

١.١٠ التغذية الخلفية وأنواعها:

تعرف التغذية الخلفية بأنها عملية إعادة جزء من إشارة الإخراج لمضخم إلى طرفي الإدخال مرة ثانية. وهناك نوعان من التغذية الخلفية وهي:

أ- تغذية خلفية موجبة: هي عملية إعادة جزء من إشارة الإخراج من مضخم إلى طرفي الإدخال بحيث تكون الإشارة المُعادة بنفس طور إشارة الإدخال (فرق الطور صفر).

ب- تغذية خلفية سالبة: هي عملية إعادة جزء من إشارة الإخراج من مضخم إلى طرفي الإدخال بحيث تكون الإشارة المُعادة معاكسة لطور إشارة الإدخال (فرق الطور 180°).

سنتناول في هذا الفصل التغذية الخلفية السالبة وفي الفصل التالي سنتناول التغذية الخلفية الموجبة.

تستعمل التغذية الخلفية السالبة في تحسين مواصفات المضخم وذلك من حيث تثبيت الكسب، تحسين ممانعة الإدخال والإخراج، توسيع عرض الحزمة.

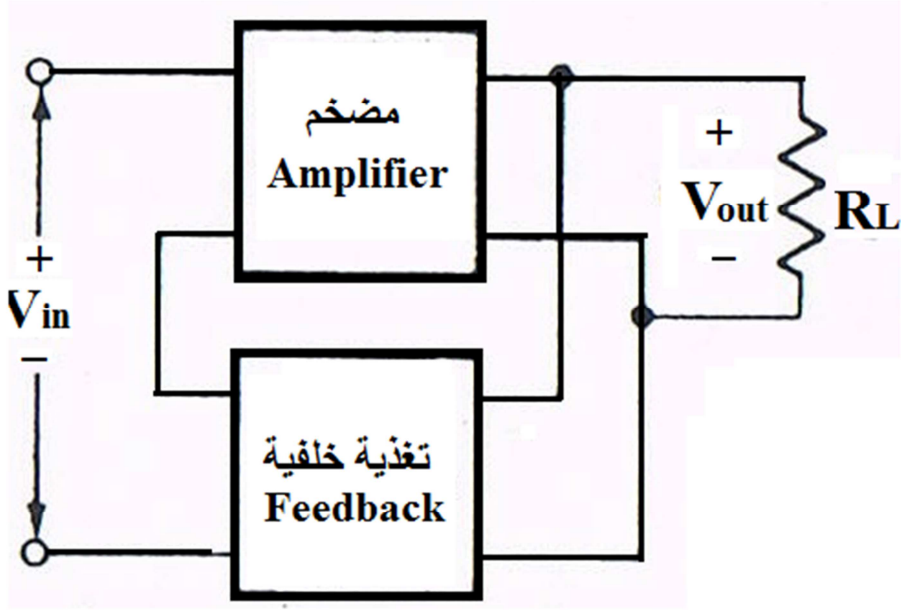
٢.١٠ أنواع ربط التغذية الخلفية:

يتكون مضخم التغذية الخلفية من جزئيين: مضخم ودائرة تغذية خلفية واعتماداً على ربط الإخراج فان فولتية الإخراج أو تياره يسوق دائرة التغذية الخلفية.

هناك أربعة أنواع أساسية لربط التغذية الخلفية مع مضخم وهي كالتالي:

أ- ربط توالي-توازي (SP):

