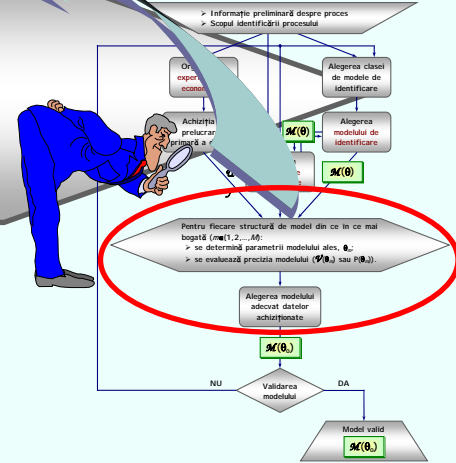


# 1 Privire de ansamblu

## Experiment de identificare (continuare)

Pentru fiecare structură de model din ce în ce mai bogată ( $m \in \{1, 2, \dots, M\}$ ):

- se determină parametrii modelului ales,  $\theta_m$ ;
- se evaluează precizia modelului ( $\mathcal{V}(\theta_m)$  sau  $P(\theta_m)$ ).



indicele structural al modelului (parametric)

$$m = n\theta$$

Alegerea modelului adecvat datelor achiziționate

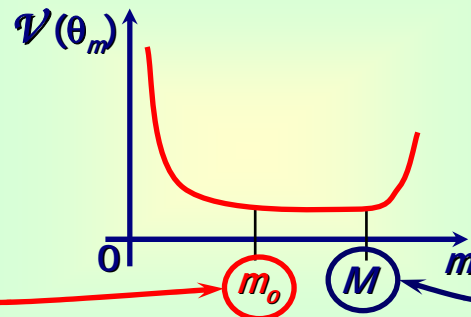
☞ Acesta constituie nucleul experimentului de identificare.

Teste (criterii) de adecvanță

Exemplu

- Modele de identificare de același tip, dar de diferite structuri sunt mai întâi **determinate** și apoi **comparate** între ele, **din punctul de vedere al preciziei**, în vederea alegerii celui **adecvat**.

Testul de adecvanță bazat pe criteriul aplatizării preciziei



indicele structural optimal

indicele structural maximal

☞ Datorită Principiului parsimoniei, modelul adecvat nu are în mod necesar structura cea mai complexă, așa cum indică testul de adecvanță.



# 1 Privire de ansamblu

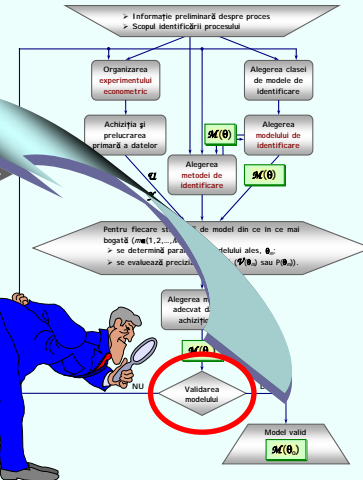
## Experiment de identificare (continuare)

Numai modelele de identificare **adecvate și valide** pot fi returnate după desfășurarea experimentului de identificare.

### Validarea unui model de identificare?

Operație care constă în **testarea funcționării modelului comparativ cu cea a procesului**, atunci cînd se inițiază o nouă sesiune de stimulare a ambelor entități cu aceeași intrare.

