

4.3 نظریہ نظام سادہ تفرقی مساوات اور ورنسکی

گزشتہ حصے کے ایک درجی تفرقی مساوات کے نظام، درج ذیل عمومی نظام کی مخصوص صورت ہے۔

$$\begin{aligned}
 y_1 &= f_1(t, y_1, \dots, y_n) \\
 y_2 &= f_2(t, y_1, \dots, y_n) \\
 &\vdots \\
 y_n &= f_n(t, y_1, \dots, y_n)
 \end{aligned}
 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{y}' = \mathbf{f}(t, \mathbf{y})
 \quad (4.32)$$

نظام کو سمتیہ کی صورت میں سمتیہ قطار $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ اور سمتیہ قطار $\mathbf{f} = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$ (یہاں T سے مراد تبدیلی محل ہے جسے استعمال کرتے ہوئے سمتیہ قطار کو افقی لکھ کر جگہ بچائی گئی ہے) کی استعمال سے لکھا گیا ہے۔ درج بالا نظام عملی استعمال کے تقریباً تمام صورتوں کو ظاہر کرتی ہے۔ یوں $n = 1$ کی صورت میں یہ $y'_1 = f_1(t, y_1)$ یعنی $y' = f(t, y)$ کو ظاہر کرے گی جسے ہم باب 1 سے جانتے ہیں۔

کسی کھلے وقفہ $a < t < b$ پر مساوات 4.32 کا حل، وقفہ $a < t < b$ پر قابل تفرق، n عدد تفاعل کا سلسلہ

$$y_1 = h_1(t), \quad y_2 = h_2(t), \quad \dots, \quad y_n = h_n(t)$$

ہو گا جو پورے وقفے پر مساوات 4.32 پر پورا اترتا ہو۔ حل سمتیہ³⁹ کو قطار سمتیہ $\mathbf{h} = [h_1(t), \dots, h_n(t)]^T$ کی صورت میں لکھا جاسکتا ہے۔

$$\mathbf{y} = \mathbf{h}(t)$$

اس نظام پر مبنی ابتدائی قیمت مسئلہ مساوات 4.32 اور n عدد ابتدائی شرائط

$$y_1(t_0) = K_1, \quad y_2(t_0) = K_2, \quad \dots, \quad y_n(t_0) = K_n \quad (4.33)$$

پر مبنی ہو گا۔ ان ابتدائی شرائط کو سمتیہ کی صورت میں $\mathbf{y}(t_0) = \mathbf{K}$ لکھا جاسکتا ہے جہاں t_0 دیے گئے وقفے پر پایا جاتا ہے اور سمتیہ قطار $\mathbf{K} = [K_1, \dots, K_n]^T$ کے ارکان دیے گئے مستقل مقدار ہیں۔ مساوات 4.32 اور مساوات 4.33 کے ابتدائی قیمت مسئلے کے حل کی وجودیت اور یکتائی کے لئے معقول شرائط درج ذیل مسئلہ بیان کرتی ہے جو حصہ 1.7 میں دیے گئے مسئلے کو وسعت دیتی ہے۔ اس مسئلے کا ثبوت اس کتاب میں پیش نہیں کیا جائے گا۔

³⁹solution vector

مسئلہ 4.2: مسئلہ وجودیت اور یکتائی⁴⁰ پر تفاعل f_1 تا f_n اور ان کے تفرق $\frac{\partial f_1}{\partial y_1}$ تا $\frac{\partial f_n}{\partial y_n}$ تا $\frac{\partial f_n}{\partial y_1}$ تا $\frac{\partial f_1}{\partial y_n}$ میدان عمل⁴⁰ پر تفاعل $t y_1 y_2 \cdots y_n$ تصور کریں کہ استمراری ہیں اور اس میدان عمل پر نقطہ (t_0, K_1, \dots, K_n) پایا جاتا ہو تب کچھ وقفہ $t_0 - \alpha < t < t_0 + \alpha$ پر مساوات 4.32 کا ایسا حل موجود ہے جو مساوات 4.33 کے ابتدائی شرائط پر پورا اترتا ہو اور یہ حل یکتا ہے۔