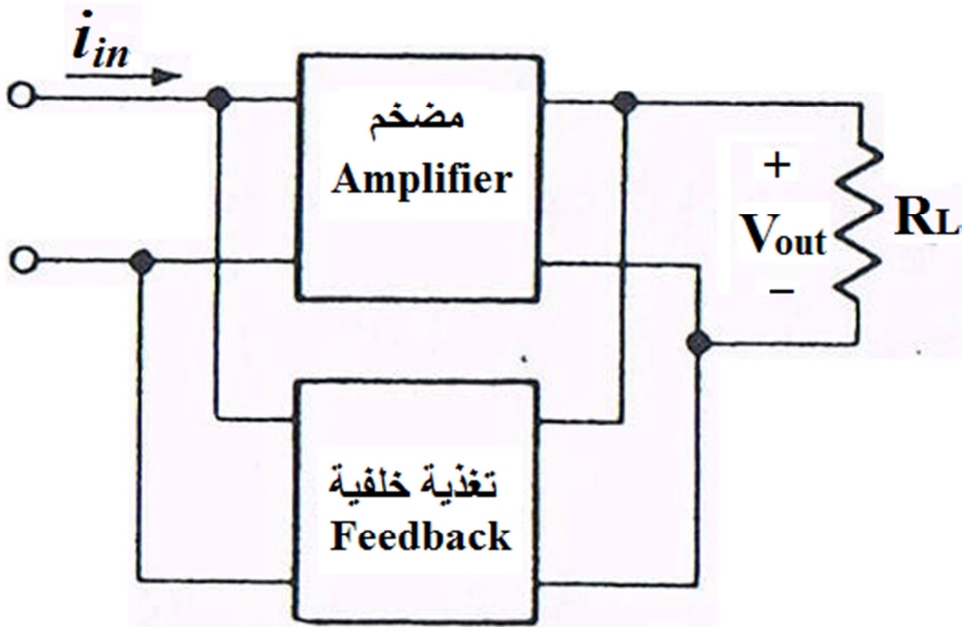
الشكل (١٠-١) يوضح طريقة ربط توالي-توازي حيث يربط إدخال المضخم وإدخال دائرة التغذية الخلفية على التوالي بينما يربط إخراجها على التوازي. بهذا الربط يكون المتغير المتحكم في الإدخال هو V_{in} اما المتغير المتحكم به في الإخراج فهو V_{out} والغاية النهائية من تغذية SP هو الحصول على نسبة مضبوطة وثابتة للمقدار (V_{out}/V_{in}) .



شكل ١٠-١: دائرة مضخم مع تغذية خلفية من نوع توالي-توازي SP

ب- ربط توازي-توازي (PP):

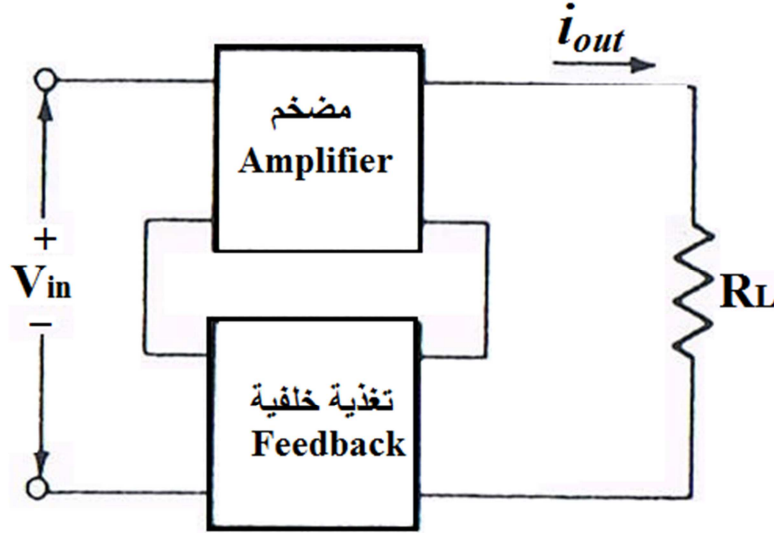
الشكل (١٠-٢) يوضح طريقة ربط توازي-توازي حيث يكون إدخال المضخم وإدخال دائرة التغذية الخلفية مربوطة على التوازي وكذلك الإخراجين. يكون المتغير المتحكم في الإدخال هو V_{in} و المتغير المتحكم به في الإخراج فهو V_{out} وتحقق هذه التغذية نسبة مضبوطة وثابتة جداً للمقدار (V_{out}/i_{in}) .