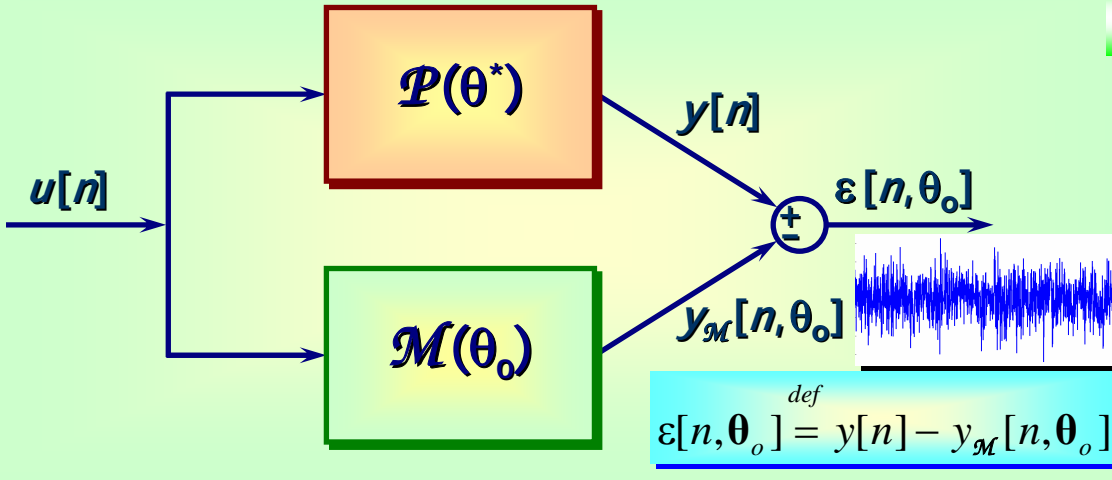
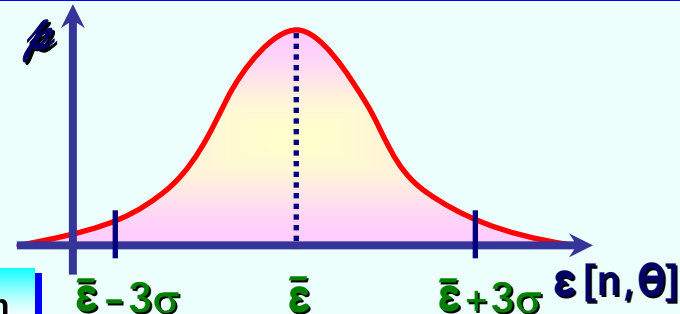
### Validarea modelului



### Exemplu

### Testul de albire din cazul utilizării MCMMP

Eroarea dintre proces și model trebuie să aibă caracteristicile unui **zgomot alb normal distribuit (Gaussian)**.



### Extrem de important

Validarea unui model de identificare trebuie să se efectueze pe un **alt set de date** decât cel utilizat pentru determinarea modelului.

# ① Privire de ansamblu

## Exemplu

## Identificarea unei aeroterme



- Principala caracteristică a unei aeroterme: **capacitatea de a păstra temperatura constantă a aerului ventilat la ieșire, în pofida temperaturii aerului absorbit.**
- Aceasta se realizează cu un **sistem de compensare a temperaturii** bazat pe o **buclă simplă de reglare.**

## Problemă

Identificarea aerotermei în buclă deschisă, în vederea proiectării regulatorului care să asigure rejecția perturbațiilor și menținerea temperaturii în jurul unei valori dorite.

Perturbații?



Curenți de aer de diferite temperaturi.

## Desfășurarea experimentului de identificare

### ① Precizarea informațiilor preliminare

## Aeroterma

## Schema funcțională

pagina următoare

Sistem electro-mecanic, ale cărui ecuații de funcționare bazate pe legile dinamicii, electricității și termodinamicii conduc la concluzia că ordinul maxim al modelului de identificare este **2**.

