Оценка надежности функционирования метрологической линии на полупроводниковом производстве

Домашнее задание

Власов Е.Ю.

8 мая 2018 г.

Содержание

1 Введение

Как известно, соблюдение норм метрологического контроля необходимо для производства качественной продукции в любой отрасли промышленности. Чем меньше допуск - тем больше должна быть разрешающая способность и точность метрологического обороудования.

В качестве примера предлагается рассмотрению линия метрологического контроля полупроводникового производства MAPPER LLC : контроль после проведения процесса термического оксидирования,а также процедура проведения контроля качества процесса контактной литографии (см. рис. 1).

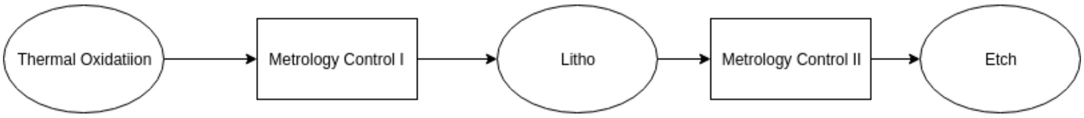

Рис. 1: Структура и этапы проведения контроля

2 Контроль 1

Процедура метрологического контроля состоит в проверке равномерности нанесенного оксида кремния на поверхность кремниевой подложки. Данное измерение может быть проведено с помощью двух взаимозаменяемых приборов, которые на схеме ниже (см. рис. 2) условно обозначены как Filmetrics и Ellipsometer.(смысл и назначение ясно из названий, вид приборов приведен на рис. 4 и рис. 3) .

