

## Matrix Formulation

- فرمول نیکی فرم

:  $f_i(x_1, x_2, \dots, x_{Ns})$  خصیتی دارد اگر توابع

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_{Ns}) = h_{i1}x_1 + h_{i2}x_2 + \dots + h_{iNs}x_{Ns}$$

\* بقراردادن توابع  $f_i$  در یک بردار متواند نوشت:

$$f_i(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \vdots \\ f_{Ns}(x) \end{bmatrix} = [H] X \quad , \quad X = (x_1, x_2, \dots, x_{Ns})$$

\* ماتریس باید  $N_m \times N_s$  شم فرایب توابع خصیتی  $f_i(x)$  باشد:  $[H]$

$N_s$ : تعداد پارامترها که مجهول که باید تغییر زده شود  
:  $N_m$ : تعداد اندازه های

\* بقراردادن اندازه های  $Z$  در یک بردار:

$$Z^{\text{meas}} = \begin{bmatrix} Z_1^{\text{meas}} \\ Z_2^{\text{meas}} \\ \vdots \\ Z_{Nm}^{\text{meas}} \end{bmatrix}$$

متوان موارد را بصورت فقره (compact) نوشت:

$$\underset{x}{\text{Min}} J(x) = \left[ Z^{\text{meas}} - f(x) \right]^T \cdot [R]^{-1} \cdot \left[ Z^{\text{meas}} - f(x) \right]$$

$$[R] = \text{diag}(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_{Ns}^2) = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_{Ns}^2 \end{bmatrix}$$

\* ماتریس  $R$  کو وابسته نیست مربوط به خطاهای مجموعی است.

:  $f(x) = [H]x$   $\rightarrow$   $J(x)$   $\rightarrow$   $J(x) = \frac{1}{2} \|z - [R][H]x\|_2^2$

$$\underset{x}{\text{Min}} J(x) = \left\{ z^T \cdot [R]^{-1} z - x^T [H]^T [R]^{-1} z - z^T [R]^{-1} [H] x + \right.$$

$$\left. x^T [H]^T [R]^{-1} [H] x \right\}$$

$$\frac{\partial J(x)}{\partial x_i} = 0 \quad \downarrow \quad \nabla J(x) = 0 \quad \text{معنی} \quad J(x) \text{ مینیموم شد}$$

$$i=1, \dots, N_s$$

$$\nabla J(x) = -2 [H]^T [R]^{-1} z^{\text{meas}} + 2 [H]^T [R]^{-1} \cdot [H] x$$

:  $N_m < N_s$   $\rightarrow$   $\nabla J(x) = 0$   $\rightarrow$  بحث تجزیه \*

(overdetermined) "فوق معنی"  $N_m > N_s$  - افت \*\*

$$x^{\text{est}} = \left[ [H]^T [R]^{-1} [H] \right]^{-1} \cdot [H]^T [R]^{-1} z^{\text{meas}}$$

(completely determined) "معنی مطابق"  $N_m = N_s$  - ای \*\*

$$x^{\text{est}} = [H]^{-1} z^{\text{meas}}$$

(underdetermined) "نیز معنی"  $N_s > N_m$  - ز \*

$x^{\text{est}} = [R][H]^{-1} z^{\text{meas}}$   $\rightarrow$   $x^{\text{est}} = [R][H]^{-1} z^{\text{meas}} + [R][H]^{-1} \epsilon$   $\rightarrow$   $x^{\text{est}} = [R][H]^{-1} z^{\text{meas}} + [R][H]^{-1} \epsilon$

$N_s > N_m$   $\rightarrow$   $[R][H]^{-1}$   $\rightarrow$   $N_s > N_m$   $\rightarrow$   $[R][H]^{-1}$

جایگزینی برای مقدار این بُعد  $x^{est}$  را گیرنماز باید که مجموع مربعات

$$\text{Min } x^T x = \sum_{i=1}^{N_s} x_i^2 : \text{nitier se jeho } x^{\text{est}}$$

