قسم الميكاترونيكس

عميد الكلية
د. إياد حاتم

المحاضرة الرابعة

النماذج الصناعية لنظم التحكم والمبادئ الأساسية لنظم التحكم ذات التغذية الخلفية

نظم تحكم

د.بلال شيحا

- Block Diagram
- Signal Flow Graphs
- Mason`s Gain Rule
- Block Diagram Reduction Using the Mason`s Gain Rule
- Examples

مفهوم المخطط الصندوقي

- مفهوم المخطط الصندوقي
- نقطة الجمع
- نقطة التفرع
- قواعد اختصار المخطط الصندوقي.
- مثال على قواعد اختصار المخطط الصندوقي.

مفهوم المخطط الصندوقي

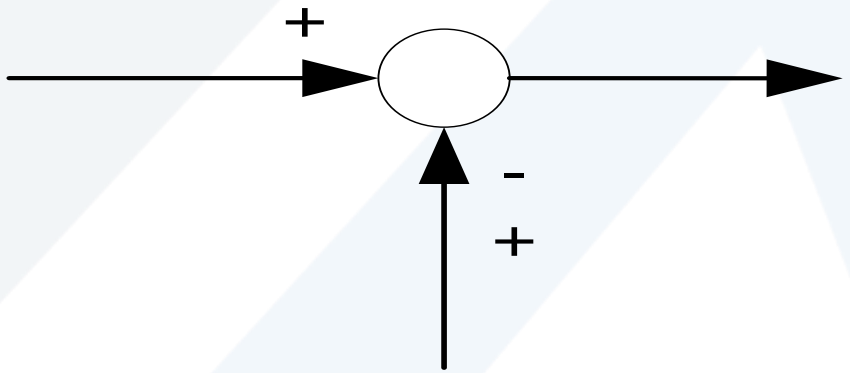
المخطط الصندوقي لنظام ما هو تمثيل تصويري للتوابع المشكلة لكل مكّون. إن كل مخطط يصف العلاقات الداخلية الموجودة بين المكونات المختلفة بشكلٍ مختلفٍ عن التمثيل الرياضي المختصر تماماً. ويشير المخطط الصندوقي بواقعية أكثر لمخطط جريان إشارة النظام الفعلي.

مفهوم المخطط الصندوقي

- إن فوائد المخطط الصندوقي الممثل لنظام ما تتمثل في سهولة تشكيل المخطط الصندوقي لكامل النظام وذلك بواسطة وصل صناديق المكونات الموافقة لتدفق الإشارة وبالتالي إمكانية تقييم مساهمة كل مكّون في الأداء الكلي للنظام وبشكلٍ عام فإن العملية الوظيفية للنظام يمكن تمثيلها بواسطة فحص المخطط الصندوقي وذلكَ بشكلٍ أسرعَ من فحص النظام الفيزيائي نفسه.
- يحتوي المخطط الصندوقي على معلومات تتعلق بالسلوك الديناميكي لكنه لا يحتوي أية معلوماتٍ عن التركيب الفيزيائي للنظام وبالتالي فإن العديد من الأنظمة المتباينة وغير المرتبطة يمكن تمثيلها بواسطة نفس المخطط الصندوقي.

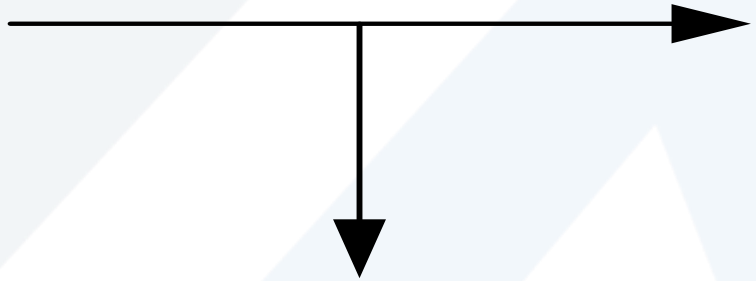
نقطة الجمع

- إن الدائرة بدون القواطع (ويمكن أن تكون مع قواطع) هي الرمز الذي يشير إلى عملية الجمع. إشارة الجمع أو الطرح عند كل رأس سهم تشير إلى ما إذا كانت الإشارة مضافةً أم مطروحةً. من المهم معرفة أن الكميات المضافة أو المطروحة تملك نفس الأبعاد ونفس الواحدات.

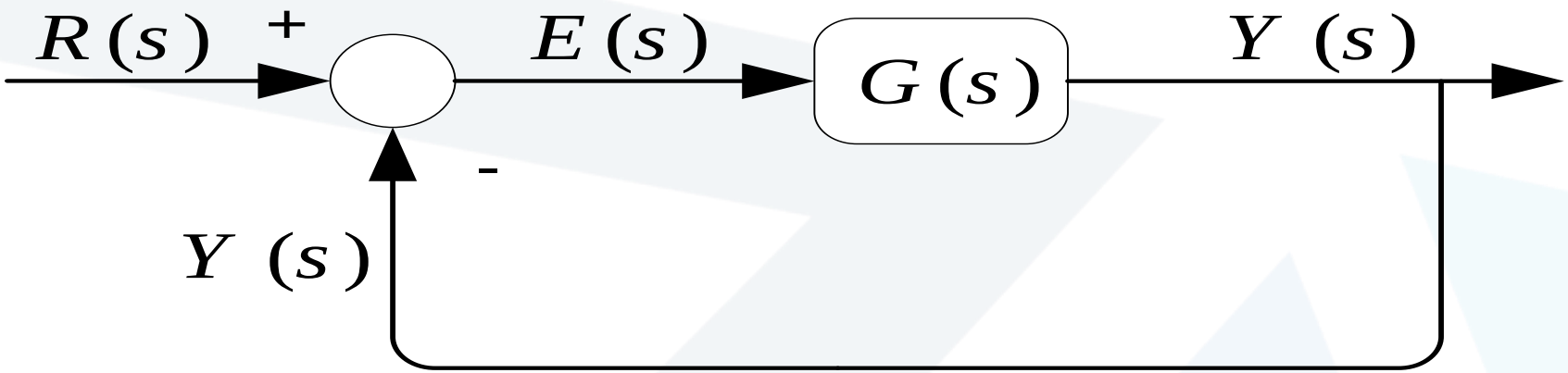


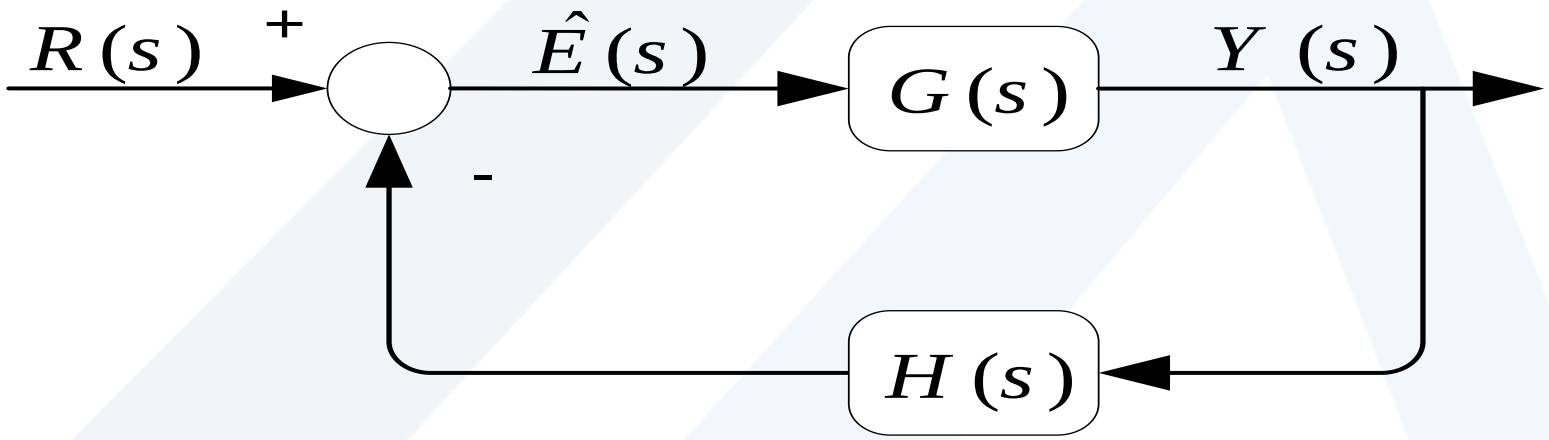
نقطة التفرع

- هي نقطة تتفرع عندها إشارة الفرع وتذهب بنفس الوقت إلى صناديق أخرى أو إلى نقاط جمع.

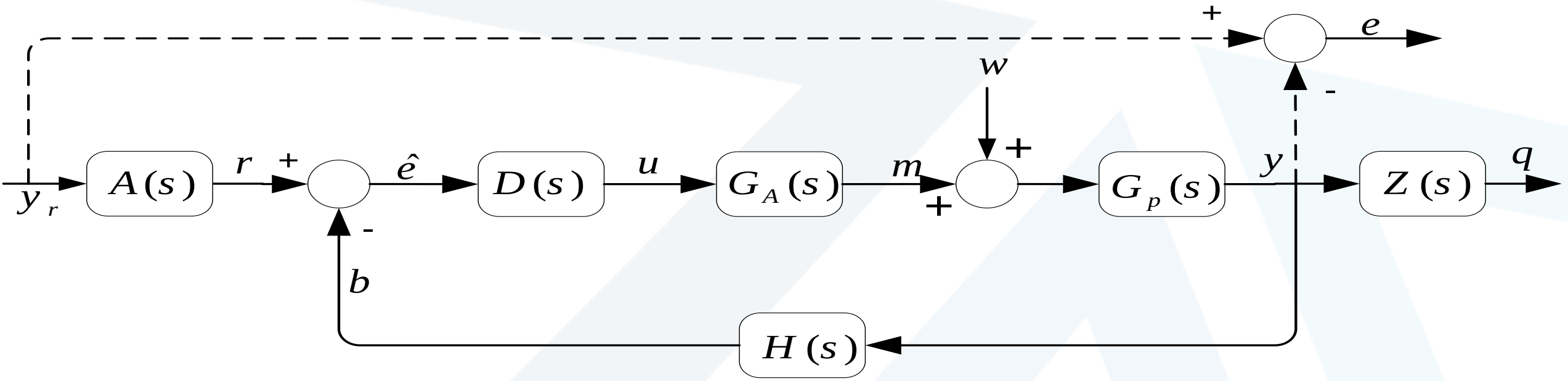


المخطط الصندوقي لنظام حلقة مغلقة

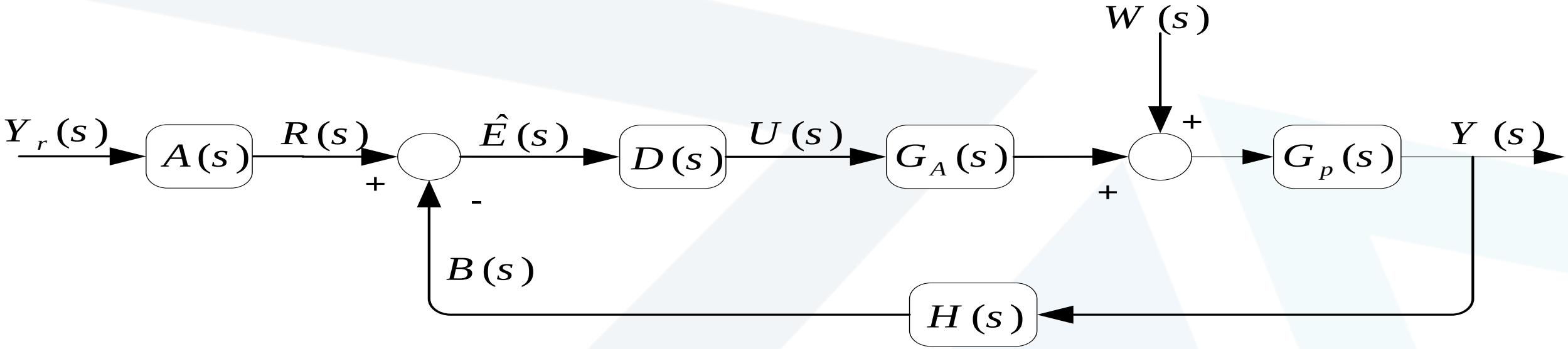




المخطط الصندوقي لنظام حلقة مغلقة

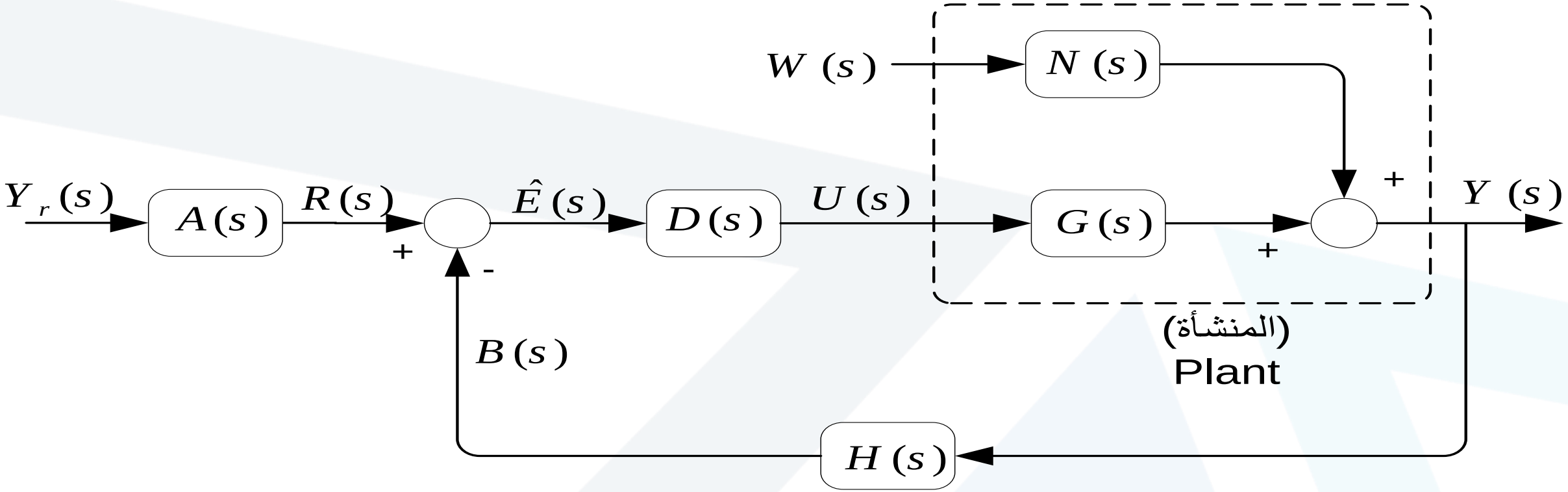


اختصار المخطط الصندوقي



$$Y(s) = G_P(s)G_A(s)U(s) + G_P(s)W(s)$$
$$= G(s)U(s) + N(s)W(s)$$

اختصار المخطط الصندوقي

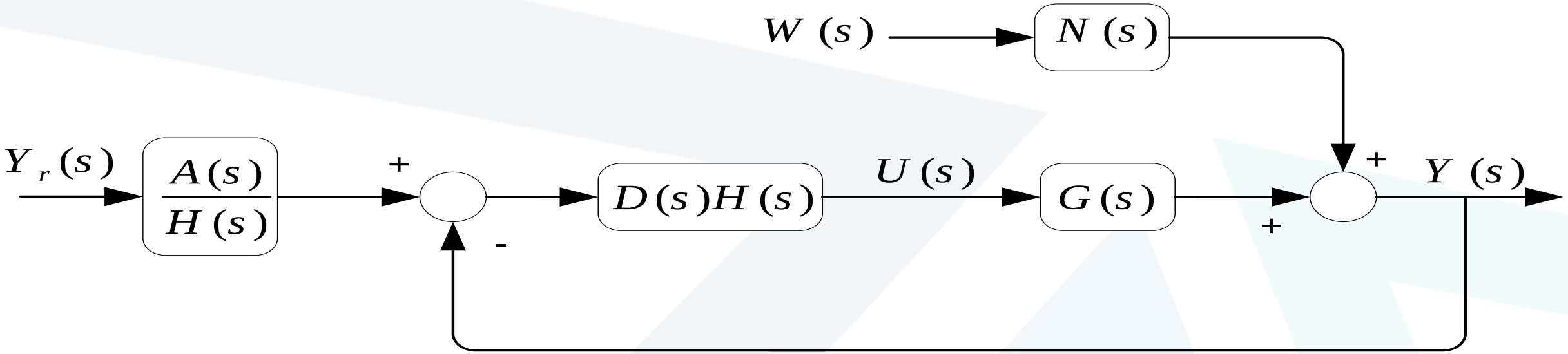


$$\hat{E}(s) = R(s) - B(s) = A(s)Y_r(s) - H(s)Y(s)$$

$$U(s) = D(s)A(s)Y_r(s) - D(s)H(s)Y(s)$$

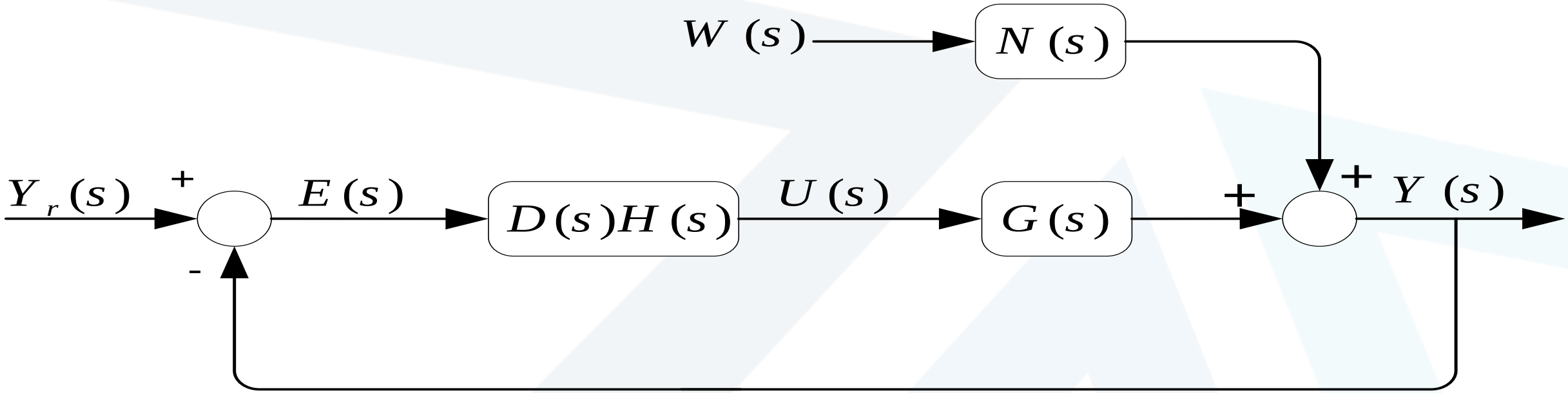
$$= D(s)(H(s)\left[\frac{A(s)}{H(s)}Y_r(s) - Y(s)\right]$$