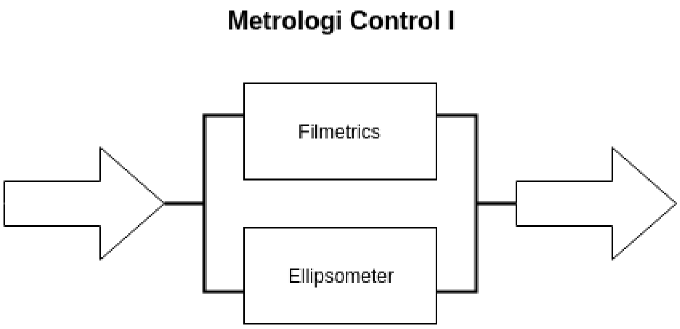

Рис. 2: Структурная схема 1 контроля

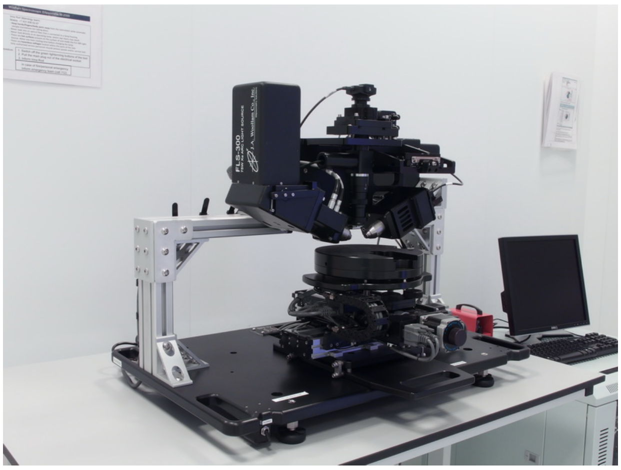

Рис. 3: Эллипсометер

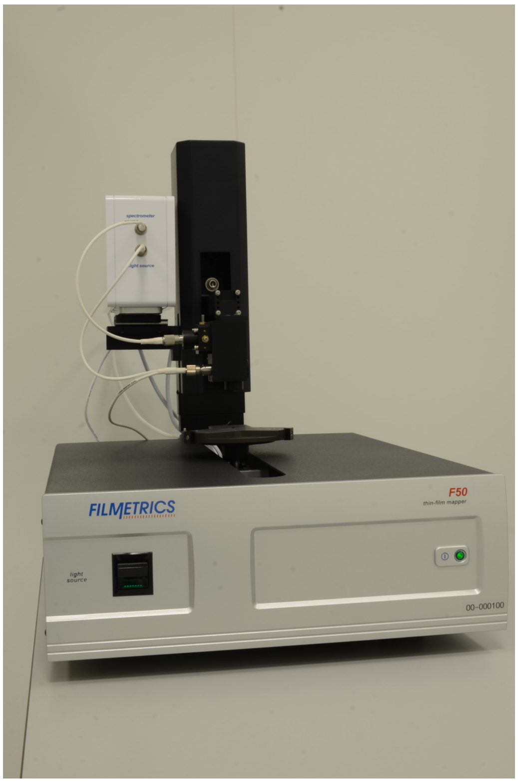

Рис. 4: Прибор для измерения толщины пластин и покрытий (filmetrics)

На основе данных о количестве ремонтов оборудования за год и переводов в статус высокого загрязнения (что также будем относить к неработоспособному состоянию) вычислим параметры интенсивности отказов и восстановления, затем на основе построенных графов, описывающих дублированную систему, вычислим коэффициент готовности при прямом порядке восстановления и обратном.

2.1 Схема перевода метрологической линии из работоспособного состояния в неработоспособное

Будем рассматривать ординарный поток, значит прямого перехода из работоспособного состояния в неработоспособное у данной системы нет.(см. рис. 5).

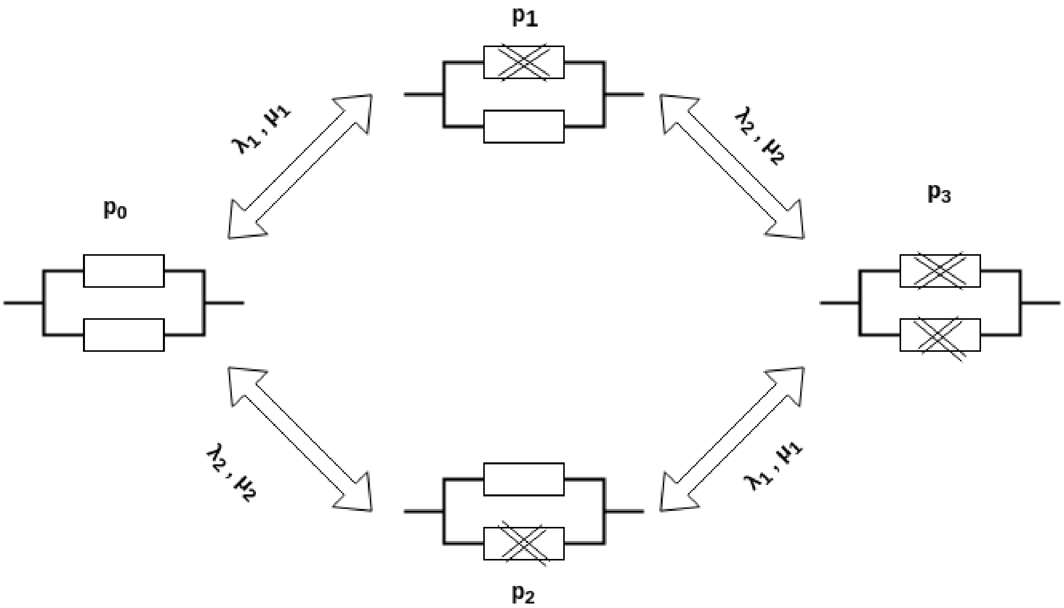

Рис. 5: Граф

2.2 Прямой порядок восстановления

При прямом порядке восстановление начинают с элемента, отказавшего первым. Наглядно это может быть представлено как на рис. 6.