4.3.1 خطی نظام

سادہ تفرقی مساوات کے خطی ہونے کی تصور کو وسعت دیتے ہوئے ہم مساوات 4.32 کو اس صورت خطی نظام⁴¹ کہیں گے جب اس کو

$$\begin{aligned} y'_1 &= a_{11}(t)y_1 + \cdots + a_{1n}(t)y_n + g_1(t) \\ y'_2 &= a_{21}(t)y_1 + \cdots + a_{2n}(t)y_n + g_2(t) \\ &\vdots \\ y'_n &= a_{n1}(t)y_1 + \cdots + a_{nn}(t)y_n + g_n(t) \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{y}' = \mathbf{A}\mathbf{y} + \mathbf{g}$$

لکھنا ممکن ہو جہاں

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_n \end{bmatrix}$$

ہیں۔ آپ دیکھ سکتے ہیں کہ نظام 4.34 میں y'_1 تا y'_n کا y_1 تا y_n کے ساتھ خطی تعلق ہے۔ اگر $g = 0$ ہو تب نظام 4.34

$$(4.35) \quad \mathbf{y}' = \mathbf{A}\mathbf{y}$$

صورت اختیار کرتا ہے جو متجانس نظام ہے جبکہ $g \neq 0$ کی صورت میں نظام 4.34 کو غیر متجانس کہلاتا ہے۔ یوں مثال 4.2 اور مثال 4.4 متجانس نظام ہیں جبکہ مثال 4.3 غیر متجانس نظام ہے۔

⁴⁰ domain
⁴¹ linear system

خطی نظام میں $\frac{\partial f_1}{\partial y_1} = a_{11}(t)$ تا $\frac{\partial f_n}{\partial y_n} = a_{nn}(t)$ ہیں لہذا مسئلہ 4.2 سے درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

مسئلہ 4.3: خطی نظام کا مسئلہ وجودیت اور یکتائی

تصور کریں کہ کھلے وقفہ $\alpha < t < \beta$ جس پر نقطہ t_0 پایا جاتا ہو، پر نظام 4.34 کے تمام a_{jk} اور g_j استمراری ہیں۔ ایسی صورت میں نظام 4.34 کا ایسا حل y موجود ہے جو ابتدائی شرائط مساوات 4.33 پر پورا اترتا ہے اور یہ حل یکتا ہے۔

ایک عدد متجانس سادہ تفرقی مساوات کی طرح مسئلہ خطی میل متجانس نظام کے لئے بھی قابل استعمال ہے۔

مسئلہ 4.4: مسئلہ خطی میل

اگر $y^{(1)}$ اور $y^{(2)}$ کسی کھلے وقفے پر متجانس خطی نظام 4.35 کے حل ہوں تب ان کا کوئی بھی خطی میل $y = c_1 y^{(1)} + c_2 y^{(2)}$ بھی اس نظام کا حل ہو گا۔

ثبوت: خطی میل کا تفرق لیتے ہوئے مساوات 4.35 کا استعمال کرتے ہیں۔

$$\begin{aligned} y' &= [c_1 y^{(1)} + c_2 y^{(2)}]' \\ &= c_1 y^{(1)'} + c_2 y^{(2)'} \\ &= c_1 A y^{(1)} + c_2 A y^{(2)} \\ &= A(c_1 y^{(1)} + c_2 y^{(2)}) = A y \end{aligned}$$

خطی سادہ تفرقی مساوات کے نظام کا نظریہ، ایک عدد خطی سادہ تفرقی مساوات کے نظریے سے بہت مشابہت رکھتا ہے جس پر حصہ 2.6 اور حصہ 2.7 میں غور کیا گیا ہے۔ یہ دیکھنے کی خاطر ہم بالکل بنیادی تصورات اور حقائق پر غور کرتے ہیں۔