شكل ١٠-٢: دائرة مضخم مع تغذية خلفية من نوع توازي-توازي PP

ج- ربط توالي-توالي (SS)

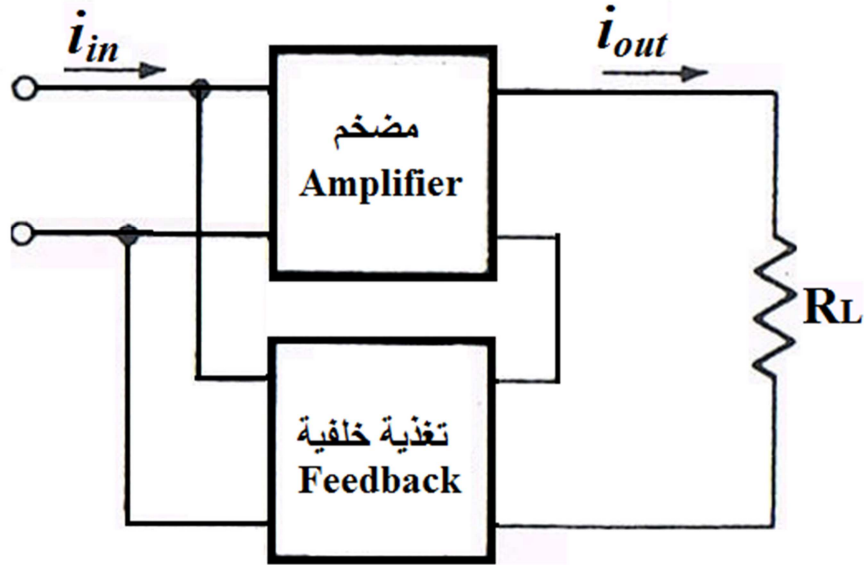
في هذا الربط يكون إدخال المضخم ودائرة التغذية الخلفية مربوطان على التوالي وكذلك الإخراج مربوطان على التوالي كما موضح بالشكل (٣-١٠). المتغير المتحكم به بالإدخال هو V_{in} والمتغير المتحكم به في الإخراج هو i_{out} والغاية من التغذية الخلفية SS هو الحصول على نسبة عالية الدقة لـ (i_{out}/V_{in}) .



شكل ٣-١٠: دائرة مضخم مع تغذية خلفية من نوع توالي-توالي SS

د- ربط توازي-توالي (PS)

يكون إدخال المضخم والتغذية الخلفية مربوطين على التوازي بينما الإخراجان مربوطين على التوالي، كما هو موضح بالشكل (٤-١٠). بهذه الطريقة نحصل على نسبة ثابتة جداً للمقدار (i_{out}/i_{in}) .



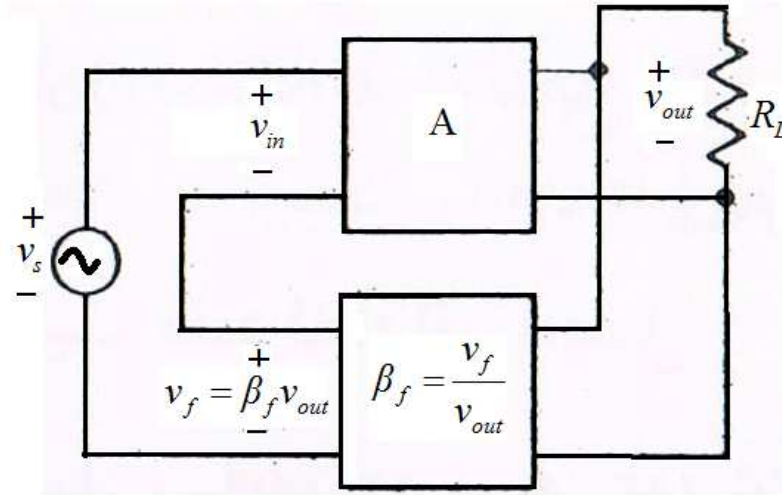
شكل ٤-١٠: دائرة مضخم مع تغذية خلفية من نوع توازي-توالي PS

سنتناول في دراستنا دائرة التغذية الخلفية السالبة المربوطة بطريقة توالي-توازي (SP) لأنها تتيح الحصول على مضخم فولتية مثالي (المضخم المثالي هو الذي يمتلك ممانعة إدخال عالية جداً وممانعة إخراج واطئة جداً وكسب فولتية ثابت).