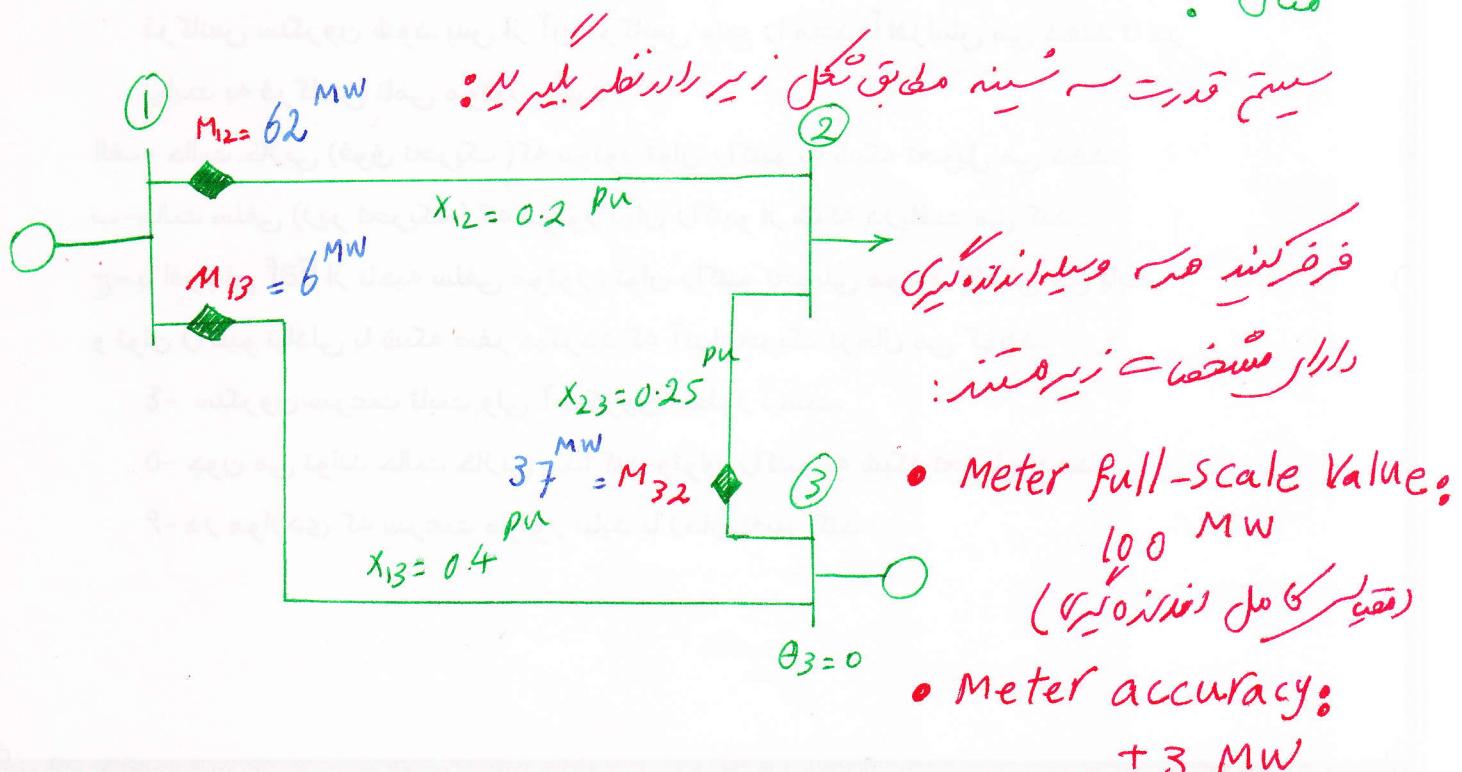
$$\approx \text{bgr}^2 \quad Z^{\text{meas}} = [H] X$$

$$x^{est} = [H]^T [H][H]^T]^{-1} z^{meas}$$

نحوه ملحوظ (  $N_m < N_s$  ) نسبتی می باشد

حل زیرا، مجموعه از اندیشه های (Pseudo measurement) هست.

بـ الـ زـ يـ وـ بـ الـ زـ يـ وـ بـ الـ زـ يـ وـ بـ الـ زـ يـ



منظور دقت اندازه می باشد  $\pm 3 \text{ MW}$  ایزاسنک اندازه می باشد  $\pm 3 \text{ MW}$  دقت  
دققت عمل می باشد  $\pm 3 \text{ MW}$ .

صورت ریاضی بیان می شود که خطنمای اگرفا می سین،  $\sigma$  دارای توزیع نرمال است.



$$P_r(-3\sigma < Z < 3\sigma) \approx 0.99$$

منظور دقت افزایشی ایزاسنک ایزاسنک می باشد  
بین  $\pm 3\sigma$  و  $-3\sigma$  بین  $(\text{PDF})$  ایزاسنک در توزیع نرمال  
تفصیل برای  $0.99$  می باشد.

فرضیه که دقت اندازه می باشد تقریباً  $\pm 3\sigma$

$\therefore \sigma = 1 \frac{\text{MW}}{0.01 \text{ pu}}$  ایزاسنک اگرفا می سین،  $\pm 3 \text{ MW}$  نیز برای

$J(\theta_1, \theta_2)$  باید  $\theta_1$  و  $\theta_2$  را باید حداقل نمودن  $\theta_1$  و  $\theta_2$  باشد  
:  
 $N_s > N_m$  نیز باید نظر نمودن  $\theta_1$  و  $\theta_2$  را داشته باشد.

$$\hat{x}^{\text{est}} = \left[ [H]^T [R^{-1}] [H] \right]^{-1} \cdot [H]^T [R]^{-1} \cdot z^{\text{meas}}$$

$$\hat{x}^{\text{est}} = \begin{bmatrix} \theta_1^{\text{est}} \\ \theta_2^{\text{est}} \end{bmatrix}$$

بهر سیستم آنالیز کردن می‌شود، این روش را  $H$  نامیده اند و خواست که اندیازهای  $\theta_1$  و  $\theta_2$  را برای این سیستم بدستور  $\theta_1$  و  $\theta_2$  بتوانیم پیدا کرد.

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{12} = f_{12} = \frac{1}{0.2} (\theta_1 - \theta_2) = 5\theta_1 - 5\theta_2 \\ M_{13} = f_{13} = \frac{1}{0.4} (\theta_1 - \theta_3) = 2.5\theta_1 \\ M_{32} = f_{32} = \frac{1}{0.25} (\theta_3 - \theta_2) = -4\theta_2 \end{array} \right. \Rightarrow [H] = \begin{bmatrix} 5 & -5 \\ 2.5 & 0 \\ 0 & -4 \end{bmatrix}$$

: اینجا درجه دوی اندیازهای  $\theta_1$  و  $\theta_2$  را که در این سیستم می‌باشد.

$$[R] = \begin{bmatrix} \delta_{M_{12}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_{M_{13}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_{M_{32}}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 10^{-4} \end{bmatrix}$$

\* توجه داشته باشید که  $H$  فرازی سیستم پیش از  $R$  است و  $R$  پس از  $H$  است.