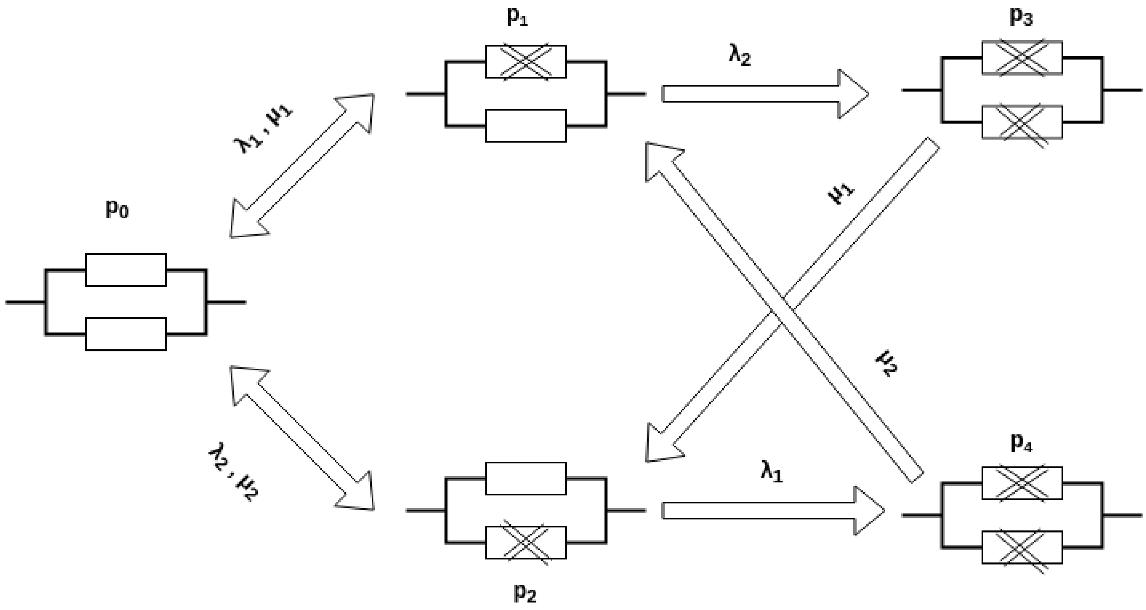

Рис. 6: Прямой порядок восстановления

2.3 Обратный порядок восстановления

Прим обратном порядке - первым восстановлению подлежит элемент, отказавшим последним. Схема на рис.