٣.١٠ تأثير التغذية الخلفية السالبة من النوع SP على كسب المضخم:

الشكل (١٠-٥) يمثل مضخم مع دائرة تغذية خلفية مربوطة بطريقة SP. حيث يمثل A كسب المضخم بدون وجود دائرة التغذية الخلفية، ويسمى المقدار β_f بمعامل التغذية الخلفية ويعرف بالصيغة:

$$\beta_f = \frac{v_f}{v_{out}} \quad (10-1)$$



شكل ١٠-٥: مضخم مع دائرة تغذية خلفية مربوطة بطريقة SP

في حالة عدم وجود التغذية الخلفية ($v_f=0$) يكون ($v_{in}=v_s$) ، وعندها يكون كسب المضخم معرف بالصيغة:

$$A = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{v_{out}}{v_s}$$

$$v_{in} = v_s - v_f$$

في حالة وجود التغذية الخلفية (v_f) يكون:

وحيث ان:

$$v_{out} = Av_{in}$$

$$v_{out} = A(v_s - v_f)$$

$$v_{out} = Av_S - Av_f \quad (10-2)$$

من تعريف معامل التغذية الخلفية لدينا:

$$\beta_f = \frac{v_f}{v_{out}} \Rightarrow v_f = \beta_f v_{out}$$

بالتعويض عن v_f في المعادلة (10-2) نحصل على:

$$v_{out} = Av_S - A\beta_f v_{out}$$

بترتيب الحدود نحصل على:

$$v_{out} + A\beta_f v_{out} = Av_S$$

$$(1 + A\beta_f)v_{out} = Av_S \quad (10-3)$$

ان الكسب الكلي (للمضخم مع دائرة التغذية الخلفية السالبة) يعرف بالصيغة:

$$A_f = \frac{v_{out}}{v_S}$$

بالاستفادة من المعادلة (10-3) نجد:

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta_f} \quad (10-4)$$

من العلاقة (10-4) نستنتج ان التغذية الخلفية السالبة تؤدي إلى التقليل من الكسب الكلي. ويسمى

المقدار $(1 + A\beta_f)$ بعامل التضحية (Scarfify factor).

بالرغم من ان عملية التغذية الخلفية السالبة تؤدي إلى التقليل من الكسب، إلا انها تؤدي كذلك إلى

تحسين خواص المضخم ومنها ثبوت قيمة الكسب ويمكن تفسير ذلك كما يلي:

عند تغير كسب المضخم (A) لأي سبباً كان ولنفرض ان الكسب زاد نتيجة لارتفاع درجة الحرارة فان

ذلك سيؤدي إلى زيادة فولتية الإخراج ($v_o = Av_{in}$) وهذا بدوره سيزيد من فولتية التغذية الخلفية التي ستُعاد

إلى إدخال المضخم ($v_f = \beta_f v_o$) وبطور معاكس مما يؤدي بالنتيجة إلى تقليل الكسب وبمقدار يُعادل الزيادة

التي حدثت نتيجة لارتفاع درجة الحرارة وبالمحصلة النهائية يبقى الكسب ثابتاً.

بالإضافة لتثبيت قيمة الكسب فان للتغذية الخلفية السالبة فوائد أخرى تتمثل بزيادة ممانعة الإدخال والتقليل من ممانعة الإخراج وتوسيع عرض النطاق وهذا ما سنتناوله في الفقرات التالية.