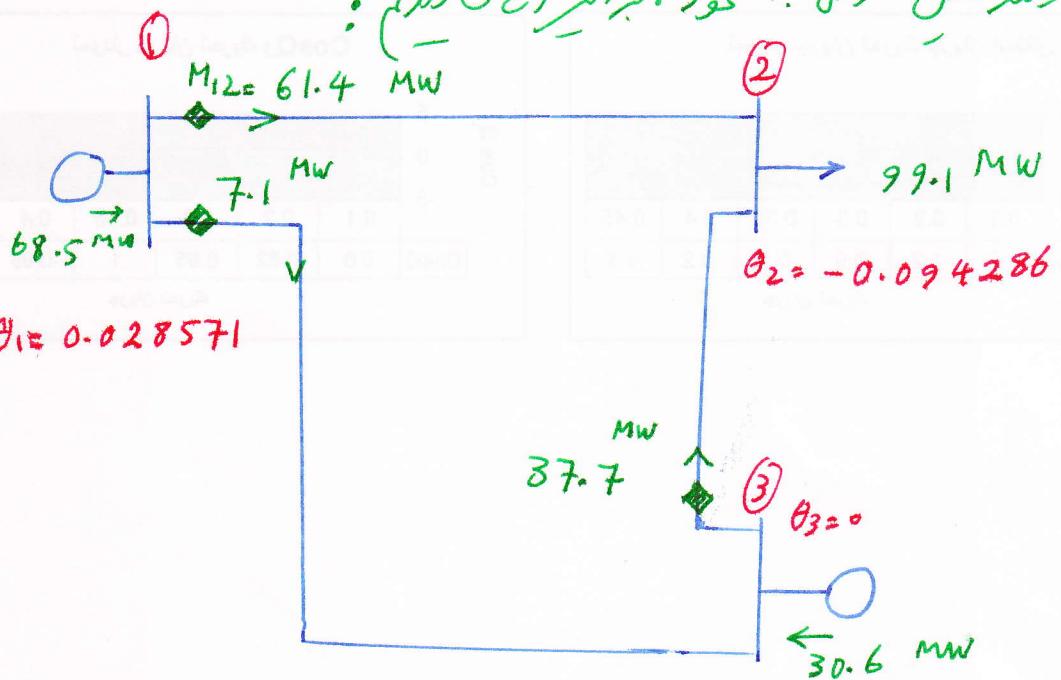
$$\begin{bmatrix} \theta_1^{\text{est}} \\ \theta_2^{\text{est}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 2.5 & 0 \\ -5 & 0 & -4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 10^{-4} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 5 & -5 \\ 2.5 & 0 \\ 0 & -4 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 5 & 2.5 & 0 \\ -5 & 0 & -4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 10^{-4} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0.62 \\ 0.06 \\ 0.37 \end{bmatrix} =$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \theta_1^{\text{est}} \\ \theta_2^{\text{est}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.028571 \\ -0.094286 \end{bmatrix}$$

استقرار در روش تجزیه برای سه مجموعه توان استاتیک خارجی و تولید گذشته

: در میان داشتند که در این روش



$$: \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} \cdot J(\theta_1, \theta_2) \quad \text{نمایان}$$

$$J(\theta_1, \theta_2) = \frac{(Z_{12} - f_{12}(\theta_1, \theta_2))^2}{\sigma_{12}^2} + \frac{(Z_{13} - f_{13}(\theta_1, \theta_2))^2}{\sigma_{13}^2} + \frac{(Z_{32} - f_{32}(\theta_1, \theta_2))^2}{\sigma_{32}^2}$$

$$J(\theta_1, \theta_2) = \frac{(0.62 - (5\theta_1 - 5\theta_2))^2}{10^{-4}} + \frac{(0.06 - (2.5\theta_1))^2}{10^{-4}} + \frac{(0.37 + 4\theta_2)^2}{10^{-4}}$$

$$J(\theta_1, \theta_2) = 2.014$$

- حل لـ  $M_{13}$  دلیل ایناذه سیری از نظر کیفیت بهتر از دو دلیل بارهای  
سیری بر تجزیه حالت خواهد داشت ؟

برای مدل آنرا درسته باشیم :

$$\begin{array}{l} \text{دلتا مدل ایناذه سیری} \\ M_{12}, M_{23} \end{array} \left\{ \begin{array}{ll} 100 \text{ MW full scale} & (\text{مقادیر کامل ایناذه سیری}) \\ \pm 3 \text{ MW accuracy} & (\text{دقیقت ایناذه سیری}) \\ (\sigma = 1 \text{ MW} = 0.01 \text{ pu}) & \end{array} \right.$$