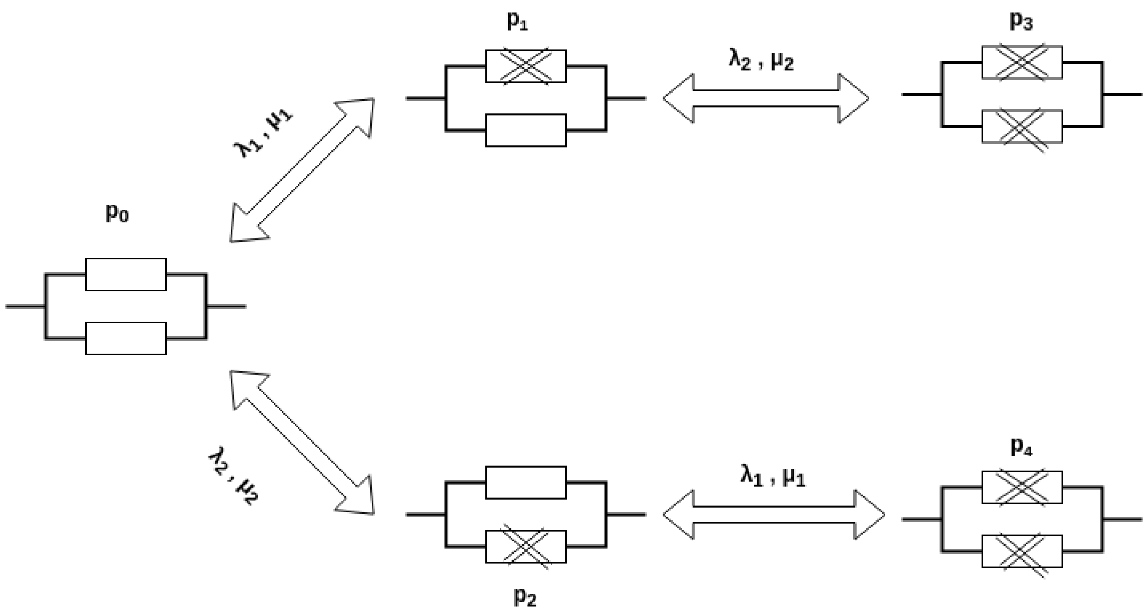

Рис. 7: Обратный порядок восстановления

2.4 Вывод

Исходя из сложности обслуживания оборудования и квалификации ремонтных бригад можно оценить коэффициент готовности метрологической систем. Результаты расчета приведены в приложении к отчету. Стоит заметить, что при восстановлении системы, где первый элемент восстановить сложнее, но отказывает он реже, более предпочтительным является обратный порядок восстановления, что подтверждается расчетом в приложении. Подбирая более квалифицированные и опытные бригады можно добиться достаточно высокого значения коэффициента готовности оборудования.

3 Контроль 2

Процедура контроля качества процесса литографии выглядит как показано на рис. 8. Оборудование показано на рис. и рис.

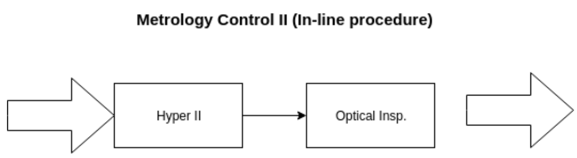

Рис. 8: Структурная схема 2 контроля

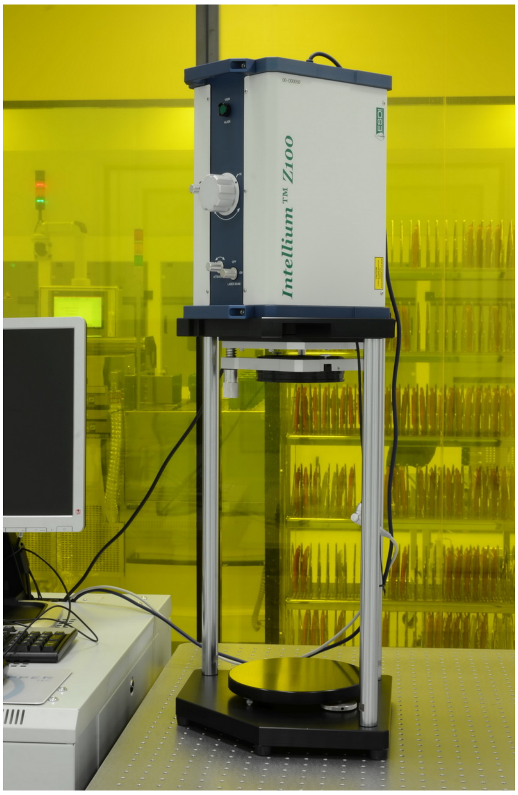

Рис. 9: Интерферометр для измерения эллиптичности и изгиба пластин

Рис. 10: Оптический микроскоп

3.1 Основное соединение

Представим данный процесс в виде основного соединения и рассмотрим, как влияет интенсивность отказов первой установки, второй и сложности их восстановления на коэффициент готовности.