اختصار المخطط الصندوقي

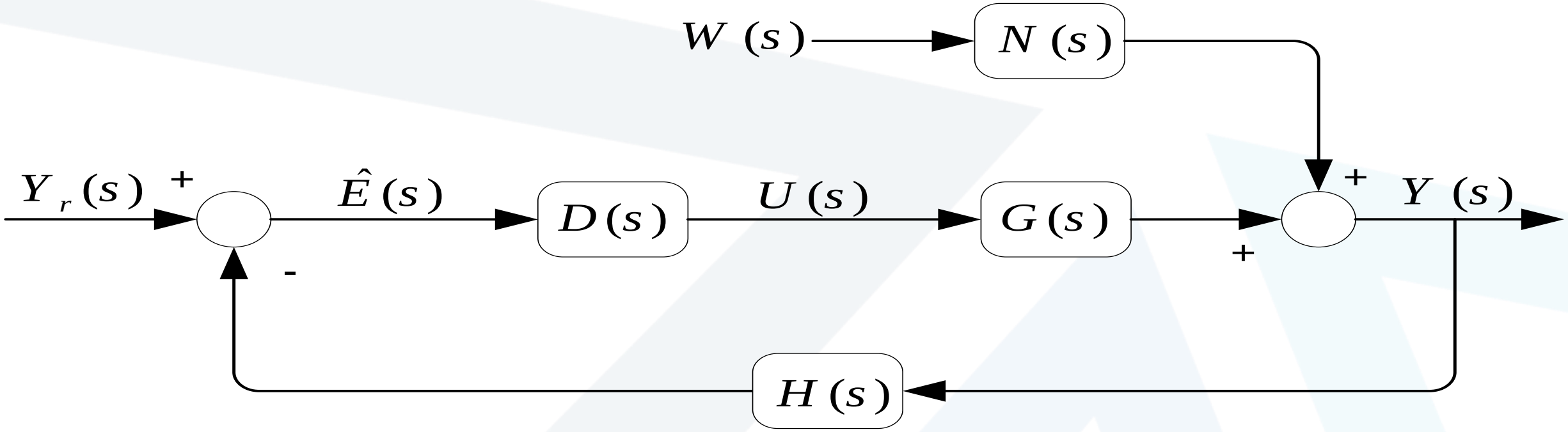


$$H = A$$

اختصار المخطط الصندوقي

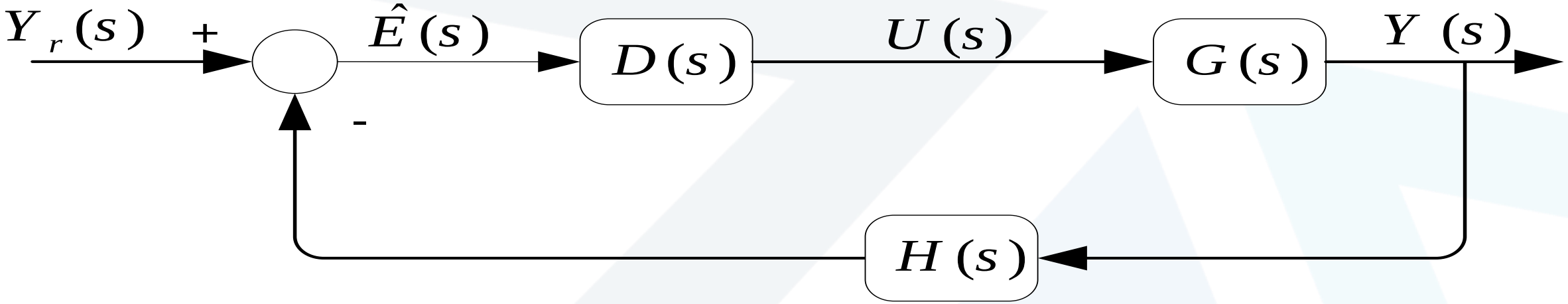


نظام التغذية الخلفية بدخلين
(مبدأ التراكم superposition)



$$W(s)=0$$

نظام التغذية الخلفية بدخلين
(مبدأ التراكم superposition)



نظام التغذية الخلفية بدخلين
(مبدأ التراكم superposition)

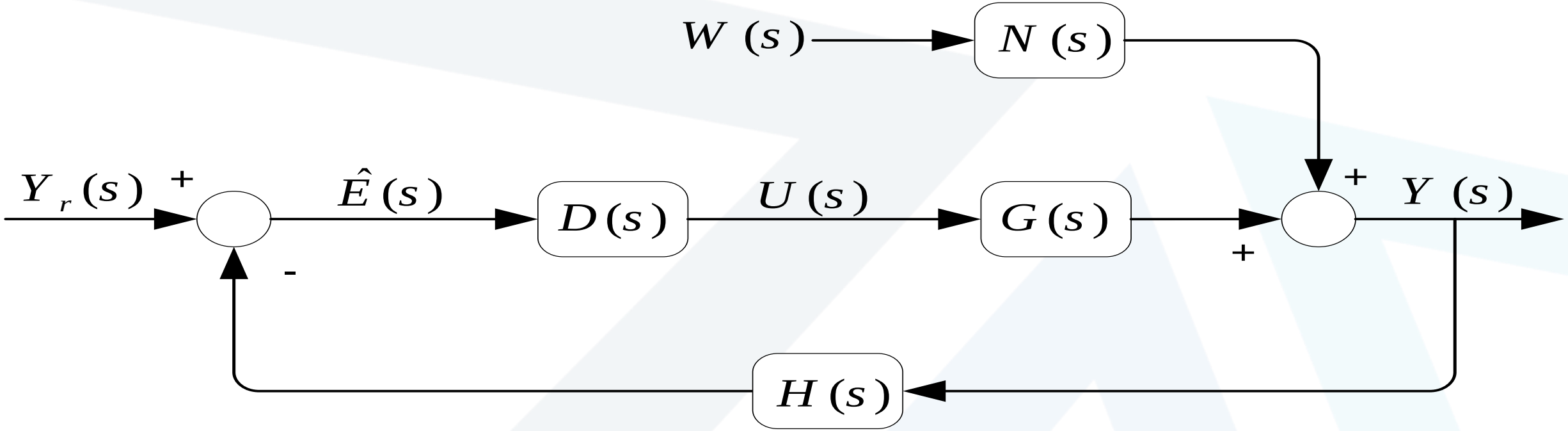
$$\hat{E}(s) = R(s) - H(s)Y(s) \qquad Y(s) = G(s)U(s) = G(s)D(s)\hat{E}(s)$$

$$\Rightarrow \quad [1 + D(s)G(s)H(s)]Y(s) = D(s)G(s)R(s)$$

$$\Downarrow$$

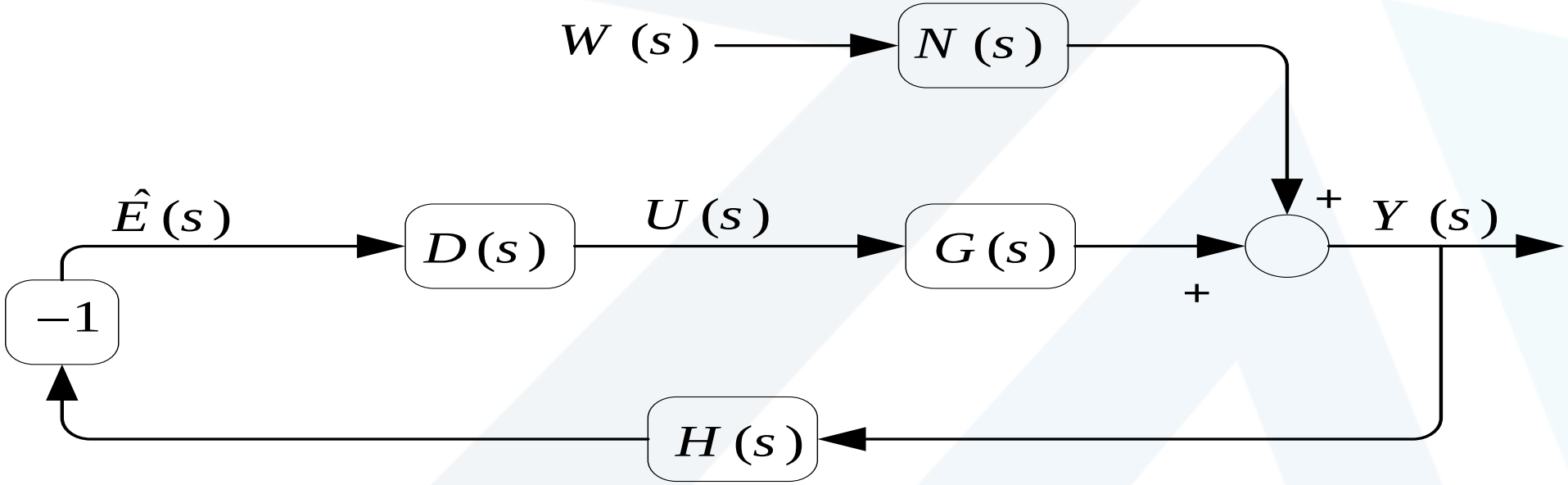
$$M(s) = \left.\frac{Y(s)}{R(s)}\right|_{W(s)=0} = \frac{D(s)G(s)}{1 + D(s)G(s)H(s)}$$

نظام التغذية الخلفية بدخلين
(مبدأ التراكم superposition)



$$Y_r(s) = 0$$

نظام التغذية الخلفية بدخلين
(مبدأ التراكم superposition)



نظام التغذية الخلفية بدخلين
(مبدأ التراكم superposition)

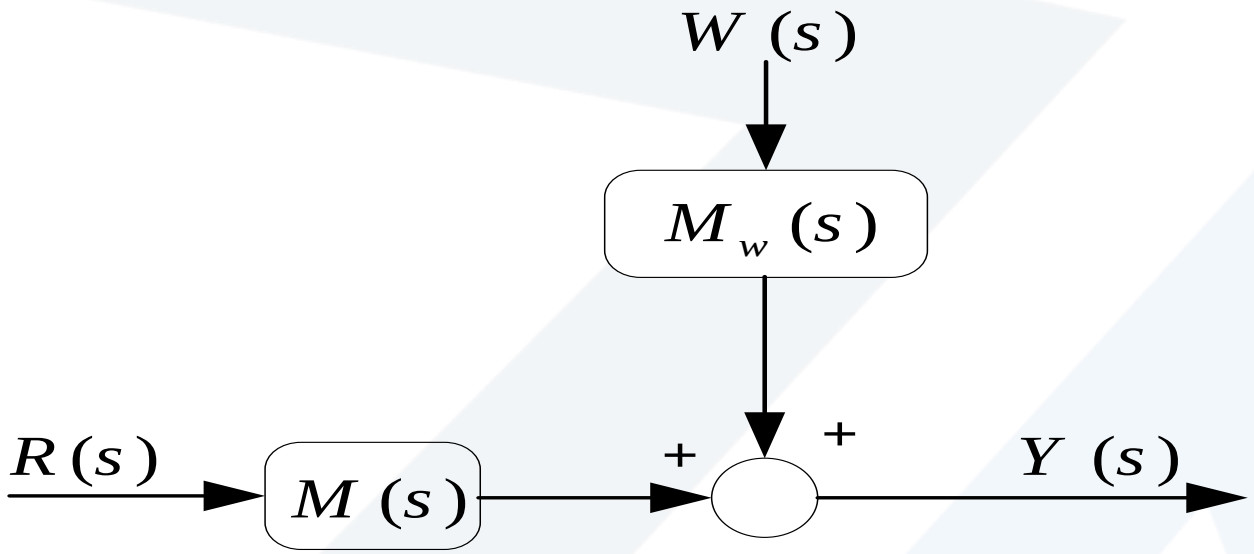
$$\hat{E}(s) = -H(s)Y(s)$$

$$Y(s) = G(s)D(s)\hat{E}(s) + N(s)W(s)$$

$$M_w(s) = \left.\frac{Y(s)}{W(s)}\right|_{R(s)=0} = \frac{N(s)}{1 + D(s)G(s)H(s)}$$

$$Y(s) = M(s)R(s) + M_w(s)W(s)$$

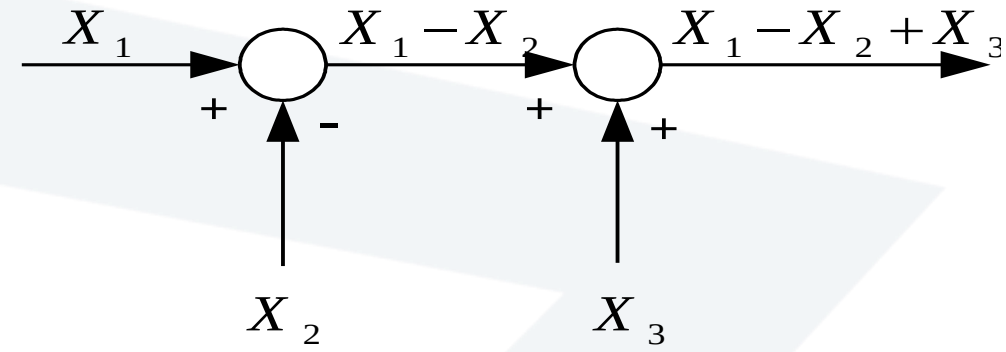
نظام التغذية الخلفية بدخلين
(مبدأ التراكم superposition)