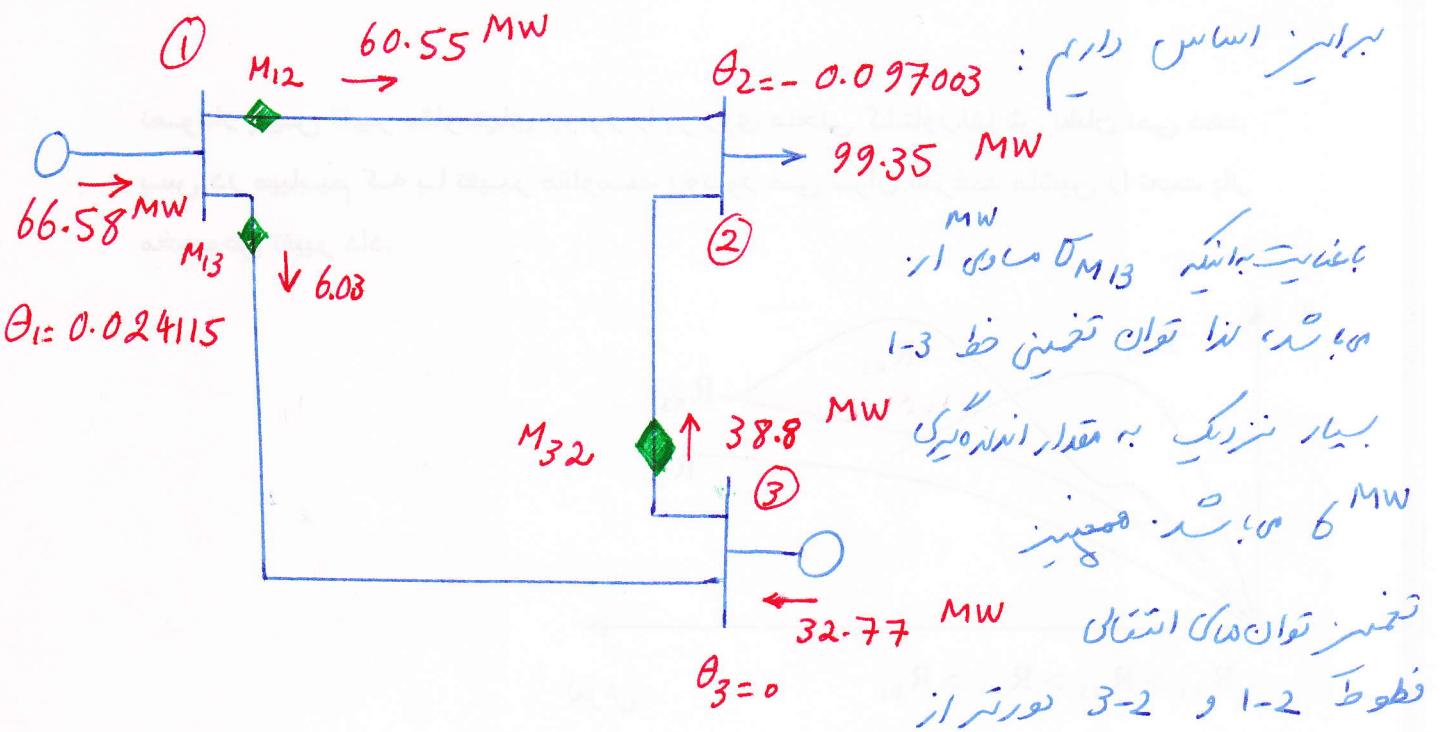
$$\begin{array}{l} \text{دلتا ایناذه سیری} \\ M_{13} \end{array} \left\{ \begin{array}{ll} 100 \text{ MW full scale} & \\ \pm 0.3 \text{ MW accuracy} & \\ (\sigma = 0.1 \text{ MW} = 0.001 \text{ pu}) & \end{array} \right.$$

روابط بین توان متریک نوواریز  $R$  تغییر نموده که این است از:

$$[R] = \begin{bmatrix} \sigma_{M_{12}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{M_{13}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{M_{32}}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \theta_1^{\text{est}} \\ \theta_2^{\text{est}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 2.5 & 0 \\ -5 & 0 & -4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 10^{-4} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 5 & -5 \\ 2.5 & 0 \\ 0 & -4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.62 \\ 0.06 \\ 0.37 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 5 & 2.5 & 0 \\ -5 & 0 & -4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 10^{-4} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0.024115 \\ -0.097003 \end{bmatrix} =$$



\* تحضير حلول مبنية : AC

تحضير حلول مبنية من خلال تحليل خطوط معروفة وتحضير حلول مبنية من خلال تحليل خطوط غير معروفة.

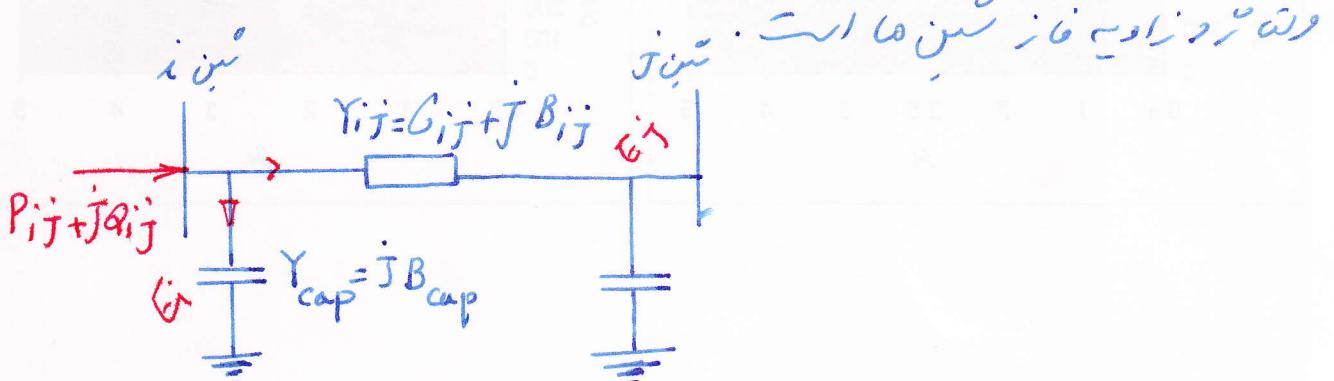
$$\text{Min } J(x) = \sum_{i=1}^{N_m} \frac{(z_i - f_i(x))^2}{\sigma_i^2}$$

Measurement (Residual)  $\approx z_i - f_i(x)$

$J(n)$   $\approx$  مجموع الخطوط المترافق  $f_i(n)$  على خطوط معروفة.