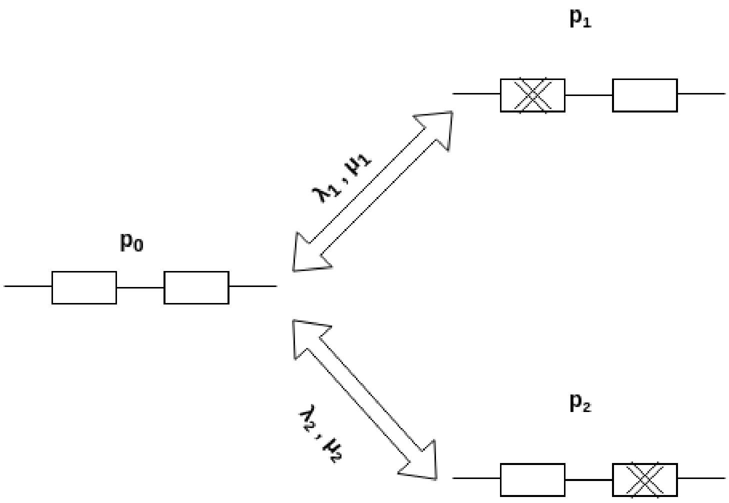

Рис. 11: Граф

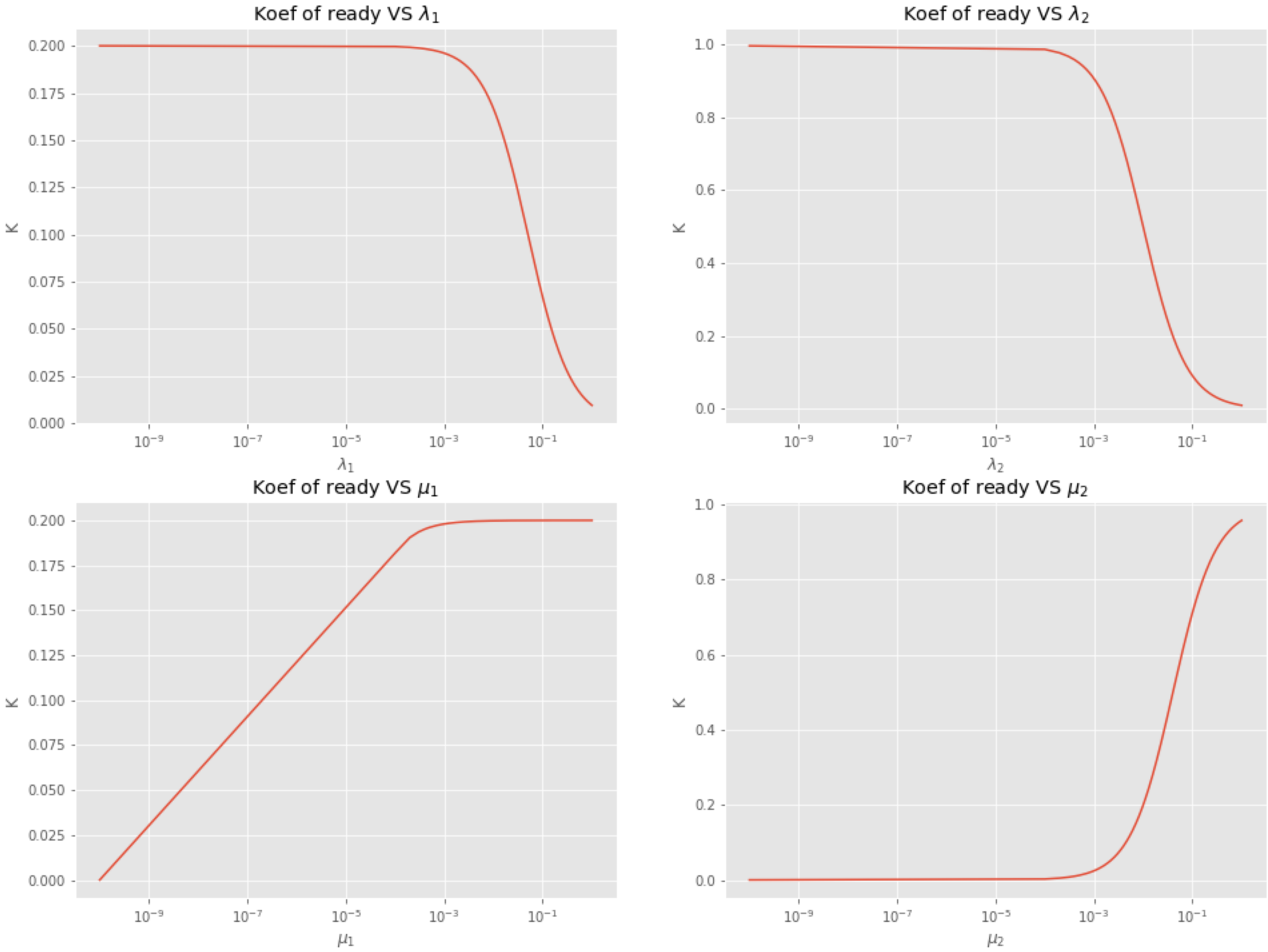

Рис. 12: Влияние интенсивности отказов и восстановлений на коэффициент готовности системы

```
clear all;
clc;

mu1 = 0.5*10^(-2);
mu2 = 2.5*10^(-4);
lambda1 = 50*10^(-6);
lambda2 = 35*10^(-3);

p2 = mu2*mu1*(lambda1+lambda2+mu1)*lambda2/
(lambda1^2*lambda2*mu1+lambda1^2*lambda2*mu2+lambda1^2*mu1*mu2+lambda1*lambda2^2*m
p1 = mu1*(lambda1*mu2+lambda2*mu2+mu2^2)*lambda1/
(lambda1^2*lambda2*mu1+lambda1^2*lambda2*mu2+lambda1^2*mu1*mu2+lambda1*lambda2^2*m
p0 = mu1*mu2*(lambda1*mu1+lambda2*mu2+mu1*mu2)/
(lambda1^2*lambda2*mu1+lambda1^2*lambda2*mu2+lambda1^2*mu1*mu2+lambda1*lambda2^2*m

Kg = p2+p1+p0;
fprintf('direct recovery order: %f\n',Kg);



p0_back = 1/ (1+lambda1/mu1 + lambda2/mu2 + 2*lambda1*lambda2/
(mu1*mu2));
p1_back = lambda1/mu1*p0_back;
p2_back = lambda2/mu2*p0_back;
Kg_back = p0_back +p1_back + p2_back;
fprintf('reverse recovery order: %f\n',Kg_back);
```

```
direct recovery order: 0.828473
reverse recovery order: 0.980530
```

Published with MATLAB® R2016a

> $A := Matrix\left(\left[\left[-(\lambda 1+\lambda 2), \frac{\mu 1^2}{\lambda 2}, \frac{\mu 2^2}{\lambda 1}\right], \left[\lambda 1, -\frac{\mu 1 \cdot (\lambda 2+\mu 1)}{\lambda 2}, \mu 2\right], \left[1, 1+\frac{\mu 1}{\lambda 2}, 1+\frac{\mu 2}{\lambda 1}\right]\right]\right)$