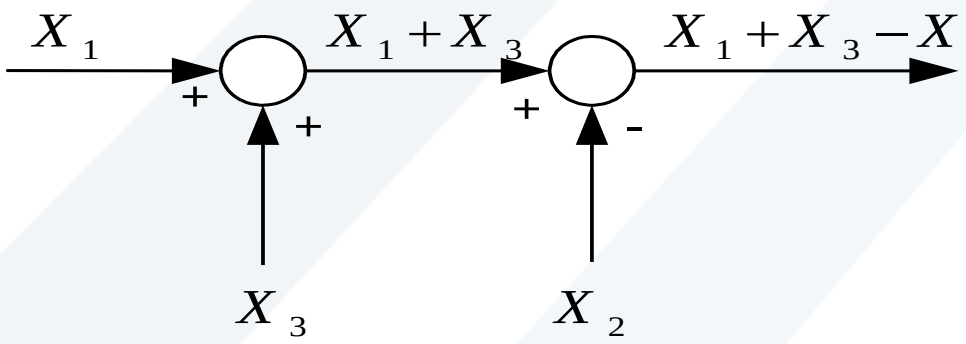


قواعد اختصار المخطط الصندوقي

مثال
ط٢

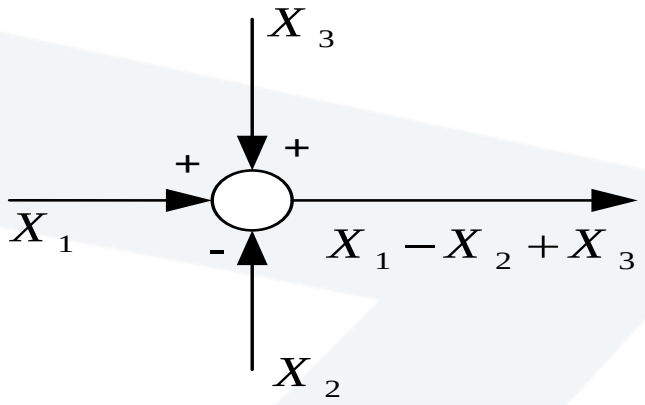
1

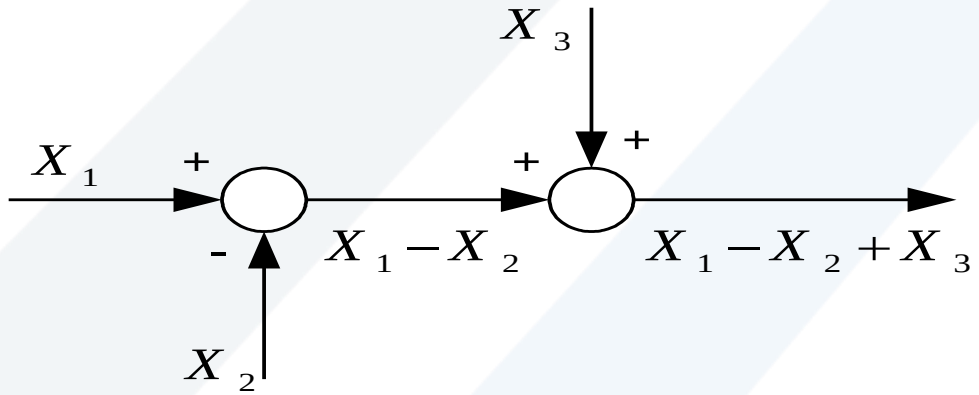




قواعد اختصار المخطط الصندوقي

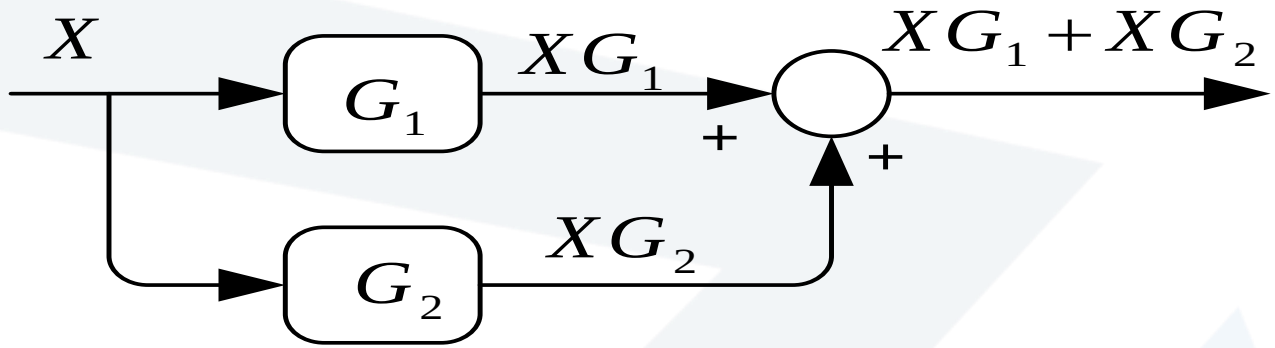
2

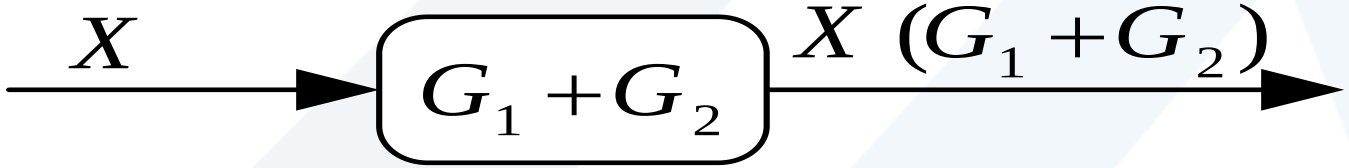




قواعد اختصار المخطط الصندوقي

3

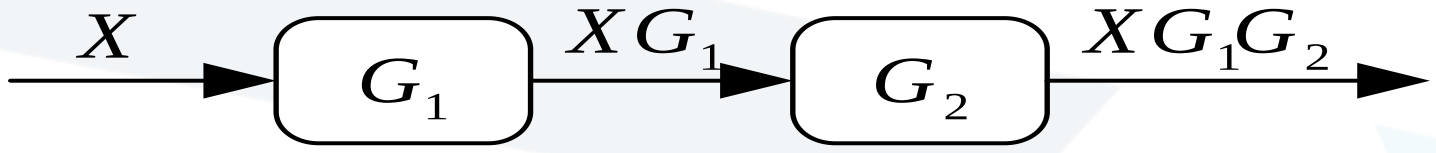


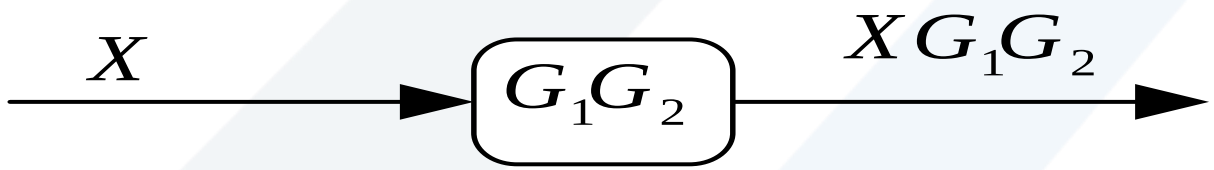


قواعد اختصار المخطط الصندوقي

مثال
ط١

4

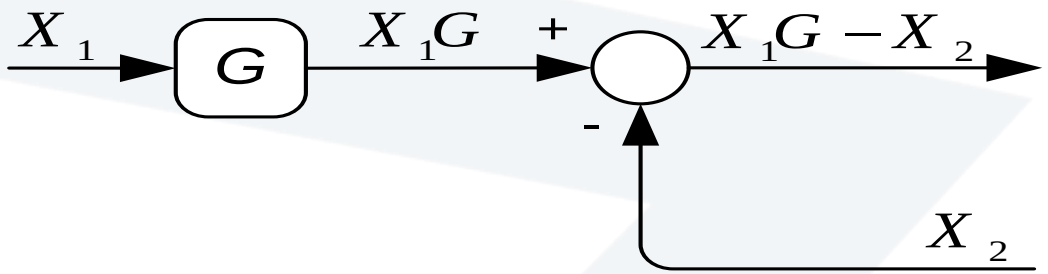


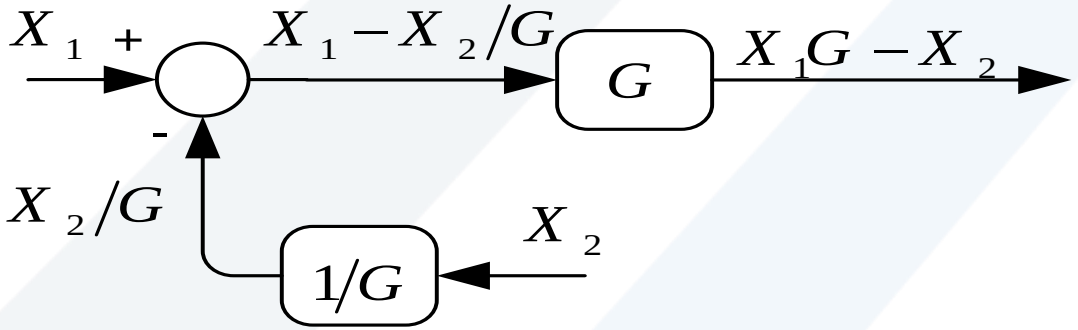


قواعد اختصار المخطط الصندوقي

مثال
ط٢

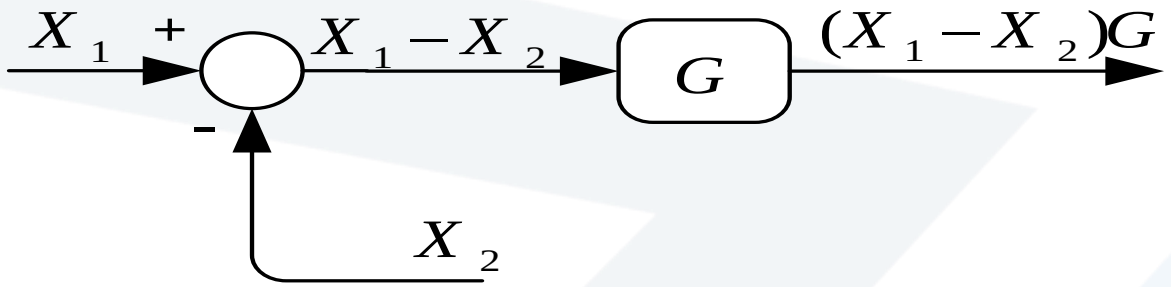
5

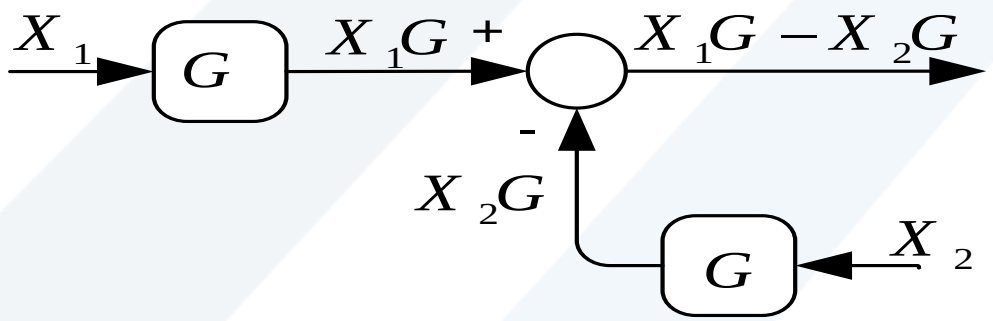




قواعد اختصار المخطط الصندوقي

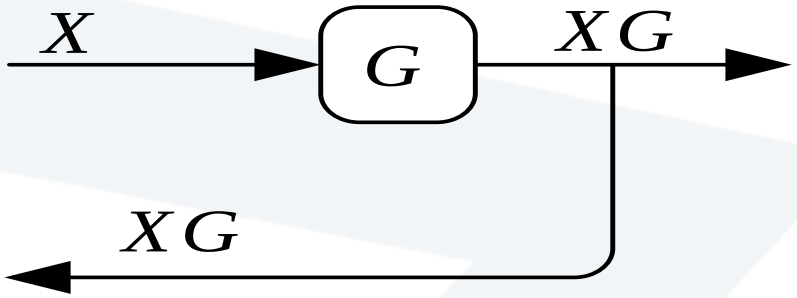
6

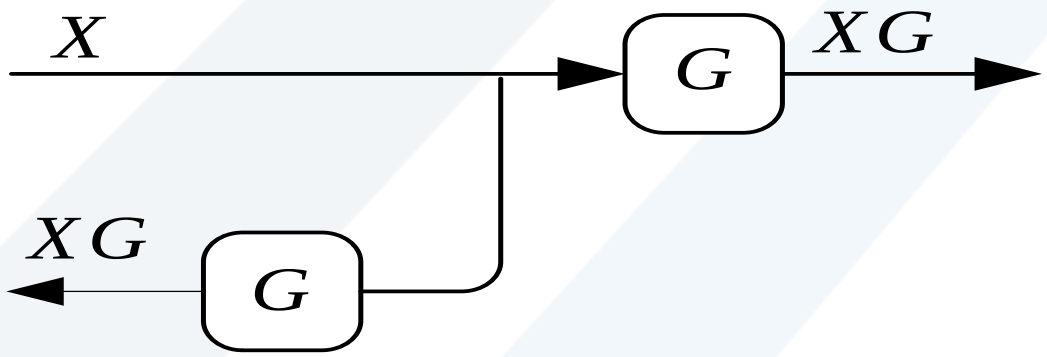




قواعد اختصار المخطط الصندوقي

7

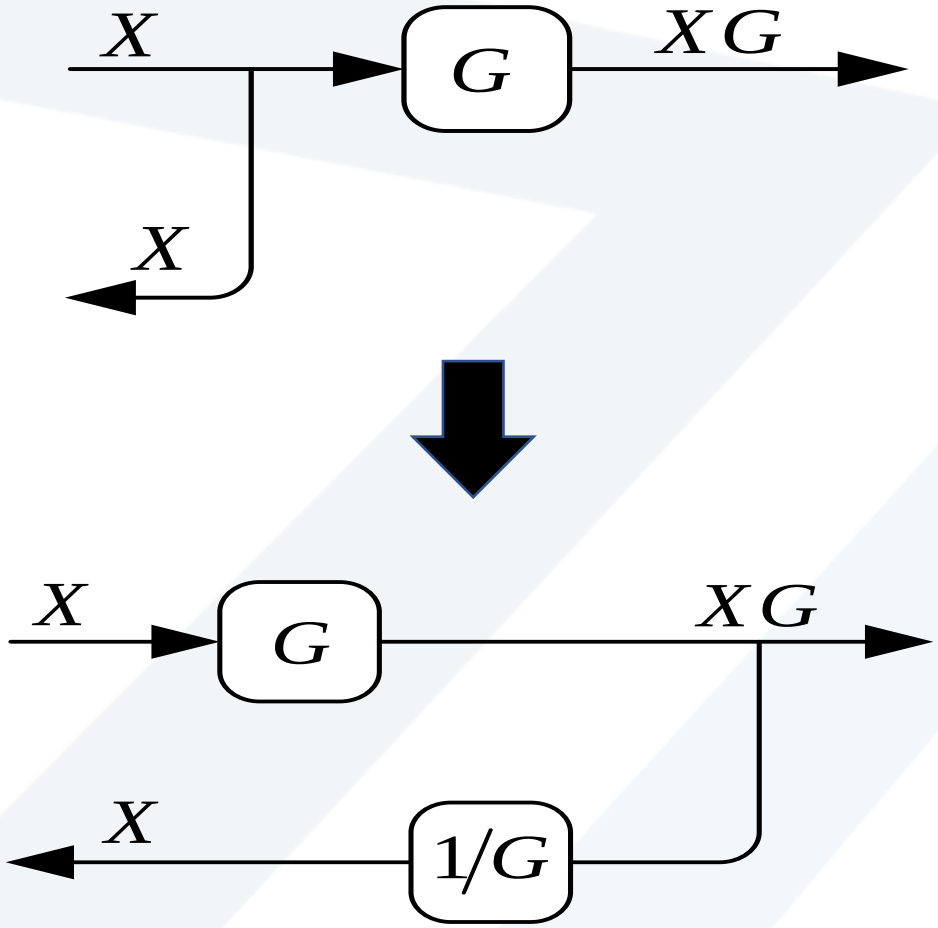




قواعد اختصار المخطط الصندوقي