# ① Privire de ansamblu

Exemplu

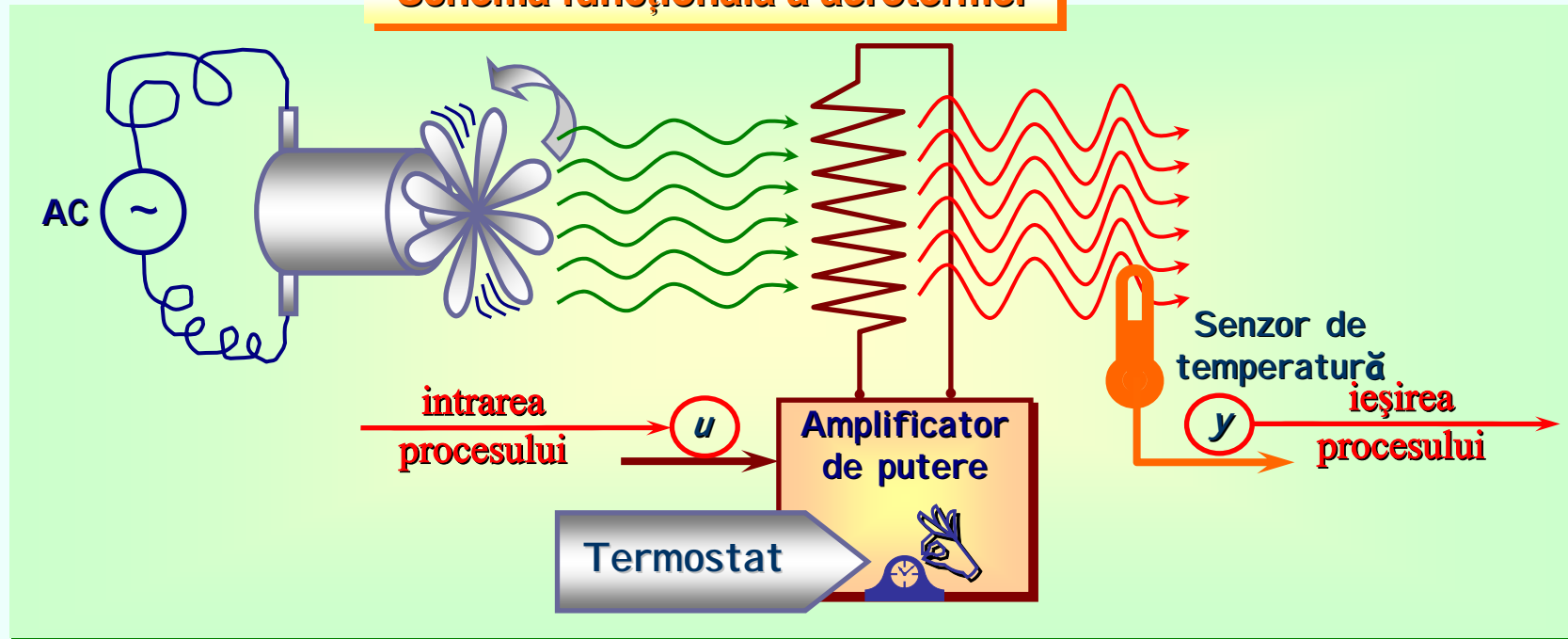
Identificarea unei aeroterme (continuare)

Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

① Precizarea informațiilor preliminare (continuare)



Schema funcțională a aerotermei



- Aerul rece este ventilat către o rezistență electrică alimentată prin intermediul unui amplificator de putere, care poate varia tensiunea și/sau intensitatea curentului electric ce o traversează. Temperatura aerului cald este măsurată prin intermediul unui senzor.
- Pe circuitul de la intrare la ieșire există 4 componente ale procesului: **amplificatorul de putere, rezistența electrică, fluxul de aer cald și senzorul de temperatură.**
- Procesul este **neliniar**, dar **liniarizabil în jurul fiecărei temperaturi din plaja admisibilă** pe care o poate asigura rezistența electrică (avînd o putere maximă).



# ① Privire de ansamblu

Exemplu

Identificarea unei aeroterme (continuare)



Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

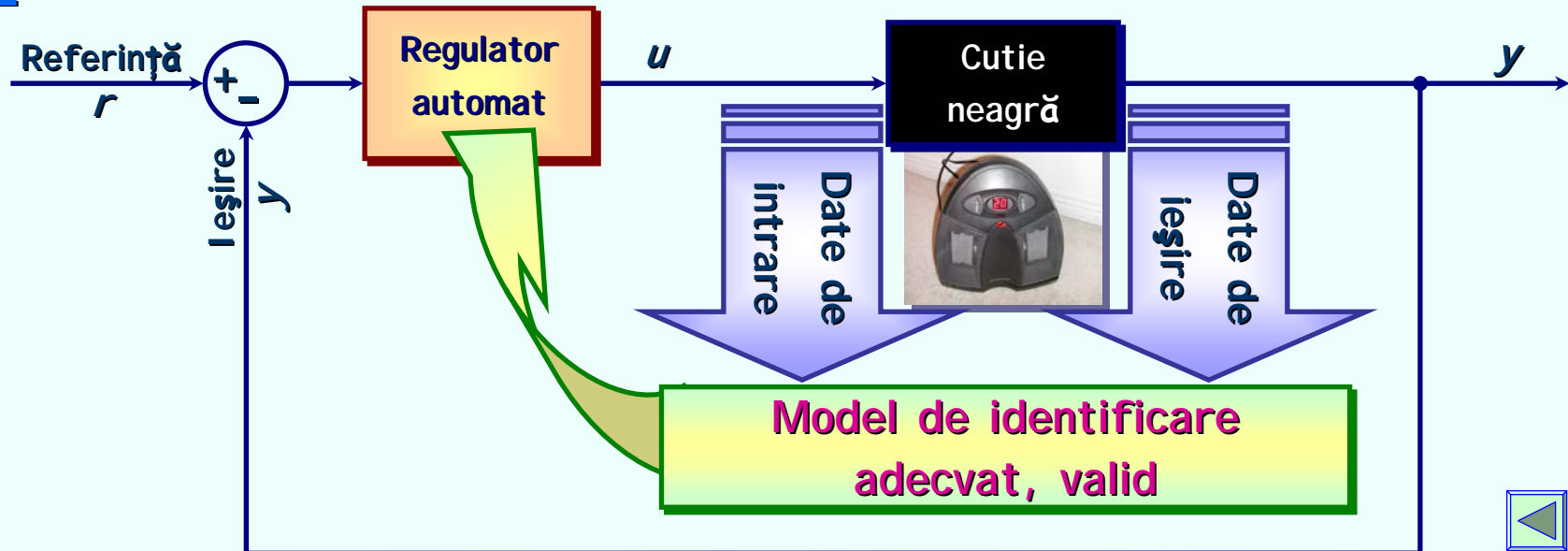
① Precizarea informațiilor preliminare (continuare)

- Procesul poate fi considerat ca avînd un **tip mediu de variație**, deoarece  **timpul de stabilizare**  a unei temperaturi fixate este de circa **2s**.
- Se poate considera că **parametrii procesului sunt constanți**.
- Aeroterma poate fi comandată cu o gamă largă de semnale de intrare, inclusiv de **persistență ridicată**, dar cu **amplitudinea limitată de capacitatea amplificatorului de putere**.
- **Perturbația** provine de la **fluxul de aer rece**, care poate avea atît temperatură cît și debit variabile.

Scopul  
identificării



Determinarea unui model matematic necesar proiectării unui regulator automat care să asigure atît o bună rejecție a perturbațiilor, cît și menținerea temperaturii fluxului de aer cald în jurul unei valori precizate prin intermediul termostatului.



# ① Privire de ansamblu

Exemplu

Identificarea unei aeroterme (continuare)

Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

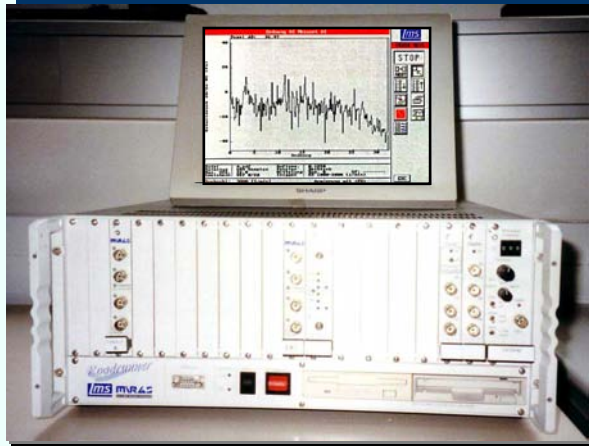
② Stimularea procesului și achiziția datelor



- Frecvența de tăiere a filtrului analogic:  $F_c = 50$  [Hz]
- Frecvența de eșantionare:  $F_s = 100$  [Hz]
- Timpul mort normalizat:  $nk = 10$
- Se renunță pre-filtrarea digitală, deoarece SNR este suficient de mare.
- Colectarea datelor se poate realiza fie cu **o placă de achiziție de uz general**, fie cu **un sistem de achiziție dedicat**.