$$A := \begin{bmatrix} -\lambda 1-\lambda 2 & \frac{\mu 1^2}{\lambda 2} & \frac{\mu 2^2}{\lambda 1} \\ \lambda 1 & -\frac{\mu 1\ (\lambda 2+\mu 1)}{\lambda 2} & \mu 2 \\ 1 & 1+\frac{\mu 1}{\lambda 2} & 1+\frac{\mu 2}{\lambda 1} \end{bmatrix} \tag{1}$$

> $Det(A)$

$$Det\left(\begin{bmatrix} -\lambda 1-\lambda 2 & \frac{\mu 1^2}{\lambda 2} & \frac{\mu 2^2}{\lambda 1} \\ \lambda 1 & -\frac{\mu 1\ (\lambda 2+\mu 1)}{\lambda 2} & \mu 2 \\ 1 & 1+\frac{\mu 1}{\lambda 2} & 1+\frac{\mu 2}{\lambda 1} \end{bmatrix}\right) \tag{2}$$

> $det(A)$

$$det\left(\begin{bmatrix} -\lambda 1-\lambda 2 & \frac{\mu 1^2}{\lambda 2} & \frac{\mu 2^2}{\lambda 1} \\ \lambda 1 & -\frac{\mu 1\ (\lambda 2+\mu 1)}{\lambda 2} & \mu 2 \\ 1 & 1+\frac{\mu 1}{\lambda 2} & 1+\frac{\mu 2}{\lambda 1} \end{bmatrix}\right) \tag{3}$$

> $simplify(\%)$

$$det\left(\begin{bmatrix} -\lambda 1-\lambda 2 & \frac{\mu 1^2}{\lambda 2} & \frac{\mu 2^2}{\lambda 1} \\ \lambda 1 & -\frac{\mu 1\ (\lambda 2+\mu 1)}{\lambda 2} & \mu 2 \\ 1 & \frac{\lambda 2+\mu 1}{\lambda 2} & \frac{\lambda 1+\mu 2}{\lambda 1} \end{bmatrix}\right) \tag{4}$$