مثال
ط١

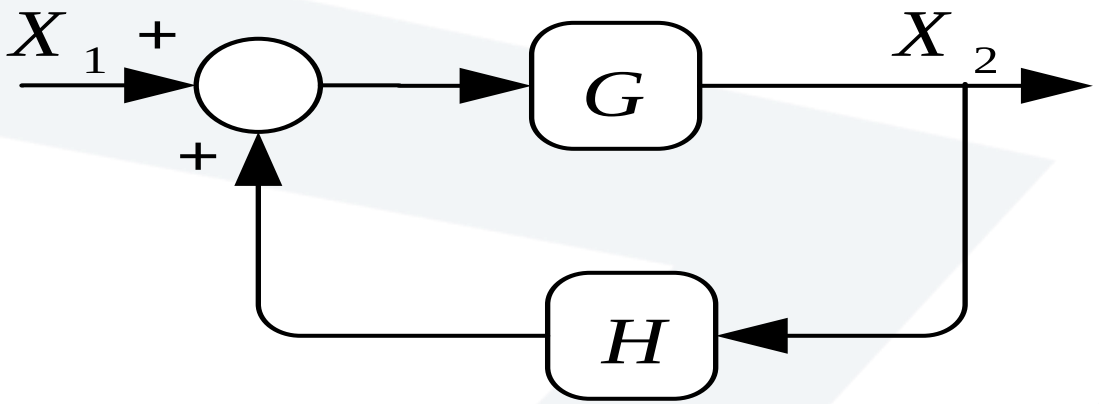
8



قواعد اختصار المخطط الصندوقي

مثال
ط١

9

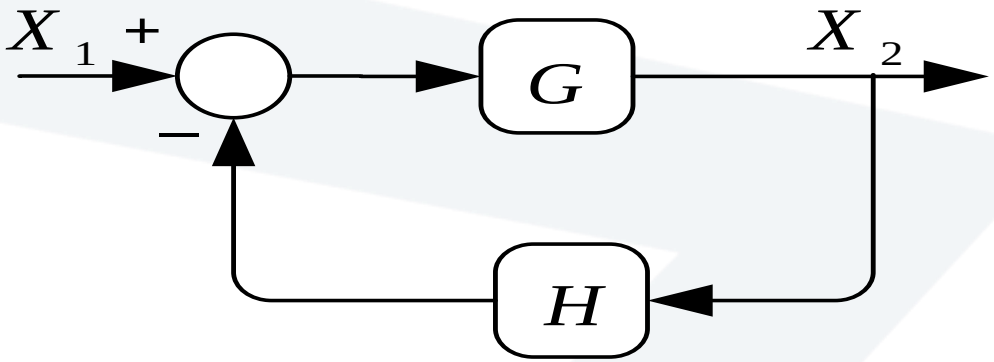


قواعد اختصار المخطط الصندوقي

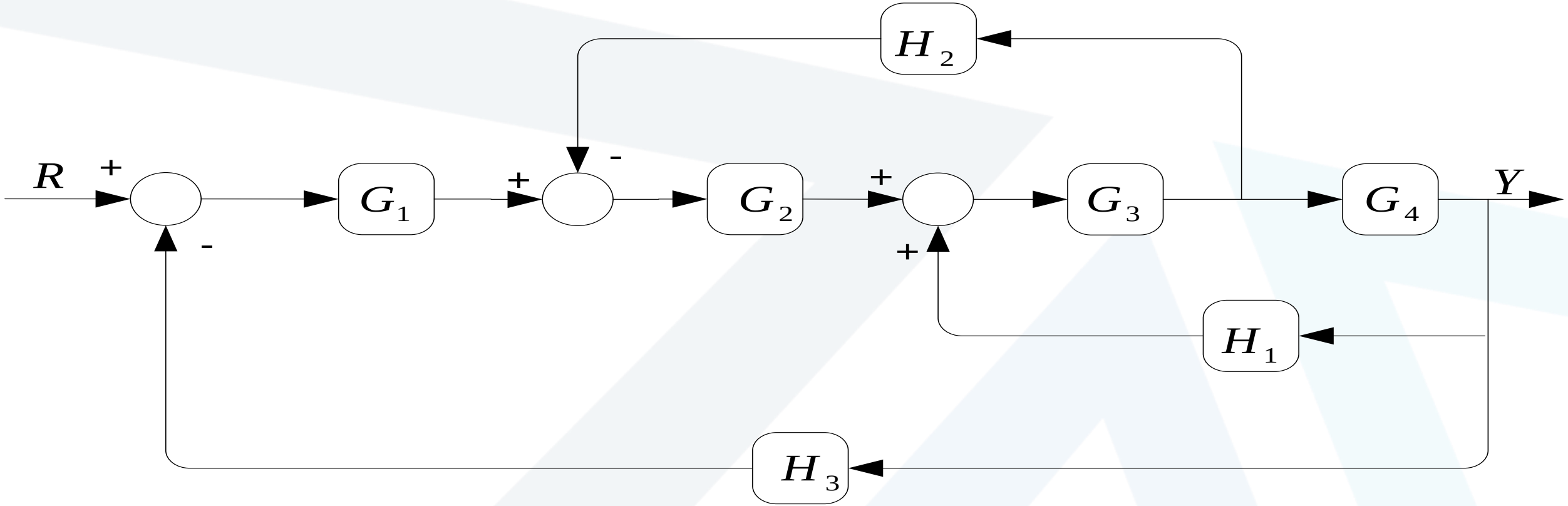
مثال
ط١

10

مثال
ط٢



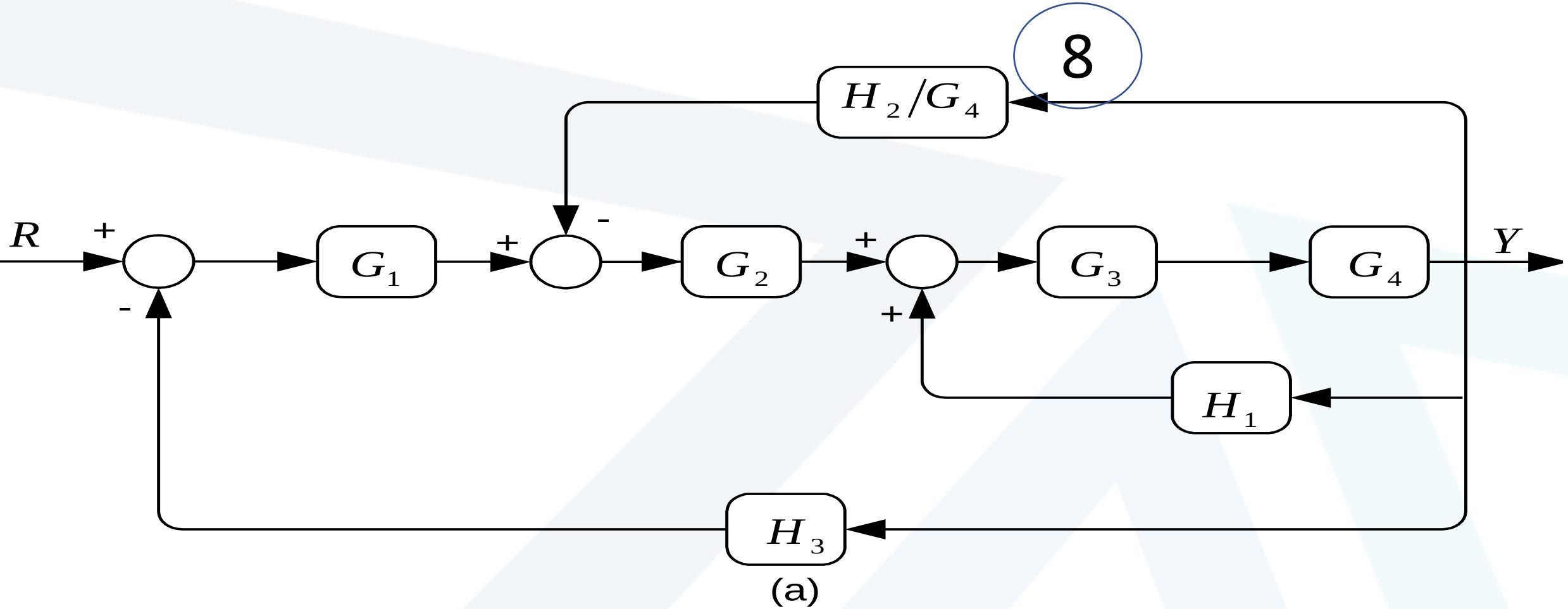
مثال على قواعد اختصار المخطط الصندوقي



الطريقة الأولى

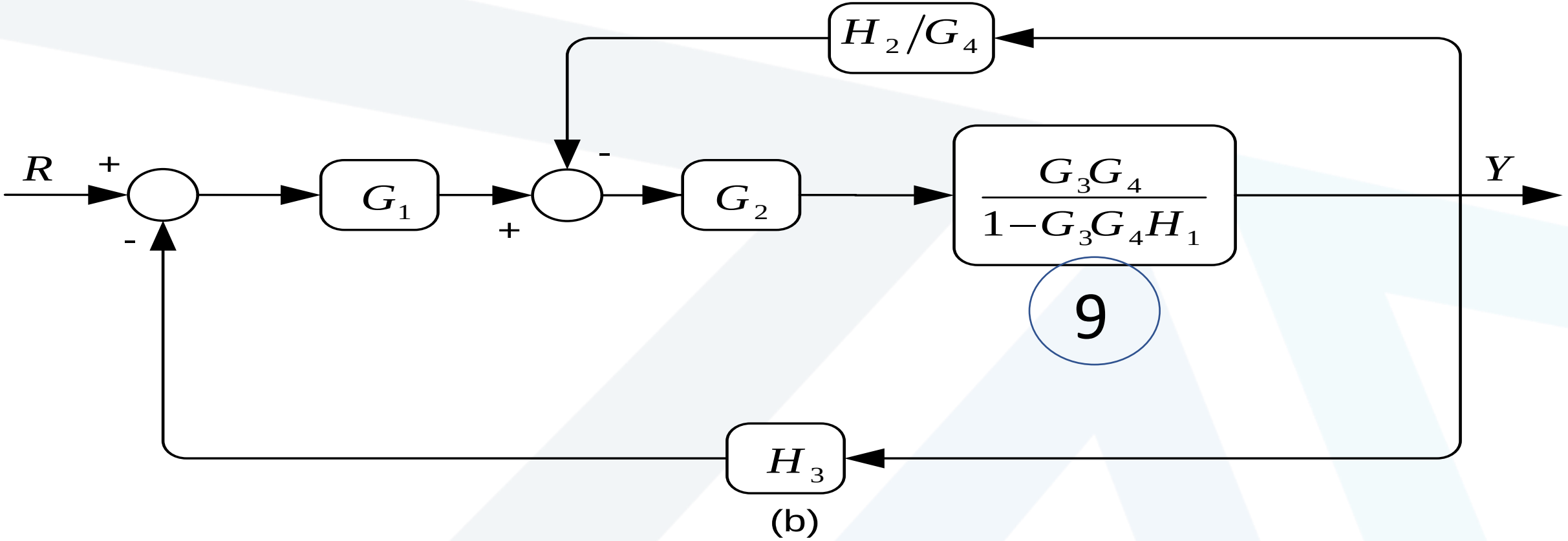
الطريقة الثانية

مثال: الطريقة الأولى



(a)

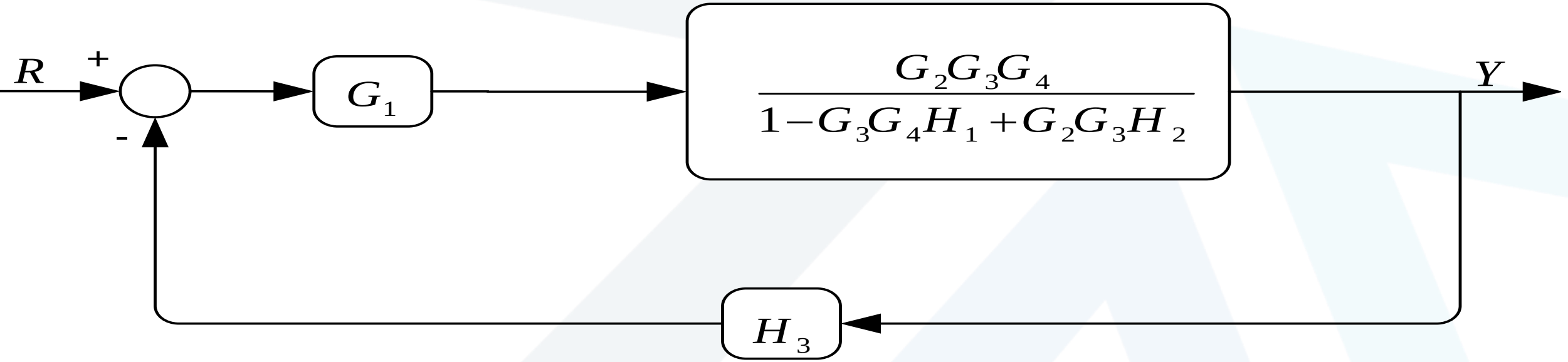
مثال: الطريقة الأولى



(b)

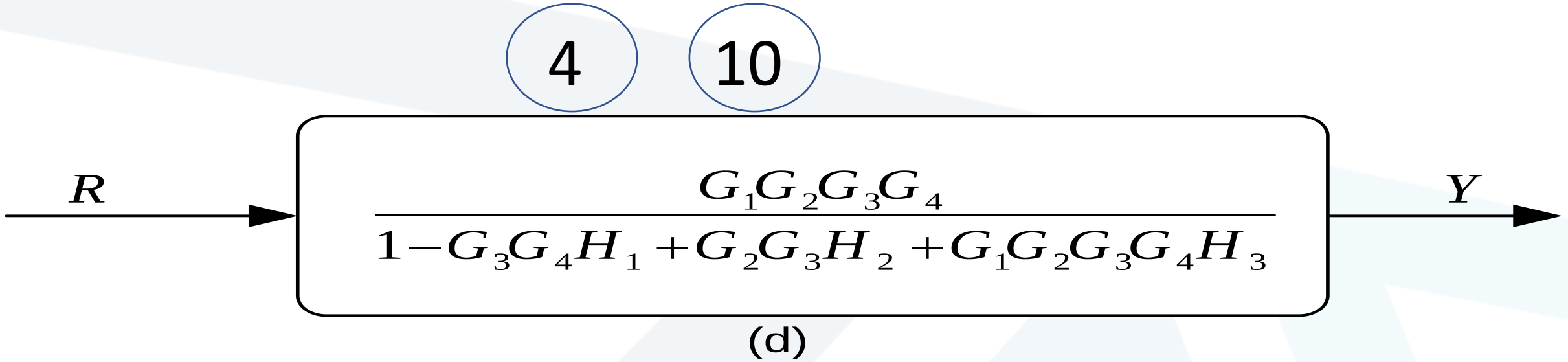
مثال: الطريقة الأولى

10 4



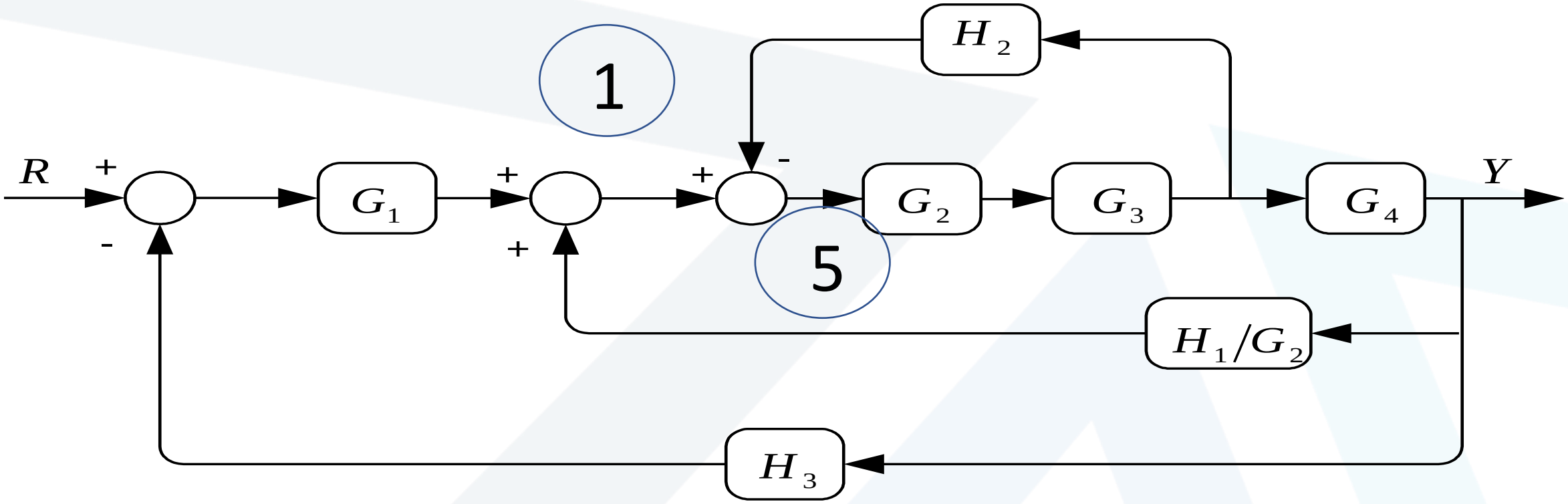
(c)

مثال: الطريقة الأولى



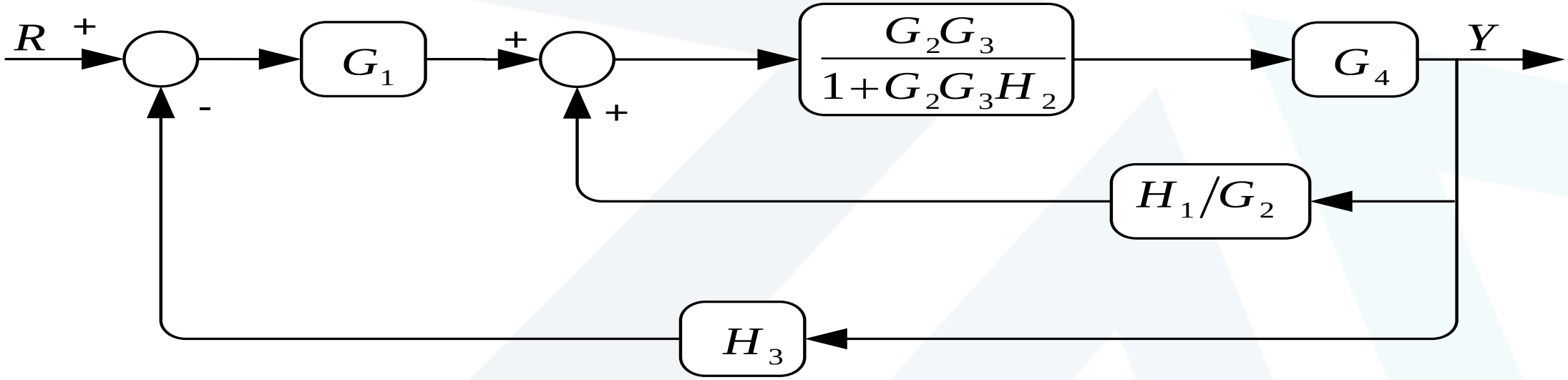
(d)

مثال: الطريقة الثانية



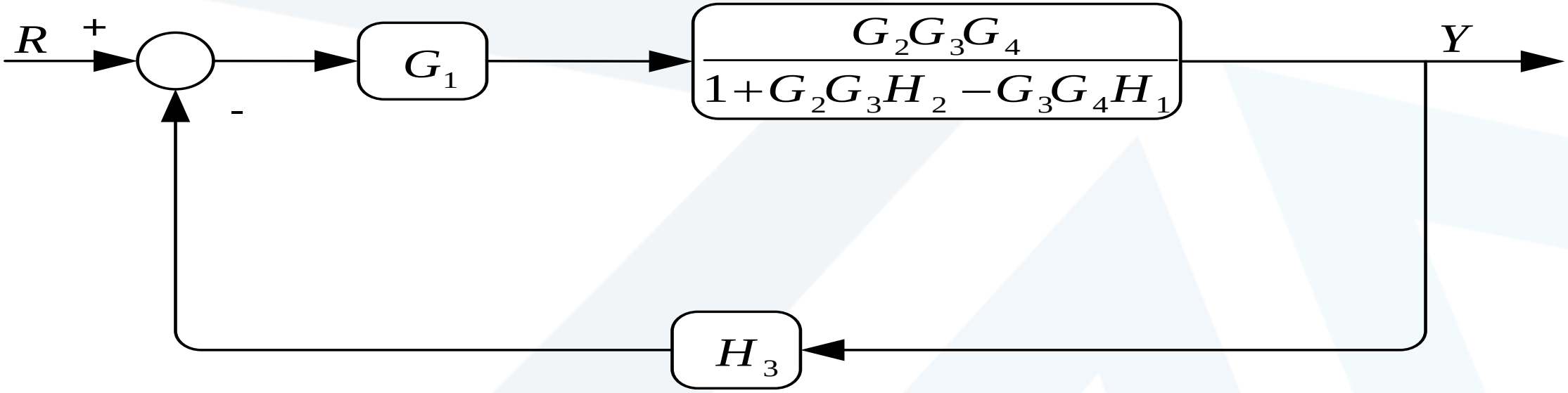
(a)

مثال: الطريقة الثانية



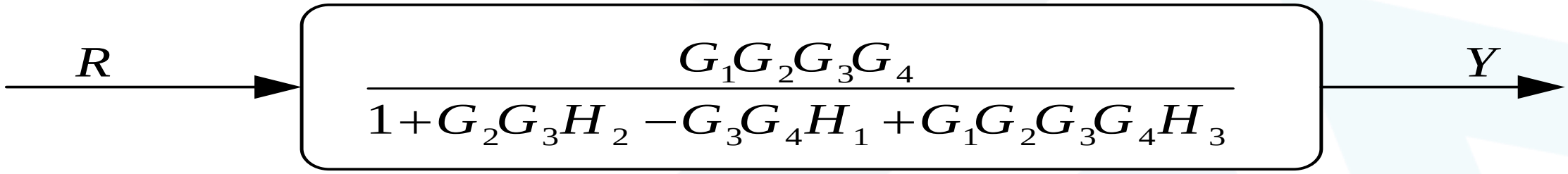
(b)

مثال: الطريقة الثانية



(c)

مثال: الطريقة الثانية



(d)