Capabilități principale

LMS Roadrunner (Belgia)



- pre-filtrarea datelor
- cuantificarea datelor pe **12 biți** (numărul maxim de biți: **32**)
- achiziție de date simultană pe cel puțin **2 canale** (dispune de **4 canale** cu extensie la **16 canale**)
- plajă largă de frecvențe de eșantionare (între **1 Hz** și **100 kHz**)
- compatibilitate cu un mare număr de senzori
- posibilitatea de a trasa spectre și chiar spectrograme (spectre variabile în decursul timpului)

- Semnalul de stimul (de persistență ridicată): **Pseudo-Aleator (Binar)** (**SPA(B)**).

- Dimensiunea orizontului de măsură:  $N = 2^{10} = 1024$

# 1 Privire de ansamblu

## Exemplu Identificarea unei aeroterme (continuare)

### Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

#### 3 Alegerea clasei de modele și a modelului specific



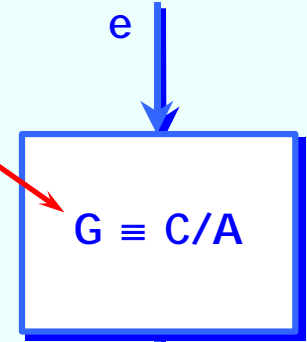
Clasa de modele  
**ARMAX**  
[na,nb,bc]

$$\underbrace{A(q^{-1})}_{\text{AR}} y[n] = \underbrace{B(q^{-1})}_{\text{X}} u[n] + \underbrace{C(q^{-1})}_{\text{MA}} e[n] \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

**Auto-Regresiv Control Medie**  
**eXogen Alunecătoare**

Filtru de zgomot

Filtru de sistem



$q^{-1}$  Operatorul de întârziere cu un pas.

$$(q^{-1} f)[n] = f[n-1] \quad \forall n \in \mathbb{Z}$$

**Polinoame**

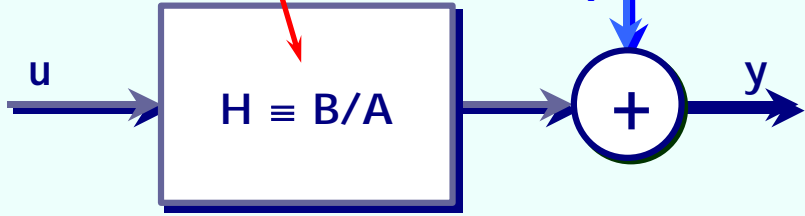
$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na}$$

$$B(q^{-1}) = b_1 q^{-nk} + \dots + b_{nb} q^{1-nk-nb}$$

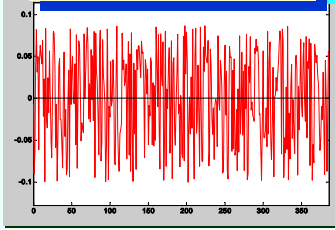
$$C(q^{-1}) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{nc} q^{-nc}$$

intrarea nu se transmite instantaneu la ieșire

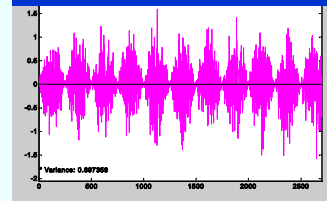
zgomotul se transmite instantaneu la ieșire



**Zgomotul alb**  $e$  proces stocastic total necorelat, impredictibil



**Zgomotul colorat**  $v$  zgomot alb filtrat



**Necunoscutele modelului**

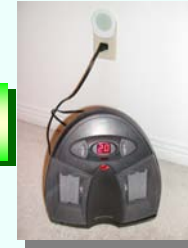
- coeficienții polinoamelor
- numărul coeficienților