> $DET\_BASE := linalg[det](A);$

$$DET\_BASE := \frac{1}{\lambda 2\, \lambda 1} \left(\lambda 1^2\, \lambda 2\, \mu 1 + \lambda 1^2\, \lambda 2\, \mu 2 + \lambda 1^2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2^2\, \mu 1 + \lambda 1\, \lambda 2^2\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 1^2 + 2\, \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 2^2 + \lambda 1\, \mu 1^2\, \mu 2 + \lambda 1\, \mu 1\, \mu 2^2 + \lambda 2^2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 2\, \mu 1^2\, \mu 2 + \lambda 2\, \mu 1\, \mu 2^2 + \mu 1^2\, \mu 2^2 \right) \quad \textbf{(5)}$$

> $A\_1 := Matrix\left(\left[\left[0, \frac{\mu 1^2}{\lambda 2}, \frac{\mu 2^2}{\lambda 1} \right], \left[0, -\frac{\mu 1 \cdot (\lambda 2 + \mu 1)}{\lambda 2}, \mu 2 \right], \left[1, 1 + \frac{\mu 1}{\lambda 2}, 1 + \frac{\mu 2}{\lambda 1} \right] \right] \right)$

$$A\_1 := \begin{bmatrix} 0 & \frac{\mu 1^2}{\lambda 2} & \frac{\mu 2^2}{\lambda 1} \\ 0 & -\frac{\mu 1\, (\lambda 2 + \mu 1)}{\lambda 2} & \mu 2 \\ 1 & 1 + \frac{\mu 1}{\lambda 2} & 1 + \frac{\mu 2}{\lambda 1} \end{bmatrix} \quad \textbf{(6)}$$

> $P0 := \frac{linalg[det](A\_1)}{DET\_BASE}$

$$P0 := \left(\mu 1\, \mu 2\, (\lambda 1\, \mu 1 + \lambda 2\, \mu 2 + \mu 1\, \mu 2) \right) / \left(\lambda 1^2\, \lambda 2\, \mu 1 + \lambda 1^2\, \lambda 2\, \mu 2 + \lambda 1^2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2^2\, \mu 1 + \lambda 1\, \lambda 2^2\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 1^2 + 2\, \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 2^2 + \lambda 1\, \mu 1^2\, \mu 2 + \lambda 1\, \mu 1\, \mu 2^2 + \lambda 2^2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 2\, \mu 1^2\, \mu 2 + \lambda 2\, \mu 1\, \mu 2^2 + \mu 1^2\, \mu 2^2 \right) \quad \textbf{(7)}$$

> $A\_3 := Matrix\left(\left[\left[-(\lambda 1 + \lambda 2), 0, \frac{\mu 2^2}{\lambda 1} \right], [\lambda 1, 0, \mu 2], \left[1, 1, 1 + \frac{\mu 2}{\lambda 1} \right] \right] \right)$

$$A\_3 := \begin{bmatrix} -\lambda 1 - \lambda 2 & 0 & \frac{\mu 2^2}{\lambda 1} \\ \lambda 1 & 0 & \mu 2 \\ 1 & 1 & 1 + \frac{\mu 2}{\lambda 1} \end{bmatrix} \quad \textbf{(8)}$$

> $P3 := \frac{linalg[det](A\_3)}{DET\_BASE}$

$$P3 := \left((\lambda 1\, \mu 2 + \lambda 2\, \mu 2 + \mu 2^2)\, \lambda 2\, \lambda 1 \right) / \left(\lambda 1^2\, \lambda 2\, \mu 1 + \lambda 1^2\, \lambda 2\, \mu 2 + \lambda 1^2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2^2\, \mu 1 + \lambda 1\, \lambda 2^2\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 1^2 + 2\, \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 2^2 + \lambda 1\, \mu 1^2\, \mu 2 + \lambda 1\, \mu 1\, \mu 2^2 + \lambda 2^2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 2\, \mu 1^2\, \mu 2 + \lambda 2\, \mu 1\, \mu 2^2 + \mu 1^2\, \mu 2^2 \right) \quad \textbf{(9)}$$