• درین شبیه متناسب با مقادیر اندامهای شده قابل توان استخراج، توان را کنترل کنید.  
توان خارجی - جریان و ولتاژ موقعيت Tap کرانفر، متر رها می‌باشد.  
متغیرهای حالت، مقادیر ولتاژ و زوایای فاز آنها را کم شنیدن می‌باشد.  
مشخصه موقيعیت Tap کرانفر، متر رها می‌باشد.

• توان استخراج خطی دارد که کوتاه نماینده شود، این عبارت از عبارت



$$\begin{aligned}
 P_{ij} + jQ_{ij} &= E_i [(E_i - E_j) Y_{ij}]^* + E_i [E_i Y_{cap}]^* \\
 &= [ |E_i|^2 - |E_i| |E_j| \cos(\theta_i - \theta_j) - j |E_i| |E_j| \sin(\theta_i - \theta_j) ]^* \\
 &\quad (G_{ij} + jB_{ij})^* - j |E_i|^2 \cdot B_{cap}
 \end{aligned}$$

• پس از شاباع  $f_i(x)$  بحث کنی غیرخطی بود و توان بخار اندامهای مقدار  
صادر ضرورت از  $x_i$  می‌باشد، سپورت خطا نمایندگان.

جبری زیرا  $J(n, n)$ : (نحوه خطی می باشد)  $\rightarrow$  MVAR  $\rightarrow$  MW (میانیک)

: (نحوه دوامی)

$$\frac{\left[ MW_{ij}^{meas} - \left[ |E_i|^2 G_{ij} - |E_i| |E_j| (\cos(\theta_i - \theta_j) G_{ij} + \sin(\theta_i - \theta_j) B_{ij}) \right] \right]^2}{\sigma_{MW_{ij}}^2}$$

نمایانه ۲

$$\frac{\left[ MVAR_{ij}^{meas} - \left[ -|E_i|^2 (B_{Cap} + B_{ij}) - |E_i| |E_j| (\sin(\theta_i - \theta_j) G_{ij} - \cos(\theta_i - \theta_j) B_{ij}) \right] \right]^2}{\sigma_{MVAR_{ij}}^2}$$

$(\theta, |E|)$  رابطه خوب بین مجموعات انتقالی و توان مکاری است. این روابط می توانند در برآیندهای  $J(n)$  از نظر مقدار و نوع را درست نمایند. در نتیجه  $J(n)$  کارایی نیوتن را دارد.

\* نیوتن:

آنکه  $i=1, \dots, n$  برای  $g_i(x)$  فرض کنیم

$\therefore i=1, \dots, n$  برای  $g_i(x) = g_i^{des}$  نتیجه شود  $x$

: (برای اینجا مطلب است)  $g_i$  برای  $x$

$$g_i^{des} - g_i(x) = 0$$

بـ خواه داریم بـ اینداهـ  $x$  بـ  $x^{\text{des}}$  نزدیکی داشته باشد:

$$g^{\text{des}} - g(x + \Delta x) = g^{\text{des}} - g(x) - g'(x) \cdot \Delta x = 0$$

لطفاً بـ

$$\Rightarrow \Delta x = [g'(x)]^{-1} (g^{\text{des}} - g(x))$$

بنابراین  $x^{\text{new}} = x^{\text{old}} + \Delta x$  می‌باشد،  $\Delta x$  را که تابع  $f(x)$  را در  $x^{\text{old}}$  نزدیکی کرده باشد و نزدیکی  $x^{\text{des}}$  باشد.

حل مسأله تخمین  $x^{\text{des}}$  غیرخطی:

$$\min_x J(x) = \sum_{i=1}^{N_m} \frac{[z_i - f_i(x)]^2}{\sigma_i^2}$$

$\nabla_x J(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial J(x)}{\partial x_1} \\ \frac{\partial J(x)}{\partial x_2} \\ \vdots \\ z_i - f_i(x) \end{bmatrix} = -2 \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_{N_m}}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & & & \\ & \frac{1}{\sigma_2^2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix}^{-1} *$

آخر رابع:  $f(x)$  را در دامنه  $w$  برای  $f(w)$  تقریب کنید.

$$\frac{\partial f(w)}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial w_1} & \frac{\partial f_1}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial w_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial w_1} & \frac{\partial f_2}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix} \triangleq [H]$$

$$\nabla_x J(n) = \left\{ -2 [H]^T [R]^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(n) \\ z_2 - f_2(n) \\ \vdots \end{bmatrix} \right\}$$

$o = g_i^{\text{des}}$  : دلالة تقييمية لبيانات المدخلات  $\nabla_x J(n)$  هي

$$\Delta x = \underbrace{\left[ \frac{\partial \nabla_x J(n)}{\partial x} \right]^{-1}}_{g'(n)^{-1}} \cdot \underbrace{[-\nabla_x J(n)]}_{-g(n)}$$