٤.١٠ تأثير التغذية الخلفية السالبة من النوع SP على ممانعة الإدخال والإخراج للمضخم:

يمكن حساب ممانعة الإدخال لدائرة المضخم مع التغذية الخلفية السالبة من النوع SP كما يلي:

$$i_{in} = \frac{v_{in}}{Z_{in}}, \text{ But we have } v_{in} = v_s - v_f \Rightarrow i_{in} = \frac{v_s - v_f}{Z_{in}}, \quad v_f = \beta_f v_{out}, \quad v_{out} = A v_{in}$$

$$i_{in} = \frac{v_s - \beta_f A v_{in}}{Z_{in}} \Rightarrow i_{in} Z_{in} = v_s - \beta_f A v_{in}$$

$$v_s = i_{in} Z_{in} + \beta_f A v_{in}, \quad \text{But we have } v_{in} = i_{in} Z_{in}$$

$$v_s = i_{in} Z_{in} + \beta_f A i_{in} Z_{in}$$

$$Z_{if} = \frac{v_s}{i_{in}} = \frac{i_{in} Z_{in} + \beta_f A i_{in} Z_{in}}{i_{in}}$$

$$Z_{if} = (1 + \beta_f A) Z_{in} \quad (10-5)$$

من العلاقة (10-5) نستنتج ان التغذية الخلفية السالبة تعمل على زيادة ممانعة الإدخال بقدر $(1 + \beta_f A)$ من المرات بقدر ممانعة الإدخال عند عدم وجود التغذية الخلفية.

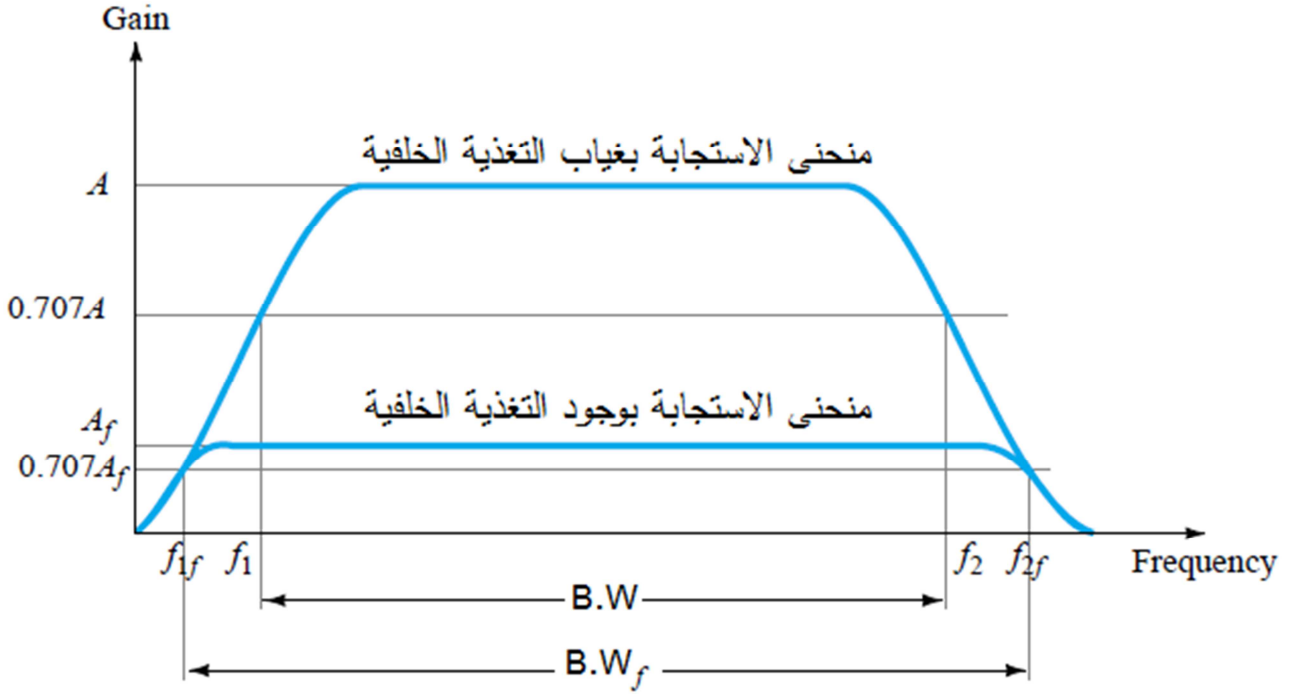
بطريقة مشابهة يمكن اثبات ان ممانعة الإخراج لمضخم مع دائرة تغذية خلفية سالبة من النوع SP تعطى بالصيغة:

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{1 + \beta_f A} \quad (10-6)$$

أي ان ممانعة الإخراج تقل نتيجة للتغذية الخلفية من النوع SP.