مخططات جريان الإشارة
Signal Flow Graphs

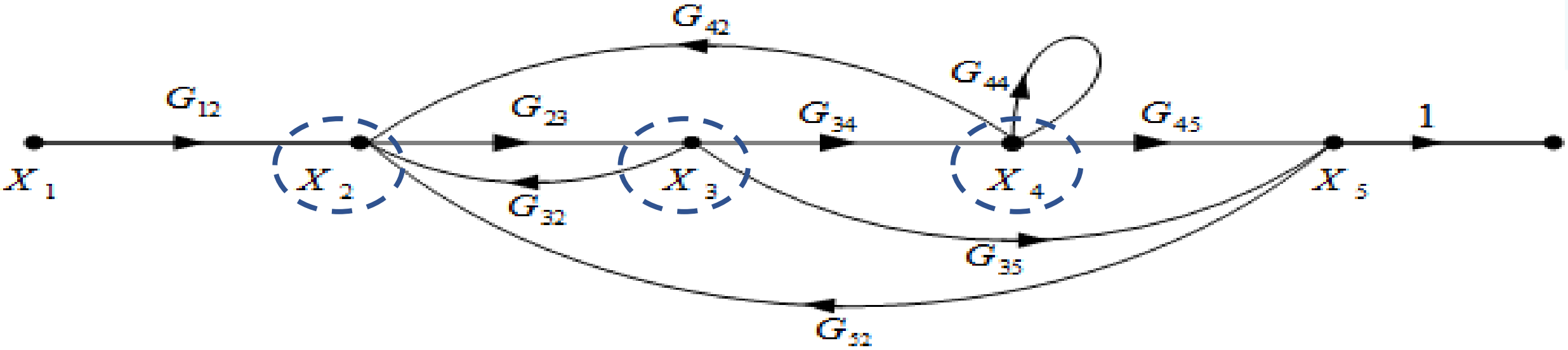
- مصطلحات مخطط جريان الإشارة
- مثال

مصطلحات مخطط جريان الإشارة

- العقدة node
- الفرع branch
- عقدة الدخل أو المصدر input node or source
- عقدة الخرج output node or sink
- الممر path
- الممر الأمامي forward path
- الحلقة loop
- الحلقات غير المتماسة nontouching loop
- ربح الممر الأمامي gain forward path
- ربح الحلقة loop gain

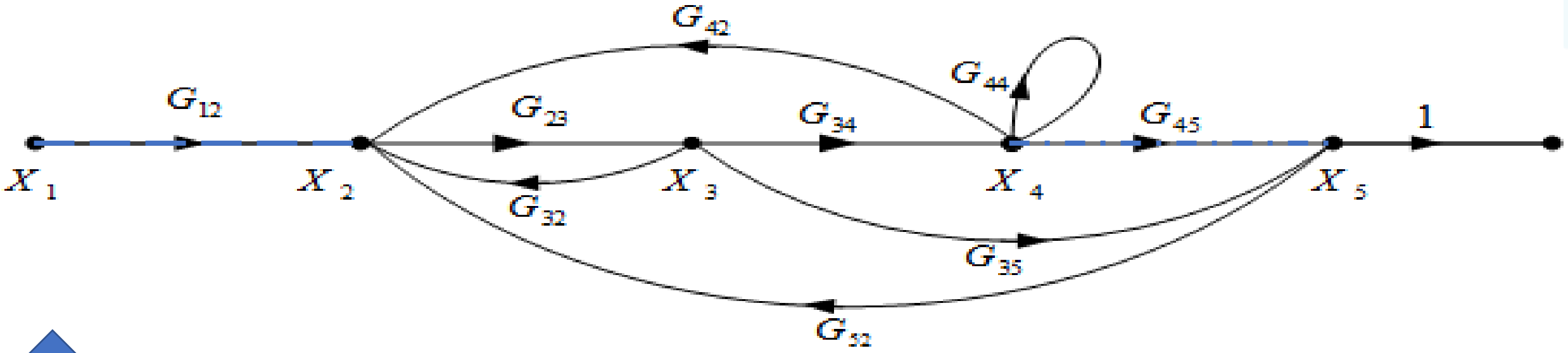
العقدة node

تمثل متغير النظام الذي يساوي مجموع كل الإشارات القادمة إلى العقدة. كل الإشارات الخارجة من العقدة تساوي إلى متغير العقدة ولا تؤثر بقيمة متغير العقدة.



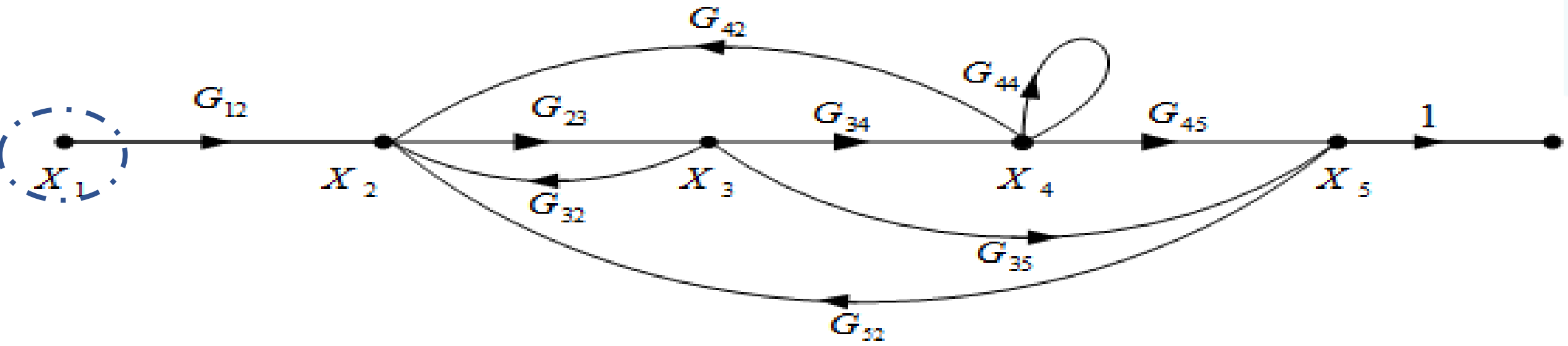
الفرع branch

تنتقل الإشارات على طول الفرع من عقدة إلى أخرى باتجاه مشارٍ إليه بواسطة سهم الفرع وتُضرب بربح أو معامل نقل الفرع. معامل الفرع (ربح أو معامل نقل) يُكتب على مخطط جريان الإشارة قرب سهم الفرع.



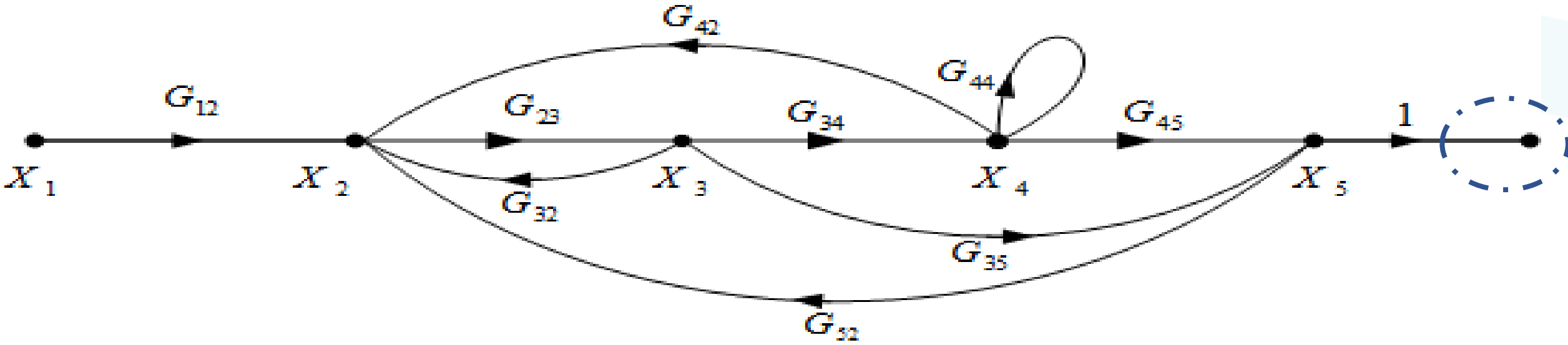
عقدة الدخل أو المصدر
input node or source

هي العقدة التي تملك فروعاً خارجةً منها فقط



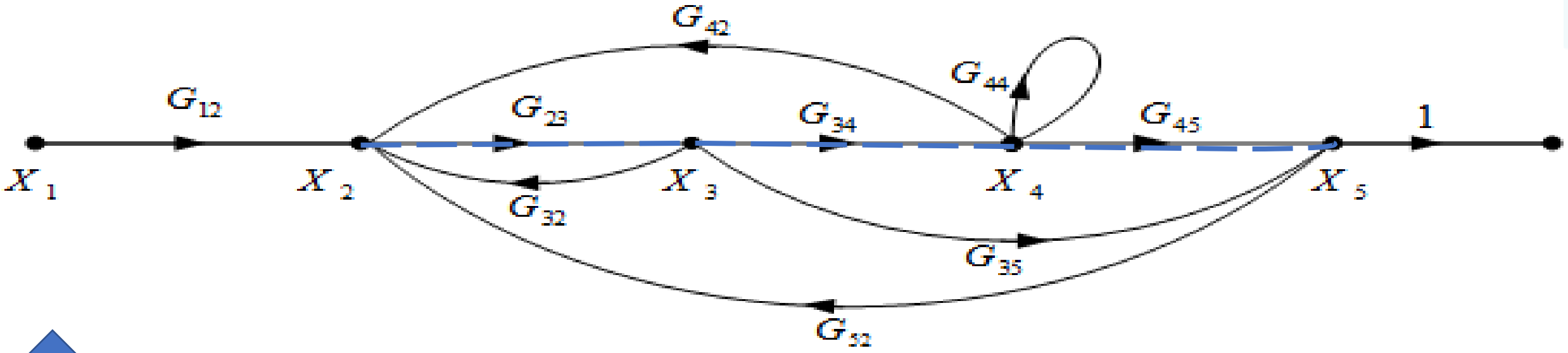
عقدة الخرج
output node or sink

هي العقدة ذات فروع داخلة عليها فقط.



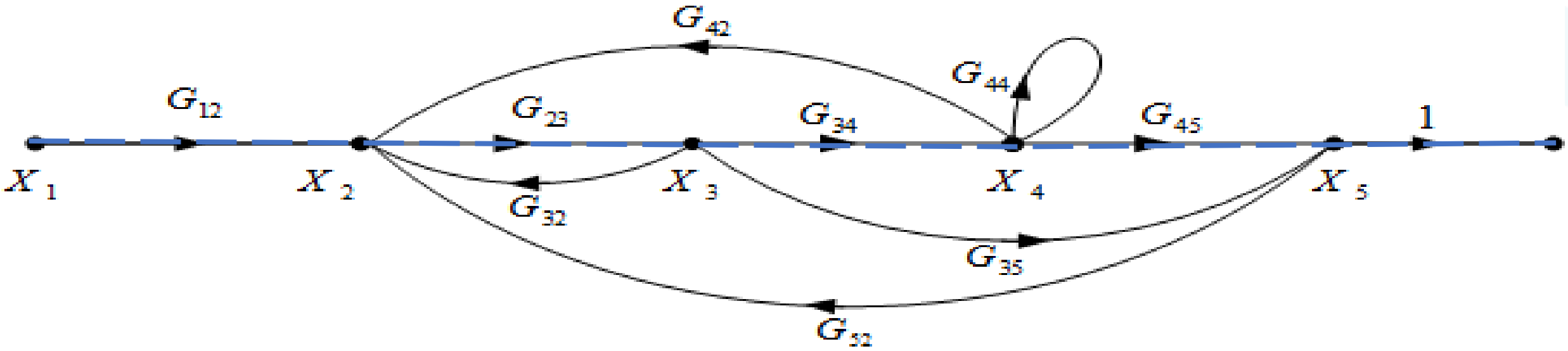
الممر
path

هو عبور الفروع المتصلة باتجاه أسهم الفروع على أن لا يتم عبور عقدة أكثر من مرة.



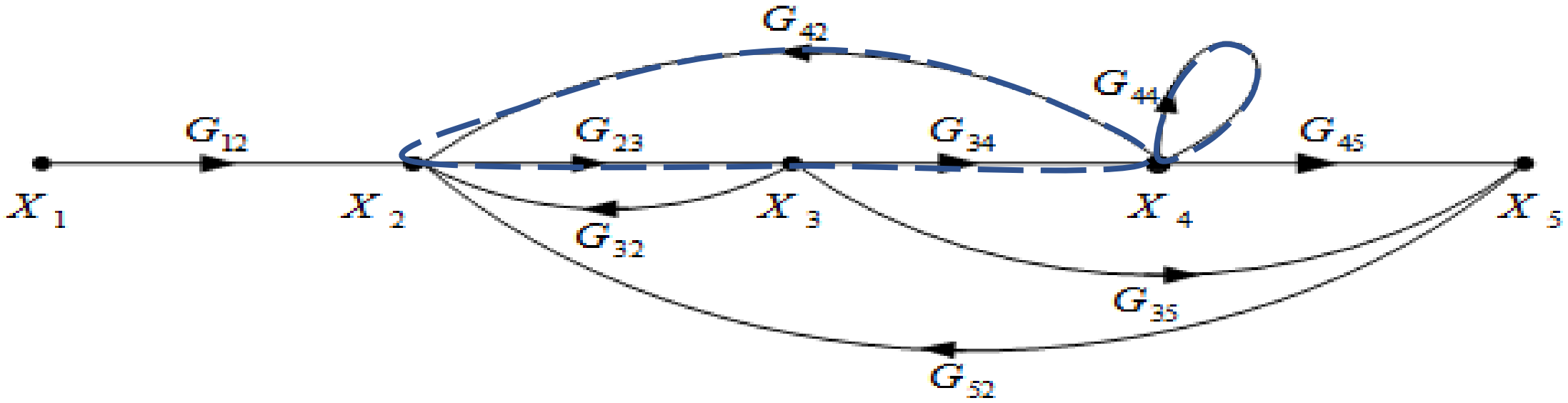
الممر الأمامي
forward path

هو الممر من عقدة الدخل إلى عقدة الخرج.



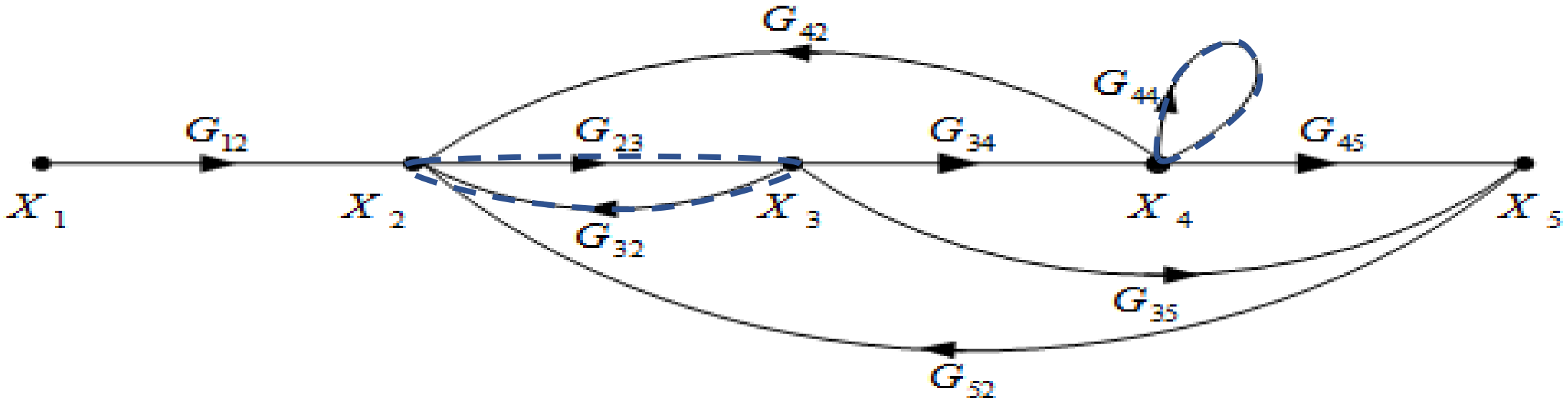
الحلقة
loop

هي ممر يبدأ وينتهي عند نفس العقدة.



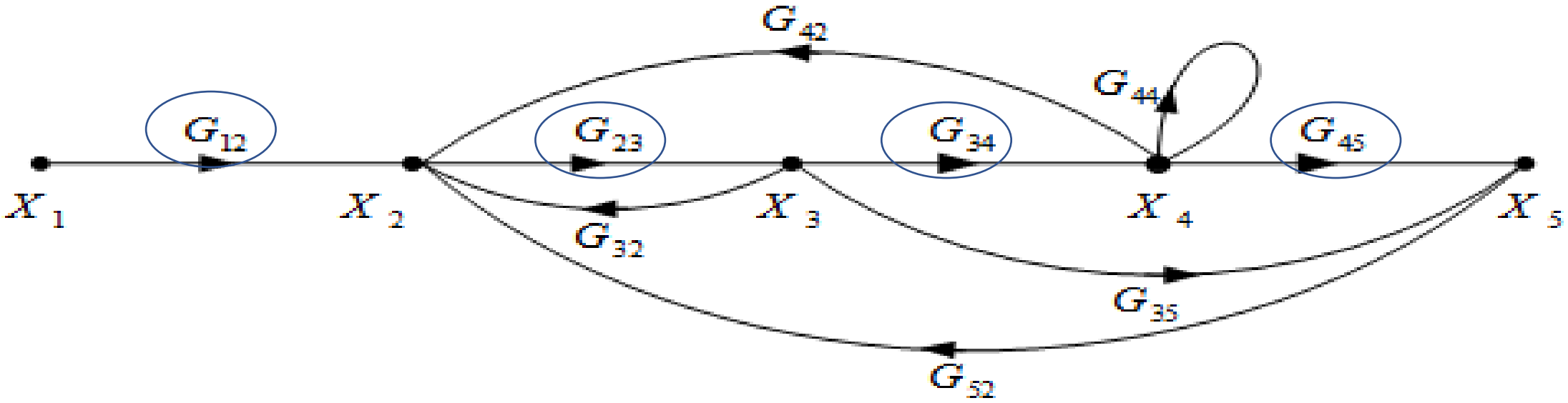
الحلقات غير المتماسة
nontouching loop

يمكن القول عن حلقات ما أنّها غير متماسة إذا لم تشترك بأيّ عقدة.