• Modelele posibile ale aerotermei:

- |          |          |
|----------|----------|
| ARX[2,2] | ARX[2,3] |
| ARX[3,2] | ARX[3,3] |

# 1 Privire de ansamblu

## Exemplu Identificarea unei aeroterme (continuare)



## Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

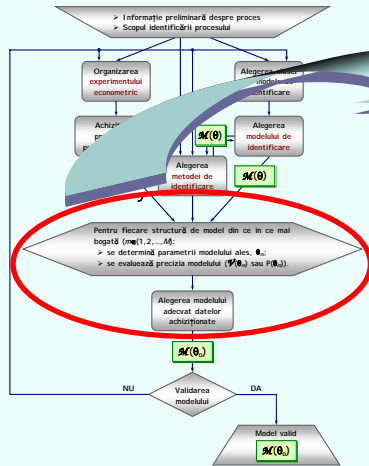
### 4 Alegerea metodei de identificare

ARX

MCMMP sau MVI

mai bine adaptată modelului

### 5 Determinarea modelului adecvat



ARX[2,3]

$$\underbrace{A(q^{-1})}_{AR} y[n] = \underbrace{B(q^{-1})}_{X} u[n] + e[n] \quad \forall n \in \mathbb{Z}$$

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} \\ B(q^{-1}) &= q^{-10} (b_1 + b_2 q^{-1} + b_3 q^{-2}) \end{aligned}$$

$nk = 10$

- Comparînd coeficienții polinomului  $B$  între ei, se constată că termenul de grad maxim **ar putea fi neglijat** în raport cu ceilalți termeni.

ARX[2,2]  
model adecvat parsimonios

Modelul parsimonios trebuie determinat din nou. Nu este suficientă anularea coeficientului termenului neglijat în modelul adecvat mai puțin parsimonios.

### 6 Validarea modelului adecvat

⊗ Testul de validare eșuează.



Modelul perturbațiilor este probabil **inadecvat**.



# 1 Privire de ansamblu

Exemplu

Identificarea unei aeroterme (continuare)



Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

7 Reconsiderarea modelului matematic și a metodei de identificare

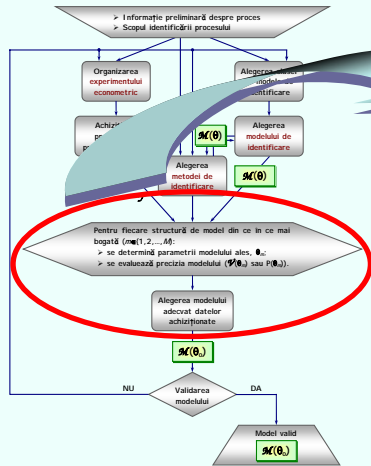
ARMAX[2,2,nc]

MMEP

$N_c = 10$

← indicele structural maxim al modelului de zgomot

8 Redeterminarea modelului adecvat



ARMAX[2,2,2]

$$\underbrace{A(q^{-1})}_{AR} y[n] = \underbrace{B(q^{-1})}_{X} u[n] + \underbrace{C(q^{-1})}_{MA} e[n] \quad \forall n \in \mathbb{Z}$$

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} \\ B(q^{-1}) &= q^{-10} (b_1 + b_2 q^{-1}) \\ C(q^{-1}) &= 1 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} \end{aligned}$$

- Comparînd coeficienții polinomului  $C$  între ei, se constată că termenul de grad maxim **ar putea fi neglijat** în raport cu ceilalți termeni.

ARMAX[2,2,1]

model adecvat parsimonios

👉 Modelul parsimonios trebuie determinat din nou.

9 Validarea modelului adecvat

😊 Modelul este validat.

$\mathcal{M}(\theta_0)$

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} \\ B(q^{-1}) &= q^{-10} (b_1 + b_2 q^{-1}) \\ C(q^{-1}) &= 1 + c_1 q^{-1} \end{aligned}$$