٥.١٠ تأثير التغذية الخلفية السالبة من النوع SP على عرض الحزمة:

سبق ان وجدنا ان التغذية الخلفية السالبة تؤدي إلى التقليل من كسب الفولتية لدائرة المضخم مع تغذية خلفية، ان التقليل من الكسب يصاحبه زيادة في عرض الحزمة الترددية التي يعمل ضمنها المضخم، وهذه ميزة إضافية توفرها التغذية الخلفية السالبة فزيادة عرض الحزمة يعني إمكانية عمل المضخم بكفاءة ضمن نطاق أوسع من الترددات، الشكل (٦-١٠) يوضح تأثير التغذية الخلفية السالبة على منحنى الاستجابة الترددية للمضخم، حيث نلاحظ ان منحنى الاستجابة بوجود التغذية الخلفية ينخفض مقارنة مع منحنى الاستجابة لنفس المضخم عند عدم وجود التغذية الخلفية $(A_f < A)$ وهذا يجعل تردد القطع الأدنى بوجود التغذية اقل من مثيله عند عدم وجود التغذية الخلفية $(f_{1f} < f_1)$ وبالمقابل نلاحظ ان تردد القطع الأعلى بوجود التغذية الخلفية اكبر من تردد القطع الأعلى بغياب التغذية الخلفية $(f_{2f} > f_2)$ ، وبالنتيجة يكون عرض النطاق بوجود التغذية الخلفية هو اكبر من عرض النطاق عند عدم وجودها $(B.W_f > B.W)$.



شكل ٦-١٠: تأثير التغذية الخلفية السالبة منحنى الاستجابة الترددية للمضخم

مثال (١٠-١): احسب كل من: كسب الفولتية، ممانعة الإدخال، ممانعة الإخراج لدائرة مضخم وتغذية خلفية سالبة من نوع SP لها ($Z_o = 20k\Omega$, $Z_i = 10k\Omega$, $A = -100$, $\beta_f = -0.1$)

الحل:

من معطيات المسألة لدينا: $Z_o = 20 \times 10^3 \Omega$, $Z_i = 10 \times 10^3 \Omega$, $A = -100$, $\beta_f = -0.1$

يعطى كسب الفولتية بوجود التغذية الخلفية السالبة من نوع SP بالصيغة:

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta_f}$$

$$A_f = \frac{-100}{1 + (-100)(-0.1)} = \frac{-100}{1 + 10} = \frac{-100}{11}$$

$$A_f = -9.09$$

تعطى ممانعة الإدخال بوجود التغذية الخلفية السالبة من نوع SP بالصيغة:

$$Z_{if} = (1 + \beta_f A) Z_{in}$$

$$Z_{if} = [1 + (-0.1)(-100)] \times 10 \times 10^3 = [1 + 10] \times 10^4$$

$$Z_{if} = 11 \times 10^4 \Omega = 110k\Omega$$

تعطى ممانعة الإخراج بوجود التغذية الخلفية السالبة من نوع SP بالصيغة:

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{1 + \beta_f A}$$

$$Z_{of} = \frac{20 \times 10^3}{1 + (-0.1)(-100)} = \frac{20 \times 10^3}{1 + 10}$$

$$Z_{of} = 1.82 \times 10^3 \Omega = 1.82k\Omega$$

أسئلة الفصل العاشر

س١: وضح المقصود بالتغذية الخلفية ثم اذكر أنواعها.

س٢: ما التغذية الخلفية السالبة وما الفوائد التي يمكن ان توفرها عند ربطها بدائرة مضخم.

س٣: وضح مع الرسم تأثير التغذية الخلفية السالبة على منحنى الاستجابة الترددية للمضخم.

س٤: احسب كسب الفولتية، ممانعة الإدخال، ممانعة الإخراج لدائرة مضخم وتغذية خلفية سالبة من نوع SP

لها ($Z_o = 50k\Omega$, $Z_i = 20k\Omega$, $A = -150$, $\beta_f = -0.01$).