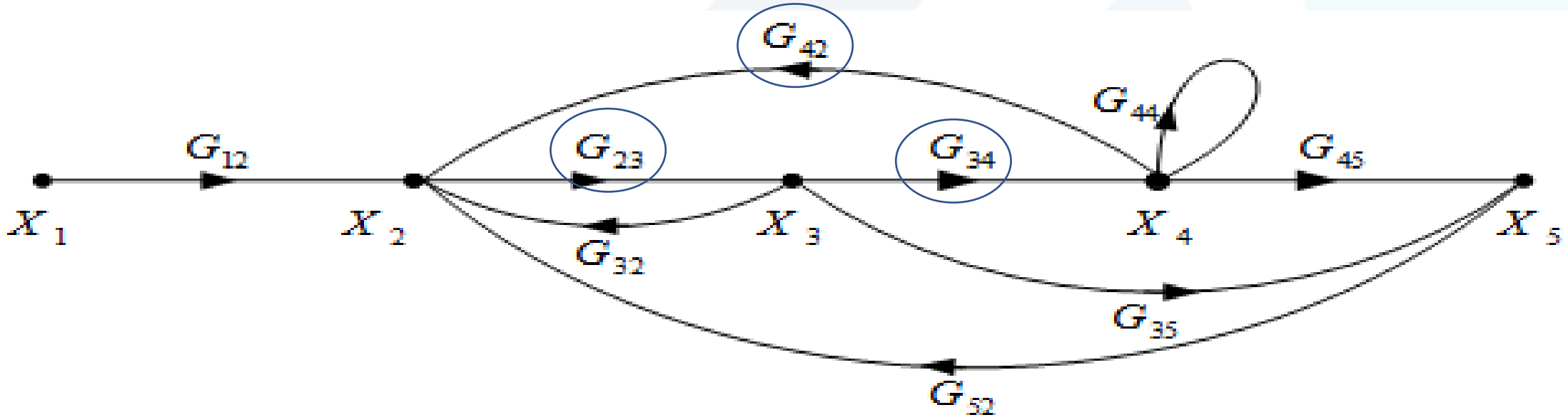
ربح الممر الأمامي
gain forward path

هو جداء معاملات نقل الأفرع التي تشكل الممر الأمامي.



ربح الحلقة
loop gain

هو جداء معاملات نقل الفروع التي تشكل الحلقة.



مثال

$$X_2 = G_{12}X_1 + G_{32}X_3 + G_{42}X_4 + G_{52}X_5$$

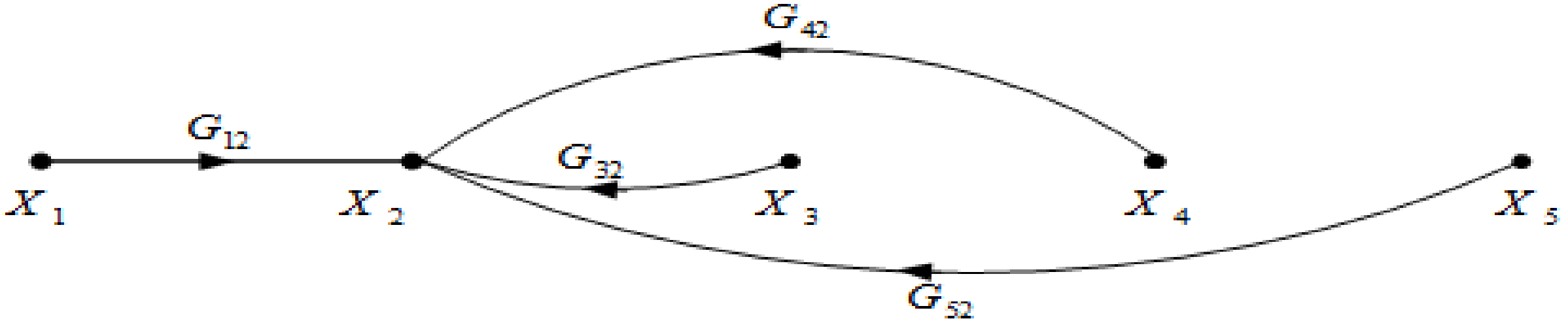
$$X_3 = G_{23}X_2$$

$$X_4 = G_{34}X_3 + G_{44}X_4$$

$$X_5 = G_{35}X_3 + G_{45}X_4$$

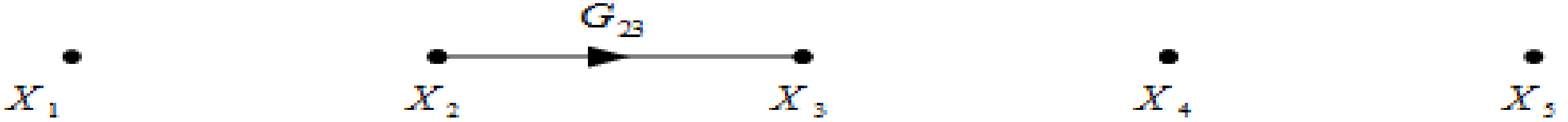
مثال

$$X_2 = G_{12}X_1 + G_{32}X_3 + G_{42}X_4 + G_{52}X_5$$

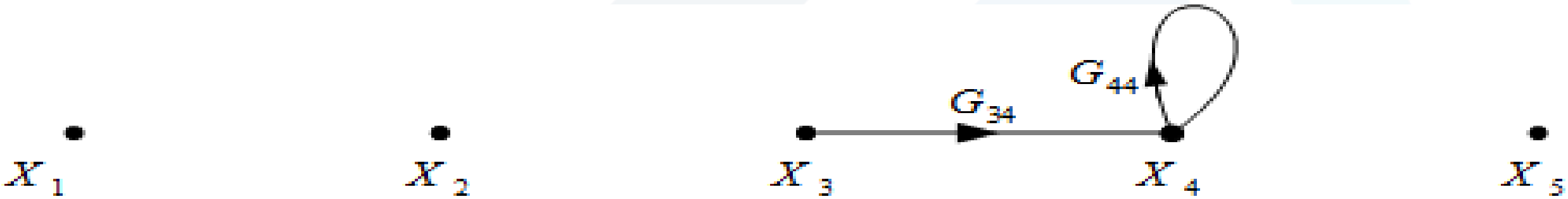


مثال

$$X_3 = G_{23} X_2$$

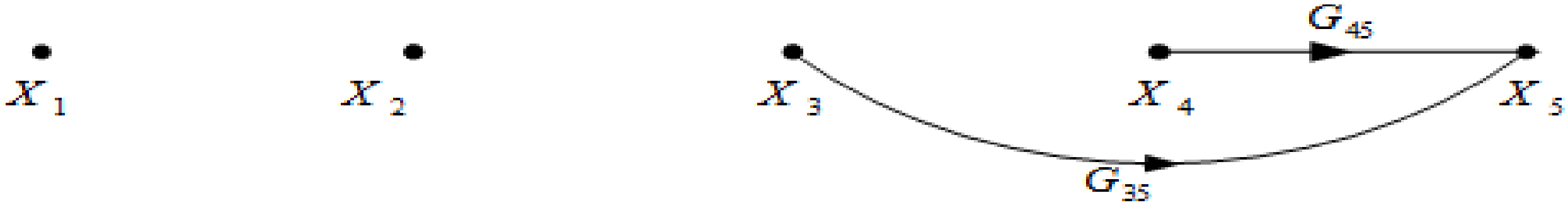


$$X_4 = G_{34} X_3 + G_{44} X_4$$

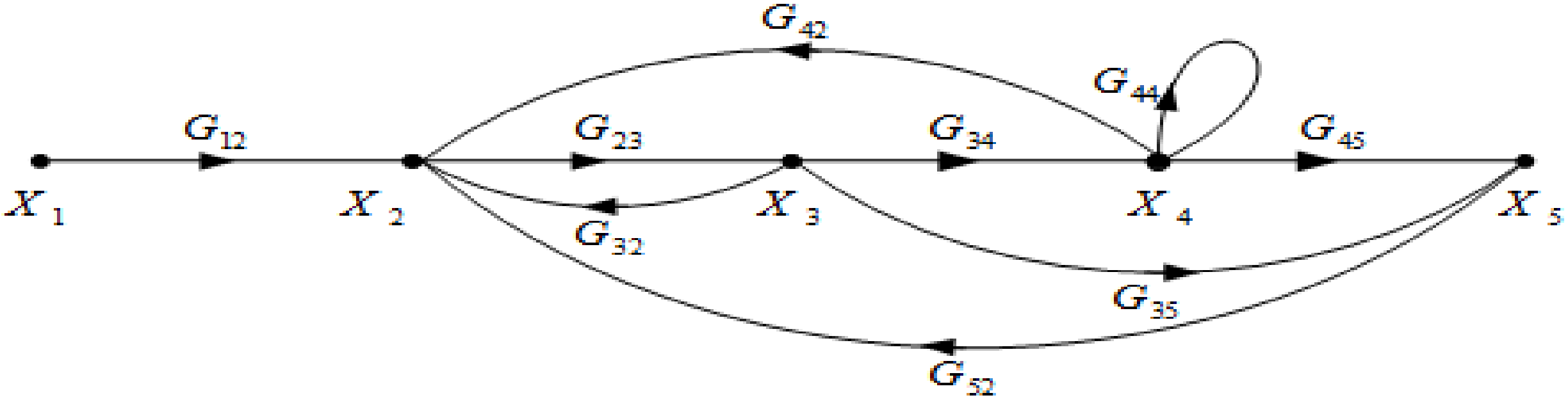


مثال

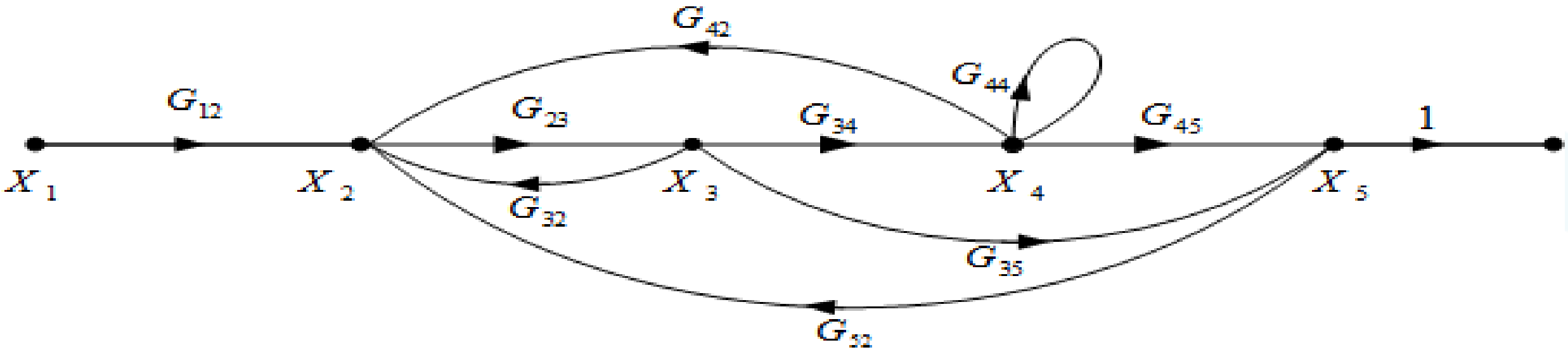
$$X_5 = G_{35}X_3 + G_{45}X_4$$



مثال



مثال



قاعدة ربح ماسون

إن العلاقة بين متغير الدخل ومتغير الخرج لمخطط جريان الإشارة المُعطى بشبكة من الأرباح بين عقدة الدخل وعقدة الخرج، تُعرف بالربح الكلي للنظام.

وتُعطى قاعدة ربح ماسون التي تحدد ربح النظام الكلي بما يلي:

$$M = \frac{1}{\Delta}\sum_{K=1}^{N} P_K \Delta_K = \frac{X_{out}}{X_{in}}$$

مثال ١

مثال ٢

M

الربح بين X_{in} و X_{out} .

$$X_{out}$$

متغير عقدة الخرج

$$X_{in}$$

متغير عقدة الدخل

N

عدد الممرات الأمامية

P_K

ربح الممر الأمامي ذو الرقم K .

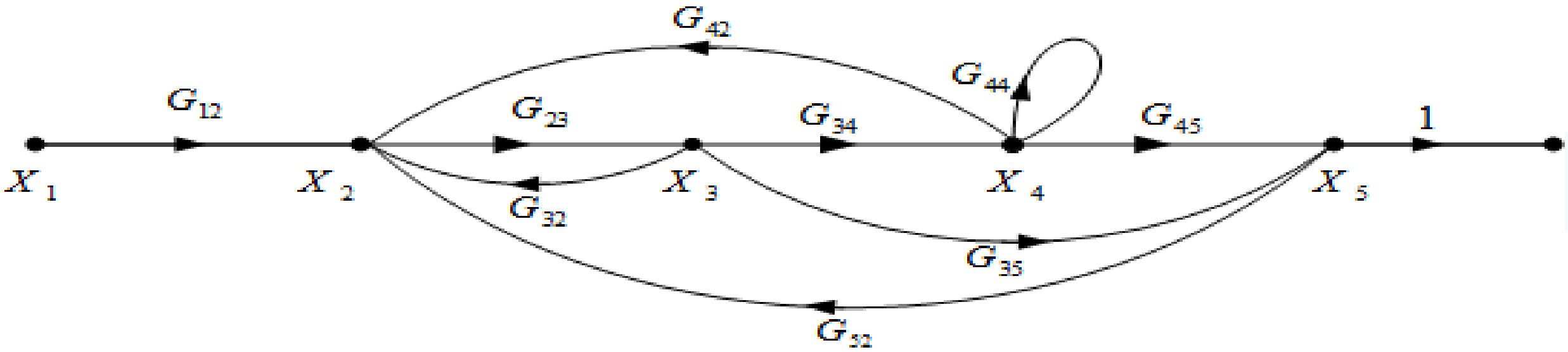
Δ

Δ = ١- (مجموع ربح جميع الحلقات المستقلة) + (مجموع جداء ربح جميع التراكيب الممكنة لكل حلقتين غير متماستين) – (مجموع جداء ربح جميع التراكيب الممكنة لكل ثلاث حلقات غير متماسة) + ...

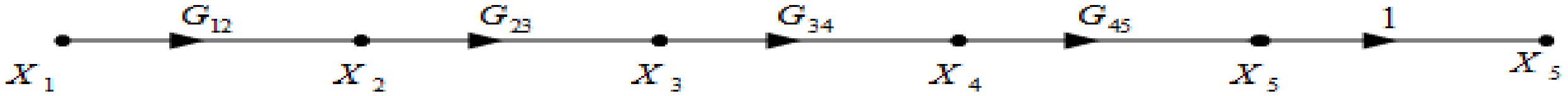
Δ_K

قيمة Δ من أجل جزء المخطط الذي لا يمس الممر الأمامي K .

مثال1



مثال1



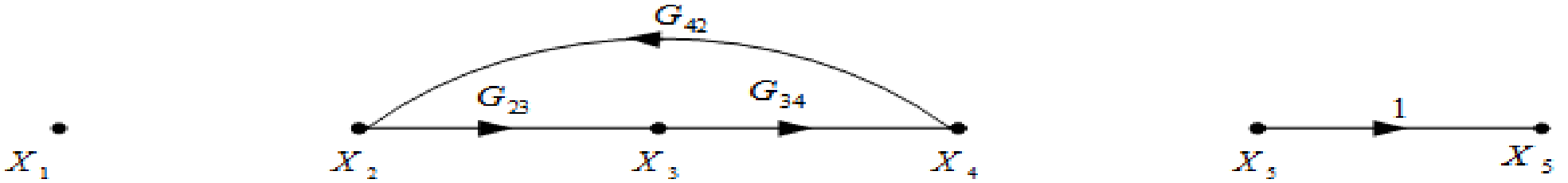
$$P_1 = G_{12}G_{23}G_{34}G_{45}$$

$$P_2 = G_{12}G_{23}G_{35}$$

مثال1

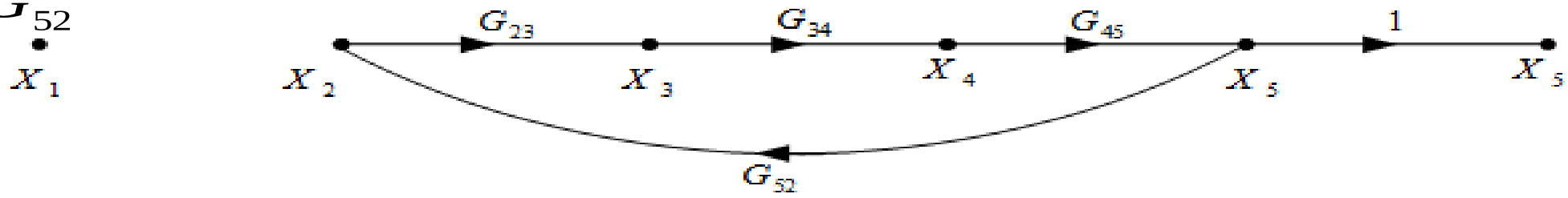
$$L_1 = G_{23}G_{32}$$

$$L_2 = G_{23}G_{34}G_{42}$$



$$L_3 = G_{44}$$

$$L_4 = G_{23}G_{34}G_{45}G_{52}$$

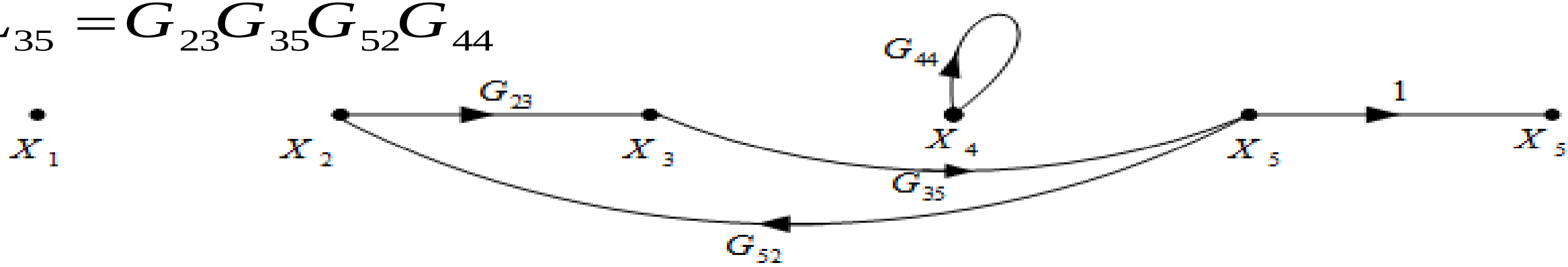


$$L_5 = G_{23}G_{35}G_{52}$$

مثال1

$$L_{13} = G_{23}G_{32}G_{44}$$

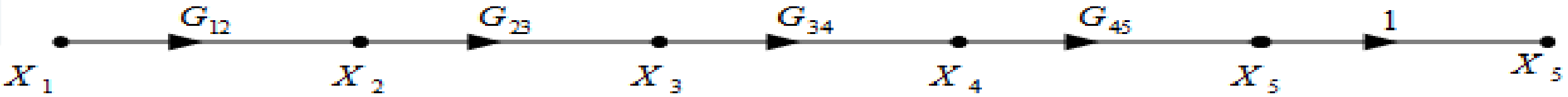
$$L_{35} = G_{23}G_{35}G_{52}G_{44}$$



مثال1

$$\Delta = 1-(L_1+L_2+L_3+L_4+L_5)+(L_{13}+L_{35})$$
$$= 1-(G_{23}G_{32}+G_{23}G_{34}G_{42}+G_{44}+G_{23}G_{34}G_{45}G_{52}+G_{23}G_{35}G_{52})$$
$$+(G_{23}G_{32}G_{44}+G_{23}G_{35}G_{52}G_{44})$$