اساس، عمومی حل اور ورنسکی

متجانس نظام 4.35 کا کھلے وقفہ J پر حل کی اساس یعنی بنیادی نظام⁴² سے مراد n عدد، J پر خطی طور غیر تابع حل، $y^{(1)}$ تا $y^{(n)}$ کا سلسلہ ہے۔ (یہاں کھلے وقفے کو J کہا گیا ہے چونکہ I اکائی قالب کو ظاہر کرنے کے لئے استعمال کیا گیا ہے۔) ان حل کے خطی میل

$$(4.36) \quad y = c_1 y^{(1)} + \dots + c_n y^{(n)}$$

کو J پر مساوات 4.35 کا عمومی حل کہا جاتا ہے جہاں c_1 تا c_n اختیاری مستقل ہیں۔ یہ ثابت کیا جاسکتا ہے کہ اگر مساوات 4.35 میں تمام a_{jk} کھلے وقفے پر استمراری ہوں تب اس وقفے پر مساوات 4.35 کے حل کی اساس موجود ہے لہذا اس کا عمومی حل موجود ہے جس میں، کھلے وقفے پر، تمام حل شامل ہیں۔

ہم کھلے وقفے پر n عدد حل کو $n \times n$ قالب کی قطاروں کی صورت میں لکھ سکتے ہیں۔

$$(4.37) \quad Y = [y^{(1)} \quad \dots \quad y^{(n)}]$$

Y کے مقطع کو $y^{(1)}$ تا $y^{(n)}$ کا ورنسکی کہتے ہیں۔

$$(4.38) \quad W(y^{(1)}, \dots, y^{(n)}) = \begin{vmatrix} y_1^{(1)} & y_1^{(2)} & \dots & y_1^{(n)} \\ y_2^{(1)} & y_2^{(2)} & \dots & y_2^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_n^{(1)} & y_n^{(2)} & \dots & y_n^{(n)} \end{vmatrix}$$

درج بالا ورنسکی میں قطار $y^{(1)}$ تا $y^{(n)}$ حل کی اساس ہیں جنہیں اجزاء کی صورت میں لکھا گیا ہے۔ یہ حل صرف اور صرف اس صورت حل کی اساس ہوں گے جب ان کا ورنسکی کھلے وقفہ J پر کسی بھی نقطہ t_1 پر صفر کے برابر نہ ہو۔ کھلے وقفے پر W یا تو کہیں بھی صفر کے برابر نہیں ہو گا اور یا یہ کھلے وقفے پر مکمل صفر کے برابر ہو گا۔ (یہ بالکل مسئلہ 2.3 اور مسئلہ 3.3 کی طرح ہے۔)

اگر مساوات 4.36 میں دیے حل اساس یعنی بنیادی نظام ہوں تب قالب 4.37 بنیادی قالب⁴³ کہلاتا ہے۔ سمتیہ قطار $c = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n]^T$ کی مدد سے مساوات 4.36 کو درج ذیل لکھا جاسکتا ہے۔

$$(4.39) \quad y = Yc$$

fundamental system⁴²
fundamental matrix⁴³

آئیں مساوات 4.38 کا حصہ 2.6 کے ساتھ تعلق جوڑیں۔ فرض کریں کہ متجانس دو درجی سادہ تفرقی مساوات کے حل y اور z ہیں۔ یوں ورونسکی

$$W(y, z) = \begin{vmatrix} y & z \\ y' & z' \end{vmatrix}$$

ہو گا۔ اس سادہ دو درجی مساوات کو تفرقی مساوات کی نظام کی صورت میں لکھنے کی خاطر، حصہ 4.1 کے تحت،
درج ذیل صورت اختیار کرتا ہے
 $y = y_1$ ، $y' = y'_1 = y_2$ ، $z = z_1$ اور $z' = z'_1 = z_2$ لکھنا ہو گا۔ ایسا کرتے ہوئے ورونسکی

$$W(y_1, z_1) = \begin{vmatrix} y_1 & z_1 \\ y_2 & z_2 \end{vmatrix}$$

جو، علامتوں میں فرق کے علاوہ، ہو بہو مساوات 4.38 ہے۔

4.4 مستقل عددی سروالے نظام۔ سطح مرحلہ کی ترکیب

فرض کریں کہ متجانس خطی نظام

$$(4.40) \quad y' = Ay$$

کے عددی سر مستقل مقدار ہیں لہذا $n \times n$ قالب $A = [a_{jk}]$ کے ارکان t پر منحصر نہیں ہوں گے۔ ہم مساوات 4.40 کو حل کرنا چاہتے ہیں۔ اب ہم جانتے ہیں کہ ایک عدد سادہ تفرقی مساوات $y' = ky$ کا حل $y = Ce^{kt}$ ہے لہذا ہم مساوات 4.40 کا حل