\* مراجعة مبرطة بـ  $\nabla_x J(n)$  \*  
\* مراجعة مبرطة بـ  $[H]$  \*

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \nabla_x J(n) &= \frac{\partial}{\partial x} \left[ -2 [H]^T [R]^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(n) \\ z_2 - f_2(n) \\ \vdots \end{bmatrix} \right] \\ &= -2 [H]^T [R]^{-1} [-H] \\ &= 2 [H]^T [R]^{-1} [H] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{1}{2} \left[ [H]^T [R]^{-1} [H] \right]^{-1} \cdot \left[ 2 [H]^T [R]^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(n) \\ z_2 - f_2(n) \\ \vdots \end{bmatrix} \right] \\ &= \left[ [H]^T [R]^{-1} [H] \right]^{-1} \left[ [H]^T [R]^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(n) \\ z_2 - f_2(n) \\ \vdots \end{bmatrix} \right] \end{aligned}$$

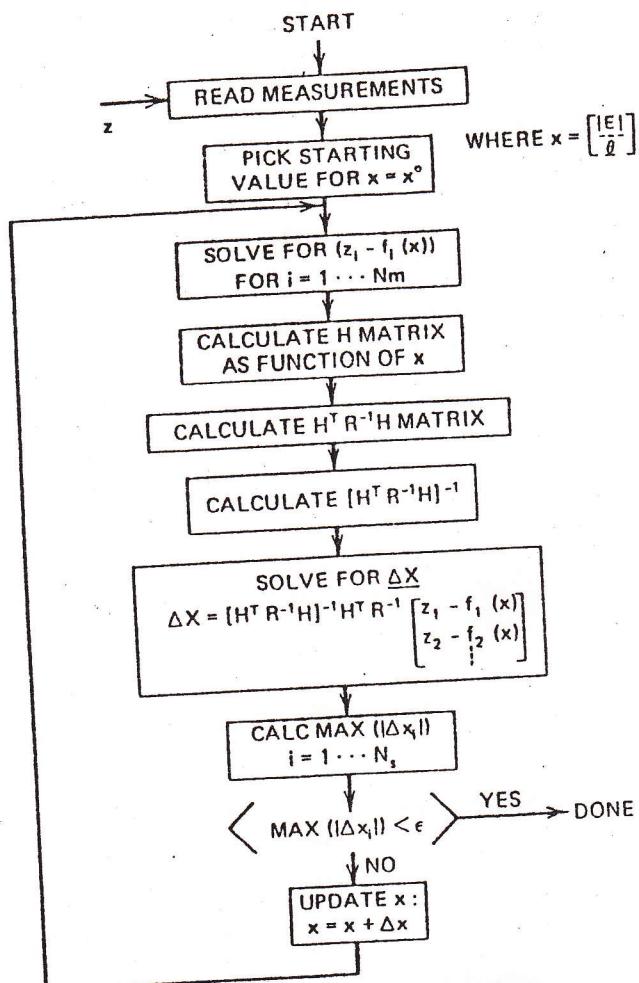


FIG. 12.11 State estimation solution algorithm:

for the bus-voltage magnitudes and phase angles given the measurements shown in Table 12.2. The procedure took three iterations with  $x^0$  initially being set to 1.0 pu and 0 rad for the voltage magnitude and phase angle at each bus, respectively. At the beginning of each iteration, the sum of the measurement residuals,  $J(x)$  (see Eq. 12.30), is calculated and displayed. At the end of each iteration, the maximum  $\Delta|E|$  and the maximum  $\Delta\theta$  are calculated and displayed. The iterative steps for the six-bus system used here produced the results given in Table 12.3.

The value of  $J(x)$  at the end of the iterative procedure would be zero if all measurements were without error or if there were no redundancy in the measurements. When there are redundant measurements with errors, the value of  $J(x)$  will not normally go to zero. Its value represents a measure of the overall