مثال1



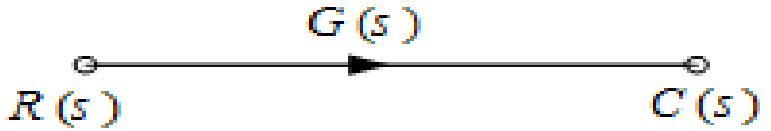
$$\Delta_1 = 1$$

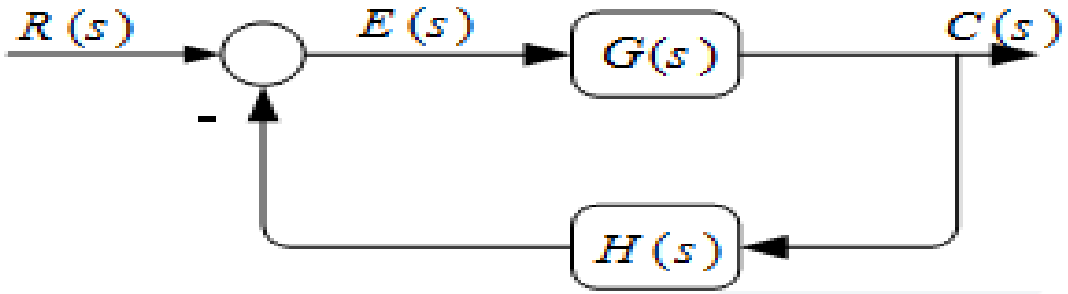
$$\Delta_2 = 1 - G_{44}$$

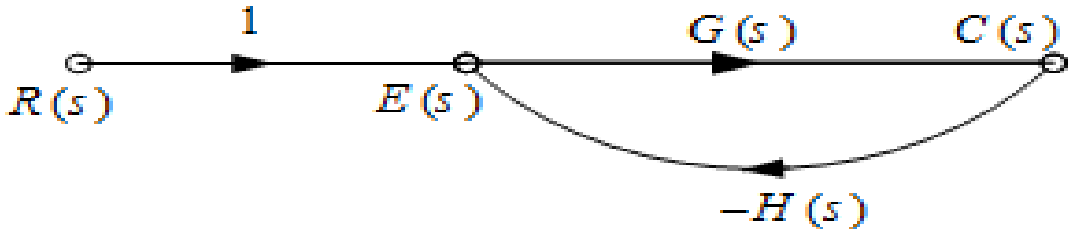
$$M = \frac{X_5}{X_1} = \frac{P_1\Delta_1 + P_2\Delta_2}{\Delta}$$

$$= \frac{G_{12}G_{23}G_{34}G_{45} + G_{12}G_{23}G_{35}\left(1 - G_{44}\right)}{\left[\begin{array}{r} 1 - \left(G_{23}G_{32} + G_{23}G_{34}G_{42} + G_{44} + G_{23}G_{34}G_{45}G_{52} + G_{23}G_{35}G_{52}\right) \\ + \left(G_{23}G_{32}G_{44} + G_{23}G_{35}G_{52}G_{44}\right) \end{array}\right]}$$

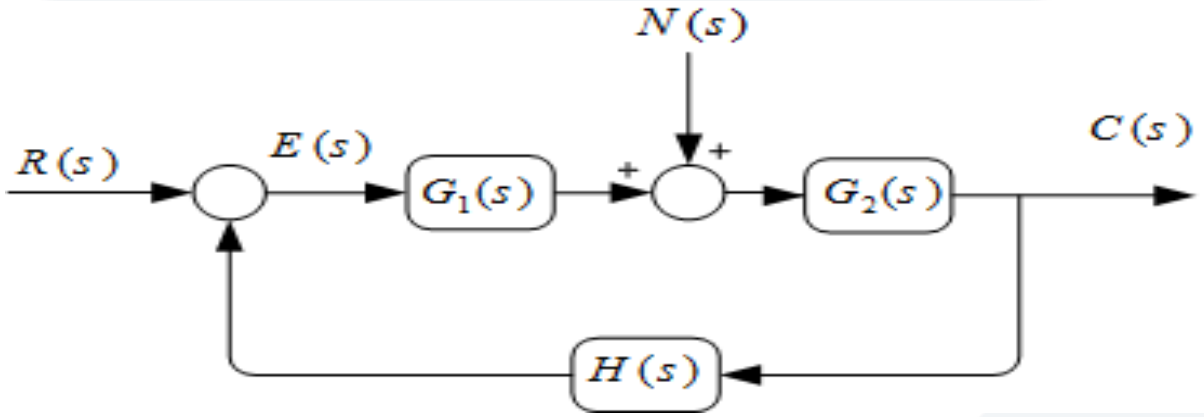
اختصار المخطط الصندوقي باستخدام قاعدة ربح ماسون

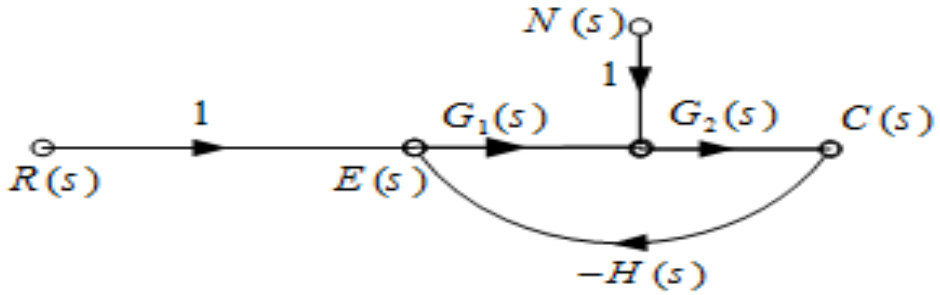




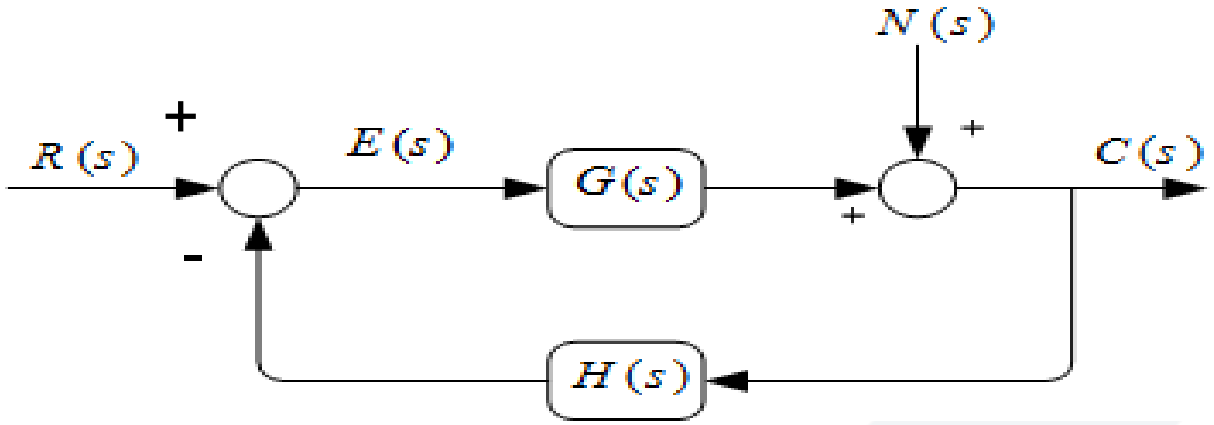


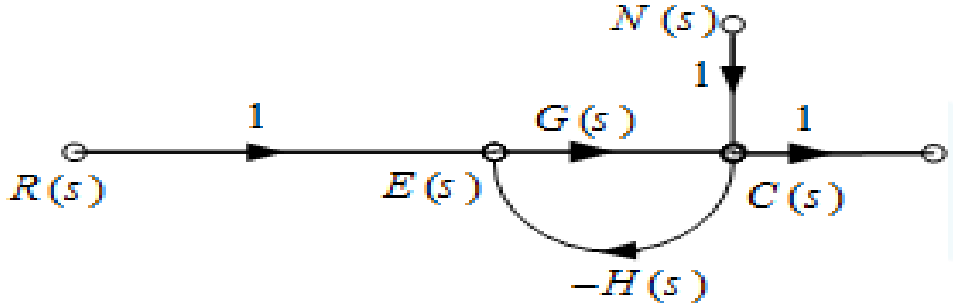
اختصار المخطط الصندوقي باستخدام قاعدة ربح ماسون



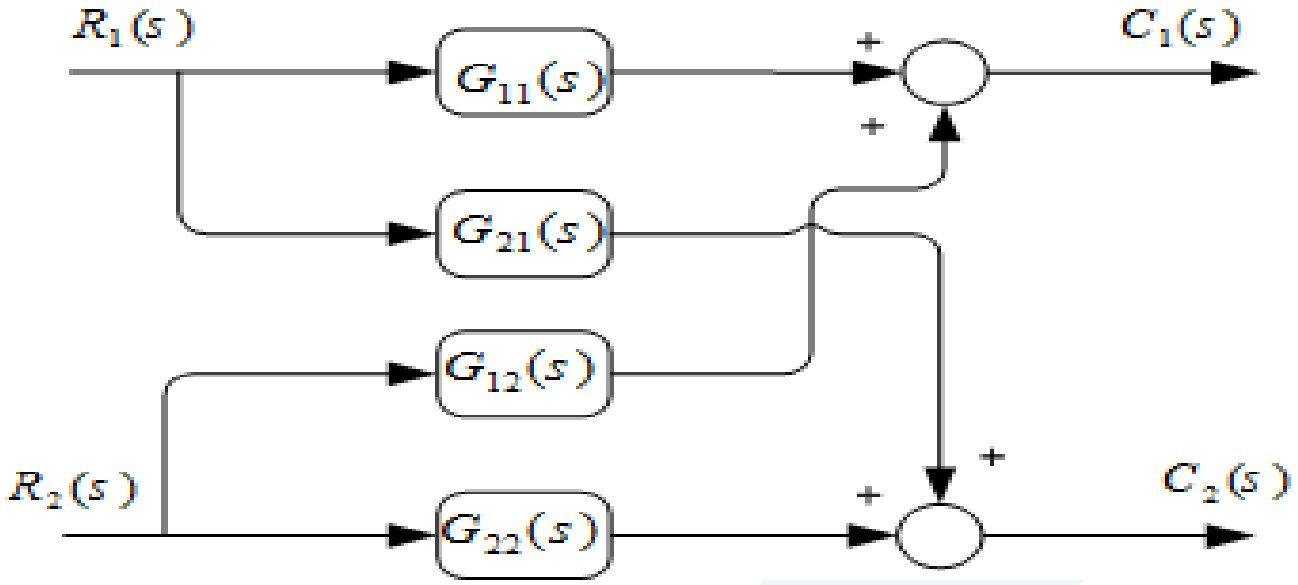


اختصار المخطط الصندوقي باستخدام قاعدة ربح ماسون

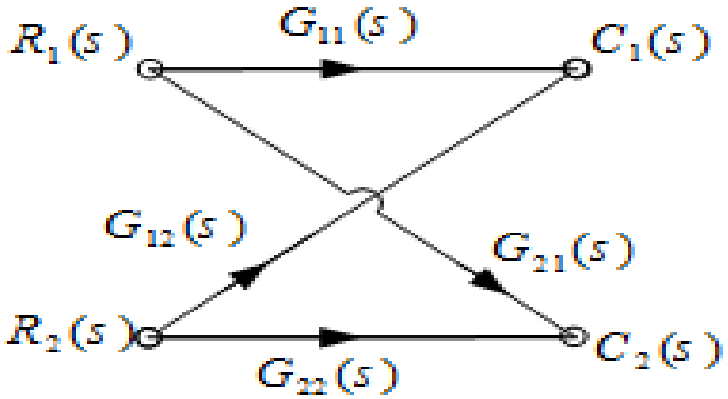




اختصار المخطط الصندوقي باستخدام قاعدة ربح ماسون

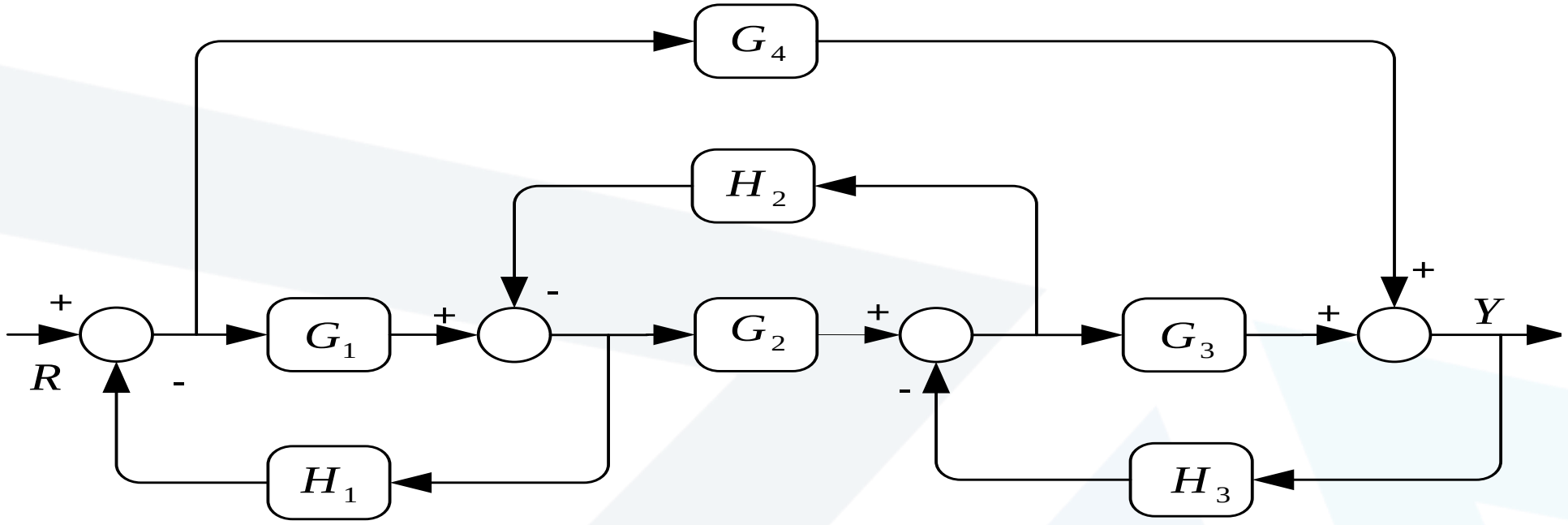


مثال٣

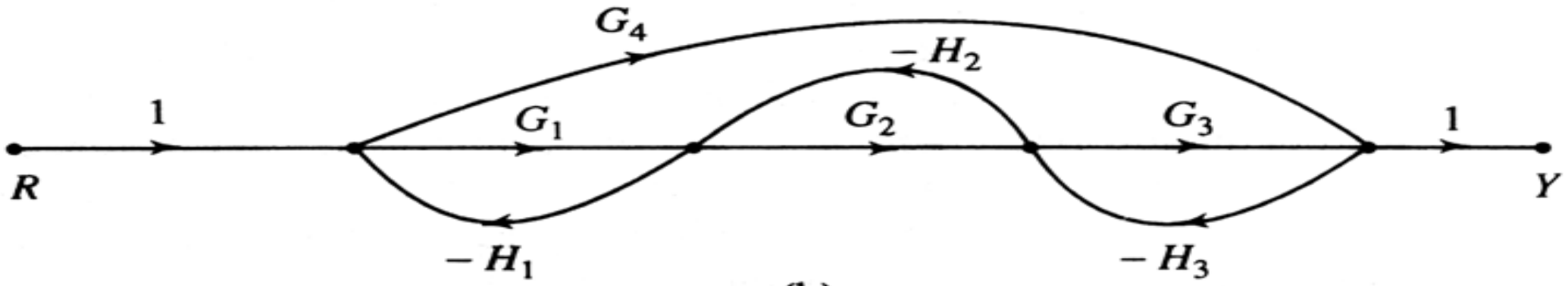


مثال٤

مثال ٤



(a)



(b)

مثال٤

$$P_1 = G_1 G_2 G_3 \qquad P_2 = G_4$$

$$L_1 = -G_1 H_1 \qquad L_2 = -G_2 H_2 \qquad L_3 = -G_3 H_3 \qquad L_4 = -G_4 H_3 H_2 H_1$$

$$L_{13} = G_1 H_1 G_3 H_3$$

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) + L_{13}$$

$$= 1 - \left(-G_1 H_1 - G_2 H_2 - G_3 H_3 - G_4 H_3 H_2 H_1\right) + G_1 H_1 G_3 H_3$$