$$(4.41) \quad y = xe^{\lambda t}$$

تصور کرتے ہیں۔ تصوراتی حل اور اس کے تفرق $y' = \lambda xe^{\lambda t}$ کو مساوات 4.40 میں پر کرتے ہوئے ہمیں
 $y' = \lambda xe^{\lambda t} = Axe^{\lambda t}$ ملتا ہے جس کو $e^{\lambda t}$ سے تقسیم کرتے ہوئے آگنی قیمت مسئلہ

$$(4.42) \quad Ax = \lambda x$$

حاصل ہوتا ہے۔ یوں مساوات 4.40 کے غیر صفر اہم حل مساوات 4.41 کی صورت رکھتے ہیں جہاں λ قالب A کے آگنی قدر اور x اس کے نظیری آگنی سمتیات ہیں۔

ہم فرض کرتے ہیں کہ A کا n عدد خطی طور غیر تابع آگنی سمتیات کا سلسلہ پایا جاتا ہے۔ عموماً مسائل میں ایسا ہی ہوتا ہے بالخصوص اگر A تشاکل⁴⁴ ہو $(a_{kj} = a_{jk})$ یا منحرف تشاکل⁴⁵ $(a_{kj} = -a_{jk})$ ہو اور یا اگر اس کے n عدد منفرد آگنی قدر پائے جاتے ہوں۔

ان خطی طور غیر تابع آگنی سمتیات کے سلسلے کو $x^{(1)}$ تا $x^{(n)}$ لکھتے ہیں جو آگنی قدر λ_1 تا λ_n کے نظیری سمتیات ہیں (جو منفرد ہو سکتے ہیں یا ان میں سے چند یا تمام یکساں ہو سکتے ہیں)۔ یوں مساوات 4.41 طرز کے نظیری حل درج ذیل ہوں گے۔

$$(4.43) \quad y^{(1)} = x^{(1)}e^{\lambda_1 t}, \dots, y^{(n)} = x^{(n)}e^{\lambda_n t}$$

مساوات 4.38 کی مدد سے ان کی وروئسی $W(y^{(1)}, \dots, y^{(n)})$ لکھتے ہیں۔

$$W(y^{(1)}, \dots, y^{(n)}) = \begin{vmatrix} x_1^{(1)}e^{\lambda_1 t} & x_1^{(2)}e^{\lambda_2 t} & \dots & x_1^{(n)}e^{\lambda_n t} \\ x_2^{(1)}e^{\lambda_1 t} & x_2^{(2)}e^{\lambda_2 t} & \dots & x_2^{(n)}e^{\lambda_n t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^{(1)}e^{\lambda_1 t} & x_n^{(2)}e^{\lambda_2 t} & \dots & x_n^{(n)}e^{\lambda_n t} \end{vmatrix}$$

(4.44)

$$= e^{\lambda_1 t + \dots + \lambda_n t} \begin{vmatrix} x_1^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_1^{(n)} \\ x_2^{(1)} & x_2^{(2)} & \dots & x_2^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^{(1)} & x_n^{(2)} & \dots & x_n^{(n)} \end{vmatrix}$$

اب نا قوت نمائی تفاعل کبھی بھی صفر نہیں ہوتا اور درج بالا مساوات میں آخری مقطع کے قطار، خطی طور غیر تابع آگنی سمتیات ہیں، لہذا یہ مقطع بھی غیر صفر ہے۔ اس سے درج ذیل مسئلہ ثابت ہوتا ہے۔

مسئلہ 4.5: عمومی حل

اگر مساوات 4.40 میں دیے نظام کے مستقل قیمت قالب A کے n عدد منفرد آگنی سمتیات کا سلسلہ پایا جاتا ہو تب مساوات 4.43 میں دیے گئے حل $y^{(1)}$ تا $y^{(n)}$ مساوات 4.40 کے حل کی اساس ہوں گے جن سے درج ذیل عمومی حل حاصل ہوتا ہے۔

$$(4.45) \quad y = c_1 x^{(1)}e^{\lambda_1 t} + \dots + c_n x^{(n)}e^{\lambda_n t}$$

symmetric⁴⁴
skew-symmetric⁴⁵

تفائل یا منحرف تفائل A کی صورت میں اور یا اگر A کے n عدد منفرد آگنی سمتیات پائے جاتے ہوں تب A کے منفرد آگنی سمتیات کا سلسلہ پایا جائے گا اور درج بالا مسئلے کا فرض کردہ شرط پورا ہوگا۔