> $P1 := \frac{\mu 1}{\lambda 2} \cdot P3$

$$P1 := \left(\mu 1\, (\lambda 1\, \mu 2 + \lambda 2\, \mu 2 + \mu 2^2)\, \lambda 1 \right) / \left(\lambda 1^2\, \lambda 2\, \mu 1 + \lambda 1^2\, \lambda 2\, \mu 2 + \lambda 1^2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2^2\, \mu 1 + \lambda 1\, \lambda 2^2\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 1^2 + 2\, \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 1\, \mu 2 + \lambda 1\, \lambda 2\, \mu 2^2 + \lambda 1\, \mu 1^2\, \mu 2 + \lambda 1\, \mu 1\, \mu 2^2 \right. \quad \textbf{(10)}$$

$$+\lambda 2^2\,\mu 1\,\mu 2+\lambda 2\,\mu 1^2\,\mu 2+\lambda 2\,\mu 1\,\mu 2^2+\mu 1^2\,\mu 2^2\big)$$

> $A\_4 := Matrix\left(\left[\left[-(\lambda 1+\lambda 2), \frac{\mu 1^2}{\lambda 2}, 0\right], \left[\lambda 1, -\frac{\mu 1\cdot(\lambda 2+\mu 1)}{\lambda 2}, 0\right], \left[1, 1+\frac{\mu 1}{\lambda 2}, 1\right]\right]\right)$

$$A\_4 := \begin{bmatrix} -\lambda 1-\lambda 2 & \frac{\mu 1^2}{\lambda 2} & 0 \\ \lambda 1 & -\frac{\mu 1\,(\lambda 2+\mu 1)}{\lambda 2} & 0 \\ 1 & 1+\frac{\mu 1}{\lambda 2} & 1 \end{bmatrix} \tag{11}$$

> $P4 := \frac{linalg[det](A\_4)}{DET\_BASE}$

$$P4 := \big(\mu 1\,(\lambda 1+\lambda 2+\mu 1)\,\lambda 2\,\lambda 1\big)\Big/\big(\lambda 1^2\,\lambda 2\,\mu 1+\lambda 1^2\,\lambda 2\,\mu 2+\lambda 1^2\,\mu 1\,\mu 2+\lambda 1\,\lambda 2^2\,\mu 1$$
$$+\lambda 1\,\lambda 2^2\,\mu 2+\lambda 1\,\lambda 2\,\mu 1^2+2\,\lambda 1\,\lambda 2\,\mu 1\,\mu 2+\lambda 1\,\lambda 2\,\mu 2^2+\lambda 1\,\mu 1^2\,\mu 2+\lambda 1\,\mu 1\,\mu 2^2$$
$$+\lambda 2^2\,\mu 1\,\mu 2+\lambda 2\,\mu 1^2\,\mu 2+\lambda 2\,\mu 1\,\mu 2^2+\mu 1^2\,\mu 2^2\big) \tag{12}$$

> $P2 := \frac{\mu 2}{\lambda 1}\cdot P4$

$$P2 := \big(\mu 2\,\mu 1\,(\lambda 1+\lambda 2+\mu 1)\,\lambda 2\big)\Big/\big(\lambda 1^2\,\lambda 2\,\mu 1+\lambda 1^2\,\lambda 2\,\mu 2+\lambda 1^2\,\mu 1\,\mu 2+\lambda 1\,\lambda 2^2\,\mu 1$$
$$+\lambda 1\,\lambda 2^2\,\mu 2+\lambda 1\,\lambda 2\,\mu 1^2+2\,\lambda 1\,\lambda 2\,\mu 1\,\mu 2+\lambda 1\,\lambda 2\,\mu 2^2+\lambda 1\,\mu 1^2\,\mu 2+\lambda 1\,\mu 1\,\mu 2^2$$
$$+\lambda 2^2\,\mu 1\,\mu 2+\lambda 2\,\mu 1^2\,\mu 2+\lambda 2\,\mu 1\,\mu 2^2+\mu 1^2\,\mu 2^2\big) \tag{13}$$

>