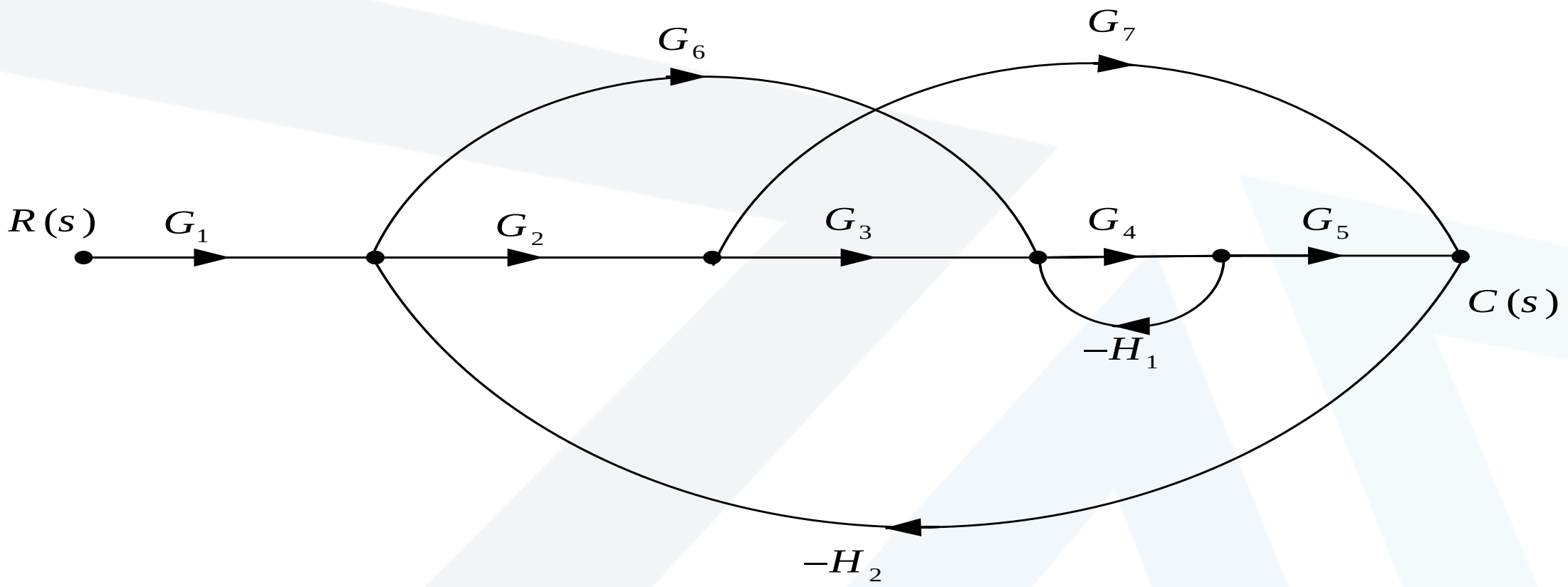
مثال ٤

$$\Delta_1 = 1 \qquad \Delta_2 = 1 - (-G_2H_2)$$

$$M = \frac{Y}{R} = \frac{P_1\Delta_1 + P_2\Delta_2}{\Delta}$$

$$= \frac{G_1G_2G_3 + G_4}{1 + G_1H_1 + G_2H_2 + G_3H_3 + G_4H_3H_2H_1 + G_1H_1G_3H_3}$$

مثال ۲



مثال ۲

$$P_1 = G_1 G_2 G_3 G_4 G_5$$
$$P_2 = G_1 G_6 G_4 G_5$$
$$P_3 = G_1 G_2 G_7$$

$$L_1 = -G_4 H_1$$
$$L_2 = -G_2 G_7 H_2$$
$$L_3 = -G_6 G_4 G_5 H_2$$
$$L_4 = -G_2 G_3 G_4 G_5 H_2$$

مثال ۲

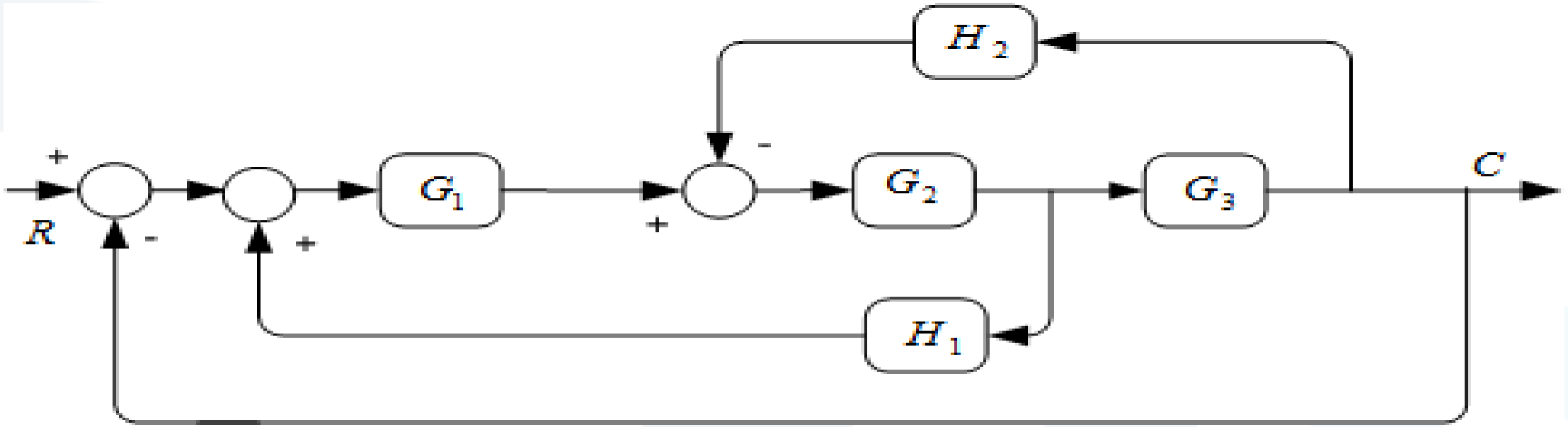
$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) + L_1 L_2$$

$$\Delta_1 = 1 \qquad \Delta_2 = 1 \qquad \Delta_3 = 1 - L_1$$

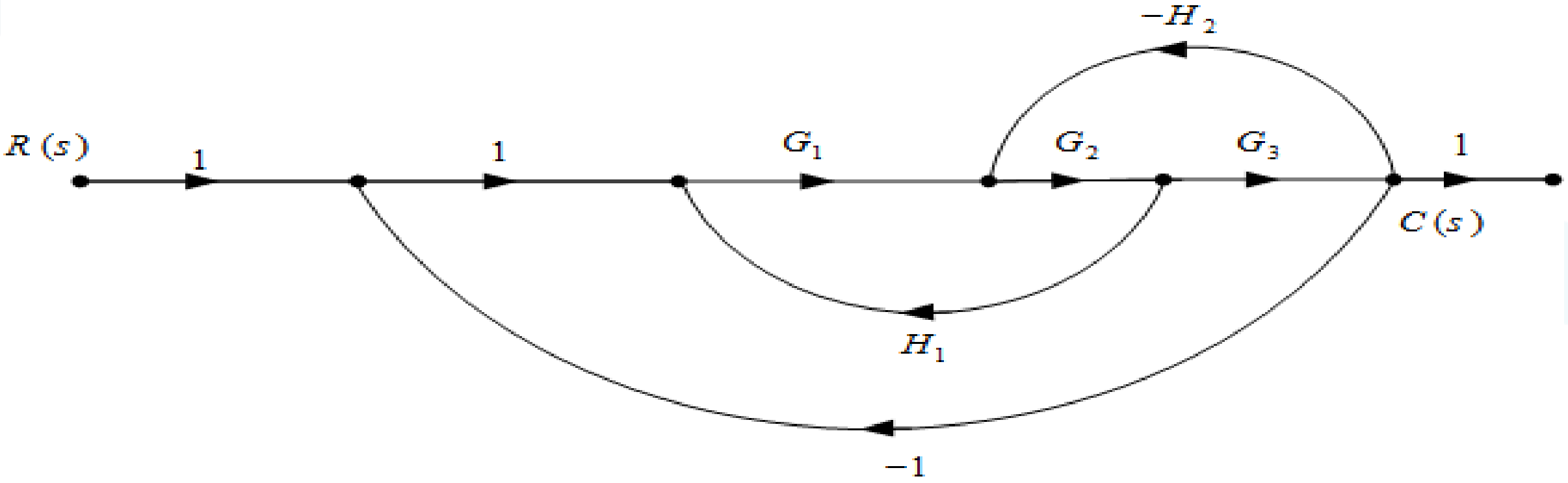
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\Delta}\left(P_1\Delta_1 + P_2\Delta_2 + P_3\Delta_3\right)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1G_2G_3G_4G_5 + G_1G_6G_4G_5 + G_1G_2G_7(1+G_4H_1)}{1 + G_4H_1 + G_2G_7H_2 + G_6G_4G_5H_2 + G_2G_3G_4G_5H_2 + G_4G_1G_2G_7H_2}$$

مثال۳



مثال۳



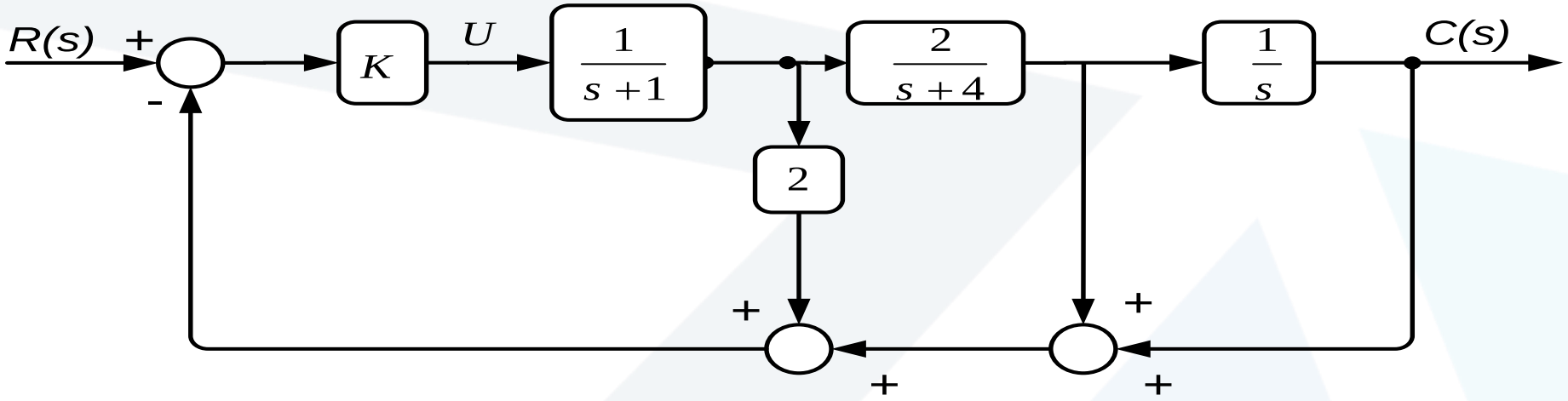
مثال۳

$$M = \frac{C}{R} = \frac{P_1 \Delta_1}{\Delta}$$

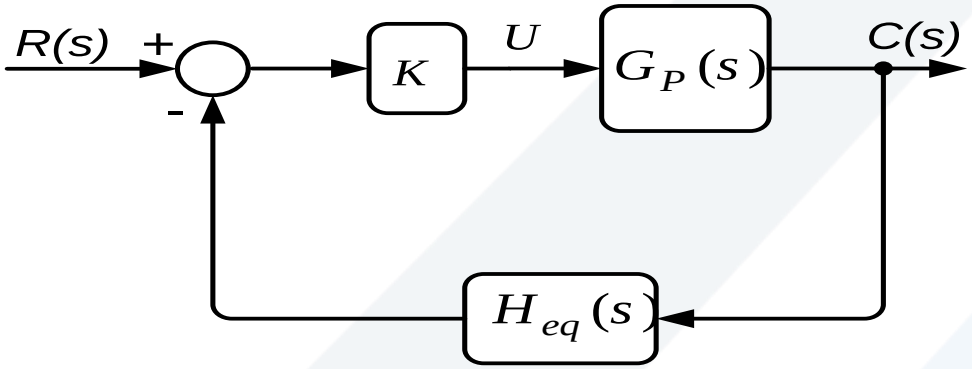
$$= \frac{G_1 G_2 G_3}{1 - G_1 G_2 H_1 + G_2 G_3 H_2 + G_1 G_2 G_3}$$

مثال

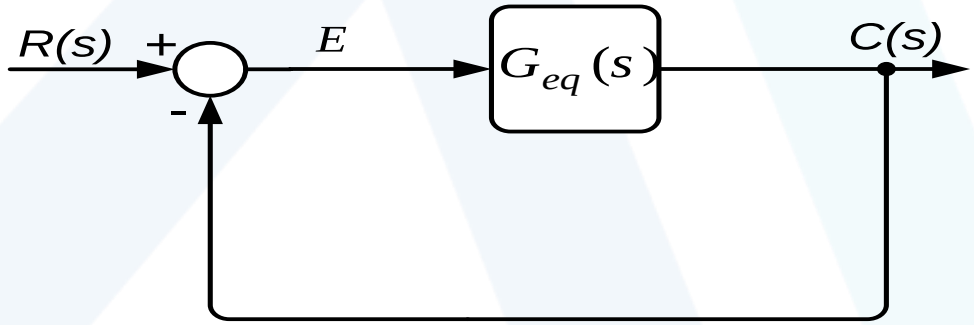
باستخدام تقنية اختصار المخططات الصندوقية أعد ترتيب المخطط الصندوقي التالي على شكل المخططين H و G على أن تقوم بحساب جميع دوال الانتقال اللازمة لذلك.



الشكل H

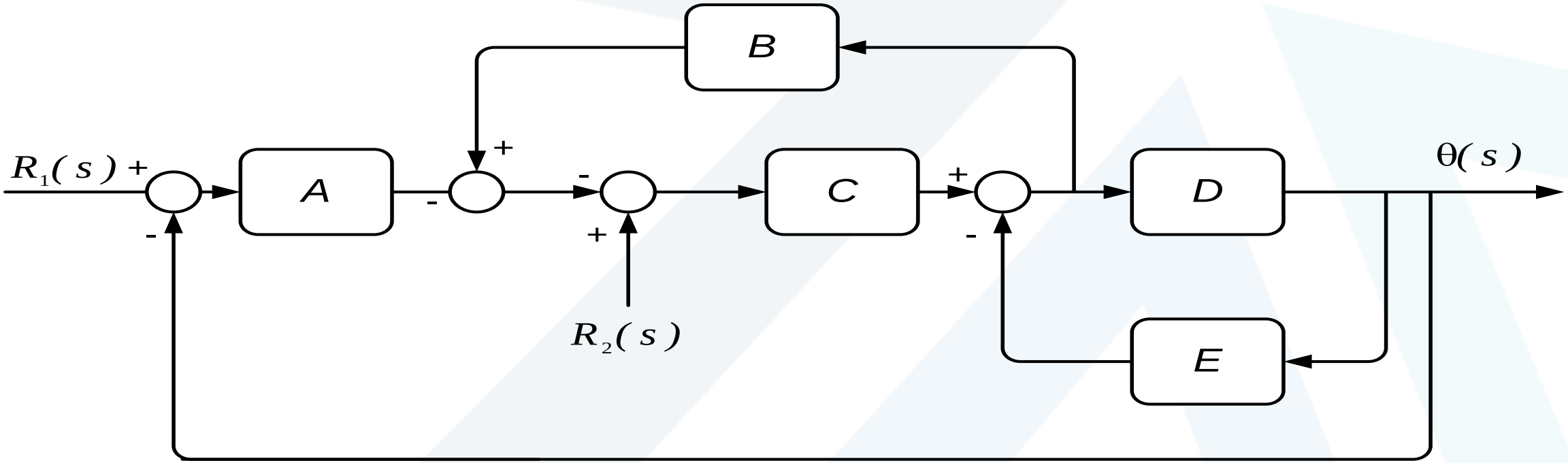


الشكل G

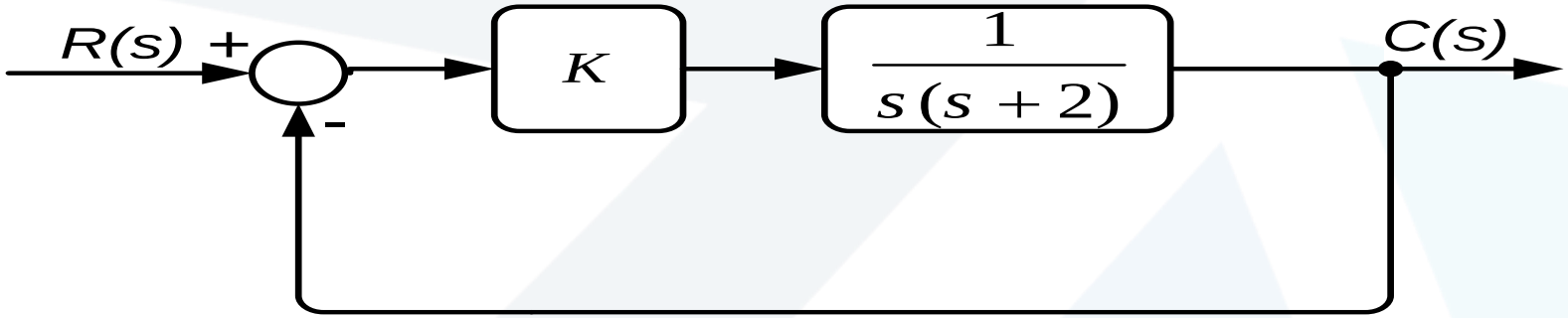


مثال

أوجد دالة الانتقال $G_{R_1}(s) = \frac{\theta_1(s)}{R_1(s)}$ و ذلك عندما يكون الدخل $R_2(s) = 0$ ، و أوجد دالة الانتقال $G_{R_2}(s) = \frac{\theta_2(s)}{R_2(s)}$ و ذلك عندما يكون الدخل $R_1(s) = 0$ ، و من ثم أوجد الاستجابة $\theta(s)$.



يمثل المخطط الصندوقي المبين في الشكل التالي نظام تحكم:



١- حدد أقطاب الحلقة المغلقة التي لها نسبة تخامد مقدارها 0.5.

٢- جد قيمة الربح K التي تقابل أقطاب الحلقة المغلقة

حيث: $K \geq 0$

$$s_{1,2} = -3 \pm j1.5$$