*V-a*

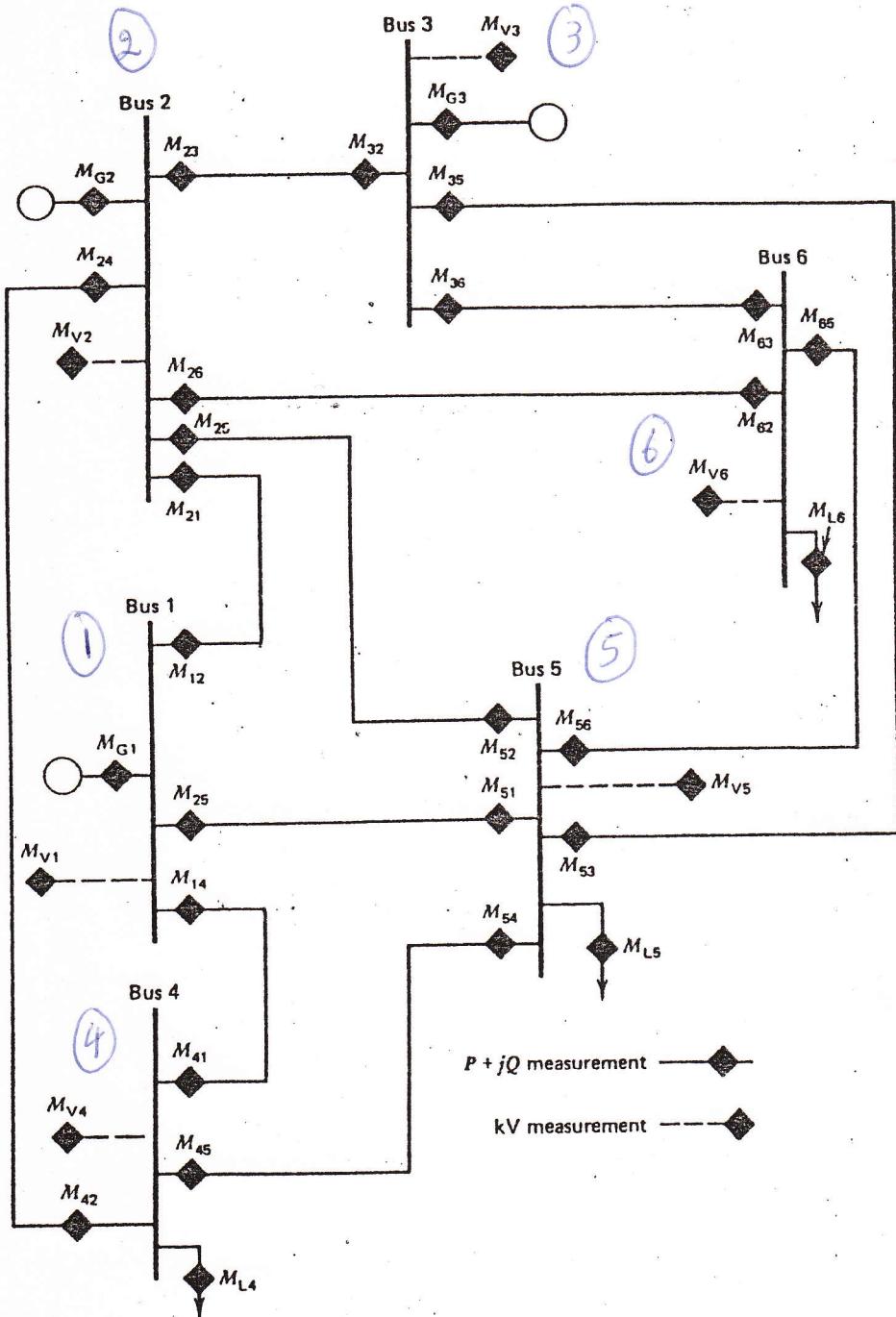


FIG. 12.12 Six-bus system with measurements.

$$N_m = 34$$

XV-b

478 AN INTRODUCTION TO STATE ESTIMATION IN POWER SYSTEMS

TABLE 12.2 Base-Case Conditions

Measurement	Base-Case Value			Measured Value		
	kV	MW	MVAR	kV	MW	MVAR
$M_{v1}$	241.5			238.4		
$M_{G1}$		107.9	16.0		113.1	20.2
$M_{12}$		28.7	-15.4		31.5	-13.2
$M_{14}$		43.6	20.1		38.9	21.2
$M_{15}$		35.6	11.3		35.7	9.4
$M_{v2}$	241.5			237.8		
$M_{G2}$		50.0	74.4		48.4	71.9
$M_{21}$		-27.8	12.8		-34.9	9.7
$M_{24}$		33.1	46.1		32.8	38.3
$M_{25}$		15.5	15.4		17.4	22.0
$M_{26}$		26.2	12.4		22.3	15.0
$M_{23}$		2.9	-12.3		8.6	-11.9
$M_{v3}$	246.1			250.7		
$M_{G3}$		60.0	89.6		55.1	90.6
$M_{32}$		-2.9	5.7		-2.1	10.2
$M_{35}$		19.1	23.2		17.7	23.9
$M_{36}$		43.8	60.7		43.3	58.3
$M_{v4}$	227.6			225.7		
$M_{L4}$		70.0	70.0		71.8	71.9
$M_{41}$		-42.5	-19.9		-40.1	-14.3
$M_{42}$		-31.6	-45.1		-29.8	-44.3
$M_{45}$		4.1	-4.9		0.7	-17.4
$M_{v5}$	226.7			225.2		
$M_{L5}$		70.0	70.0		72.0	67.7
$M_{54}$		-4.0	-2.8		-2.1	-1.5
$M_{51}$		-34.5	-13.5		-36.6	-17.5
$M_{52}$		-15.0	-18.0		-11.7	-22.2
$M_{53}$		-18.0	-26.1		-25.1	-29.9
$M_{56}$		1.6	-9.7		-2.1	-0.8
$M_{v6}$	231.0			228.9		
$M_{L6}$		70.0	70.0		72.3	60.9
$M_{65}$		-1.6	3.9		1.0	2.9
$M_{62}$		-25.7	-16.0		-19.6	-22.3
$M_{63}$		-42.8	-57.9		-46.8	-51.1

$\checkmark v - c$

TABLE 12.3 Iterative Results of State Estimator Solution

Iteration	$J(x)$ at Beginning of Iteration (pu)	Largest $\Delta E $ at End of Iteration (pu V)	Largest $\Delta\theta$ at End of Iteration (rad)
1	3696.86	0.1123	0.06422
2	43.67	0.004866	0.0017
3	40.33	0.0000146	0.0000227

fit of the estimated values to the measurement values. The value of  $J(x)$  can, in fact, be used to detect the presence of bad measurements.