سطح مرحلہ پر حل منحنی کا اظہار

ہم اب دو عدد مستقل عددی سروالے متجانس سادہ تفرقی مساوات کے نظام کی صورت میں مساوات 4.40 پر غور کرتے ہیں۔

$$(4.46) \quad y' = Ay \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} y_1' &= a_{11}y_1 + a_{12}y_2 \\ y_2' &= a_{21}y_1 + a_{22}y_2 \end{aligned}$$

ہم عموماً مساوات 4.46 کے دونوں حل بالمقابل t کو علیحدہ علیحدہ (شکل 4.3-الف کی طرح) کھینچتے ہیں۔ ہم انہیں حل

$$(4.47) \quad y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix}$$

کو ایک ہی خط کی صورت میں (شکل 4.3-ب کی طرح) سطح مرحلہ پر بھی کھینچ سکتے ہیں۔ ایسا کرتے ہوئے t کو بطور مقدار معلوم تصور کیا جاتا ہے لہذا ایسے خط کو منحنی مقدار معلوم⁴⁶ بھی کہتے ہیں۔ ایسے منحنی کو مساوات 4.46 کا خط حرکت کہا جاتا ہے جبکہ $y - 1y_2$ سطح کو سطح مرحلہ کہتے ہیں۔ سطح مرحلہ کو مساوات 4.46 کے خطوط حرکت سے بھرنے سے مساوات 4.46 کا پیکر مرحلہ⁴⁷ حاصل ہوتا ہے۔

کمپیوٹر کے استعمال نے سطح مرحلہ پر حل کے خط حرکت کو اہمیت بخشی ہے۔ پیکر مرحلہ تمام حل کی خفی تجزیہ میں کار آمد ثابت ہوتا ہے۔ آئیں پیکر مرحلہ کی ایک مثال دیکھیں۔

parametric curve⁴⁶
phase portrait⁴⁷

مثال 4.5: سطح مرحلہ پر خط حرکت
درج ذیل نظام کے حل کی منحنی کھینچیں۔

$$y' = Ay = \begin{bmatrix} -4 & 2 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} y \implies \begin{aligned} y_1' &= -4y_1 + 2y_2 \\ y_2' &= -y_1 - y_2 \end{aligned}$$

حل: $y = xe^{\lambda t}$ اور $y' = \lambda xe^{\lambda t}$ پر کر کے قوت نمائی تفاعل سے تقسیم کرتے ہوئے $Ax = \lambda x$ ملتا ہے۔ امتیازی مساوات

$$\begin{vmatrix} -4 - \lambda & 2 \\ -1 & -1 - \lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 + 5\lambda + 6 = 0$$

ہے۔ یوں آگنی قدر $\lambda_1 = -2$ اور $\lambda_2 = -3$ حاصل ہوتے ہیں۔ آگنی سمتیات

$$-4x_1 + 2x_2 = \lambda x_1$$

سے حاصل ہوں گے۔ $\lambda = \lambda_1 = -2$ پر کرتے ہوئے $x_2 = x_1$ ملتا ہے۔ یوں x_1 چنتے ہوئے $x_2 = 1$ حاصل ہو گا جس سے آگنی سمتیہ $x^{(1)} = [1 \ 1]^T$ حاصل ہوتا ہے۔ $\lambda = \lambda_2 = -3$ پر کرتے ہوئے $x_2 = 0.5x_1$ ملتا ہے لہذا چنتے ہوئے $x_2 = 0.5$ حاصل ہو گا اور یوں $x^{(2)} = [1 \ 0.5]^T$ ہو گا۔ ان سے عمومی حل لکھتے ہیں۔

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = c_1 y^{(1)} + c_2 y^{(2)} = c_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} e^{-2t} + c_2 \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \end{bmatrix} e^{-3t}$$