The estimated values from the state estimator are shown in Table 12.4, together with the base-case values and the measured values. Notice that, in general, the estimated values do a good job of calculating the true (base-case) conditions from which the measurements were made. For example, measurement  $M_{23}$  shows a  $P$  flow of 8.6 MW whereas the true flow is 2.9 MW and the estimator predicts a flow of 3.0 MW.

The example shown here started from a base case or "true" state that was shown in Table 12.2. In actual practice, we only have the measurements and the resulting estimate of the state, we never know the "true" state exactly and can only compare measurements with estimates. In the presentations to follow, however, we will leave the base-case or "true" conditions in our illustrations to aid the reader.

The results in Table 12.4 show one of the advantages of using a state estimation algorithm in that, even with measurement errors, the estimation algorithm calculates quantities that are the "best" possible estimates of the true bus voltages and generator, load, and transmission line MW and MVAR values.

There are, however, other advantages to using a state estimation algorithm. First, is the ability of the state estimator to detect and identify bad measurements, and, second, is the ability to estimate quantities that are not measured and telemetered. These are introduced later in the chapter.

## 12.5 STATE ESTIMATION BY ORTHOGONAL DECOMPOSITION

One problem with the standard least-squares method presented earlier in the chapter is the numerical difficulties encountered with some special state estimation problems. One of these comes about when we wish to drive a state estimator solution to match its measurement almost exactly. This is the case when we have a circuit such as shown in Figure 12.13. All of the actual flows and injections are shown in Figure 12.13 along with the values assumed for the measurements.

In this sample system, the measurement of power at bus 1 will be assumed to be zero MW. If the value of zero is dictated by the fact that the bus has no

$\checkmark v-d$

TABLE 12.4 State Estimation Solution

Measurement	Base-Case Value			Measured Value			Estimated Value		
	kV	MW	MVAR	kV	MW	MVAR	kV	MW	MVAR
$M_{v_1}$	241.5			238.4			240.6		
$M_{G_1}$		107.9	16.0		113.1	20.2		111.9	18.7
$M_{1_2}$		28.7	-15.4		31.5	-13.2		30.4	-14.4
$M_{1_4}$		43.6	20.1		38.9	21.2		44.8	21.2
$M_{1_5}$		35.6	11.3		35.7	9.4		36.8	11.8
$M_{v_2}$	241.5			237.8			239.9		
$M_{G_2}$		50.0	74.4		48.4	71.9		47.5	70.3
$M_{2_1}$		-27.8	12.8		-34.9	9.7		-29.4	11.9
$M_{2_4}$		33.1	46.1		32.8	38.3		32.4	45.3
$M_{2_5}$		15.5	15.4		17.4	22.0		15.6	14.8
$M_{2_6}$		26.2	12.4		22.3	15.0		25.9	10.8
$M_{2_3}$		2.9	-12.3		8.6	-11.9		3.0	-12.6
$M_{v_3}$	246.1			250.7			244.7		
$M_{G_3}$		60.0	89.6		55.1	90.6		59.5	87.4
$M_{3_2}$		-2.9	5.7		-2.1	10.2		-3.0	6.2
$M_{3_5}$		19.1	23.2		17.7	23.9		19.2	22.9
$M_{3_6}$		43.8	60.7		43.3	58.3		43.3	58.3
$M_{v_4}$	227.6			225.7			226.1		
$M_{1_4}$		70.0	70.0		71.8	71.9		70.2	70.2
$M_{4_1}$		-42.5	-19.9		-40.1	-14.3		-43.6	-20.7
$M_{4_2}$		-31.6	-45.1		-29.8	-44.3		-30.9	-44.4
$M_{4_5}$		4.1	-4.9		0.7	-17.4		4.3	-5.1
$M_{v_5}$	226.7			225.2			225.3		
$M_{1_5}$		70.0	70.0		72.0	67.7		71.8	69.4
$M_{5_4}$		-4.0	-2.8		-2.1	-1.5		-4.2	-2.5
$M_{5_1}$		-34.5	-13.5		-36.6	-17.5		-35.6	-13.6
$M_{5_2}$		-15.0	-18.0		-11.7	-22.2		-15.1	-17.4
$M_{5_3}$		-18.0	-26.1		-25.1	-29.9		-18.1	-25.8
$M_{5_6}$		1.6	-9.7		-2.1	-0.8		1.3	-10.1
$M_{v_6}$	231.0			228.9			230.1		
$M_{1_6}$		70.0	70.0		72.3	60.9		68.9	65.8
$M_{6_5}$		-1.6	3.9		1.0	2.9		-1.2	4.4
$M_{6_2}$		-25.7	-16.0		-19.6	-22.3		-25.4	-14.5
$M_{6_3}$		-42.8	-57.9		-46.8	-51.1		-42.3	-55.7

 $\checkmark v-e$

• آنکه اندازه سیزیها بروز خطا باشد و یا اینکه اندازه سیزی لطفاً وجود نداشته باشد

مقدار (X) دستگار آفر صفر خواهد بود. در غیر این صورت معمولاً مقدار آن  
غیر صفر خواهد بود، این مقدار آنرا میان معیارهای بیان نسبت مقدار تخفیف کنیم.

مقدار اندازه سیزی را بدین شکر می‌توانیم بگیریم:

• علاوه بر قوانینی که مکان رسانی و تشخیص اندازه سیزی یافتن مناسب باشند

در تحقیق کمیت همچو که اندازه سیزی را مانند آن می‌دانیم تحقیق زندگی می‌باید

که در حقیقت همچو دیده بآن بود راضیه باشد.