

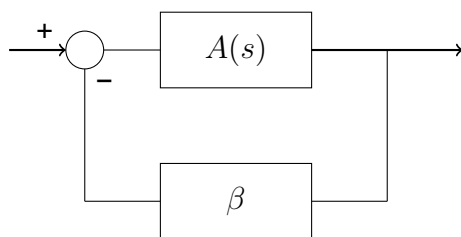
## آزمایش شماره ۳

### پایداری فیدبک تقویت کننده متوالی

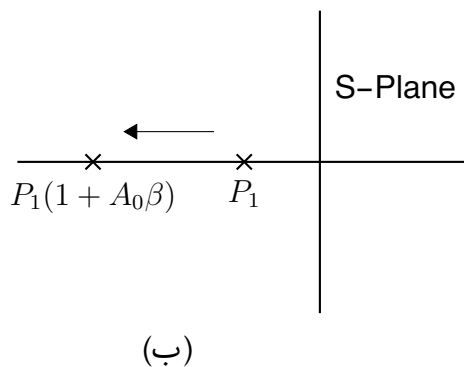
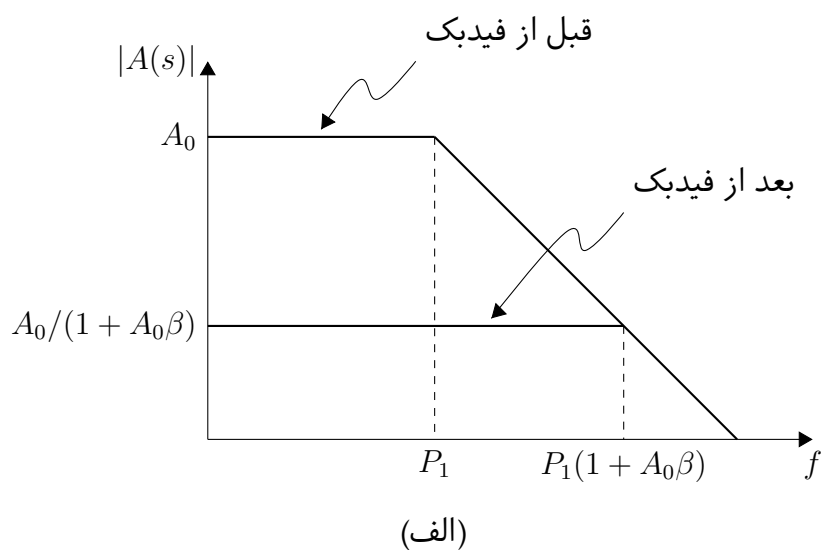
- **هدف آزمایش:** بررسی پاسخ فرکانسی و شرایط بروز ناپایداری در فیدبک تقویت کننده متوالی
- **قطعات مورد نیاز:** ترانزیستور BC547C سه عدد، مقاومت  $680\Omega$  سه عدد، مقاومت  $220k\Omega$  دو عدد، مقاومت‌های  $120k\Omega$ ،  $470\Omega$ ،  $10k\Omega$ ،  $100k\Omega$ ، پتانسیومتر  $1k\Omega$  و پتانسیومتر  $200k\Omega$ ، خازنهای  $220nF$  و  $100nF$

### ۱.۳ مقدمه

بلوک دیاگرام یک سیستم دارای فیدبک منفی در شکل ۱.۳ نمایش داده شده است. اگر بهره مدار باز را با  $A(s)$  نشان دهیم، در ساده ترین حالت میتواند دارای یک قطب در مکان  $P_1$  در سمت چپ محور  $j\omega$  با بهره میانی  $A_0$  باشد. شکل ۲.۳-الف) دیاگرام بد این تقویت کننده را قبل و بعد از اعمال فیدبک نمایش می دهد. در شکل ۲.۳-ب) مکان هندسی ریشه های این تقویت کننده را به ازای تغییر فیدبک نمایش میدهد. همانطور که در شکل پیداست، با افزایش مقدار فیدبک قطب سیستم حلقه بسته از محور دورتر میشود و در نتیجه سیستم پایدارتر خواهد شد.



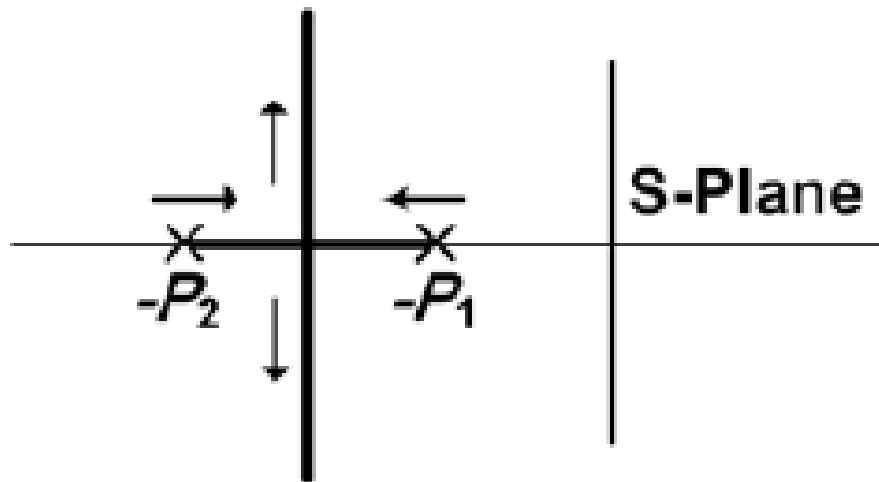
شکل ۱.۳: بلوک دیاگرام سیستم با فیدبک



شکل ۲.۳: فیدبک در تقویت کننده با قطب غالب (الف) دیاگرام بد (ب) مکان هندسی ریشه

حال سیستمی را با دو قطب حقیقی در تقویت کننده اصلی با تابع انتقال زیر در نظر بگیرید:

$$A(s) = \frac{A_0}{(1 + \frac{s}{P_1})(1 + \frac{s}{P_2})} \quad (۱.۳)$$



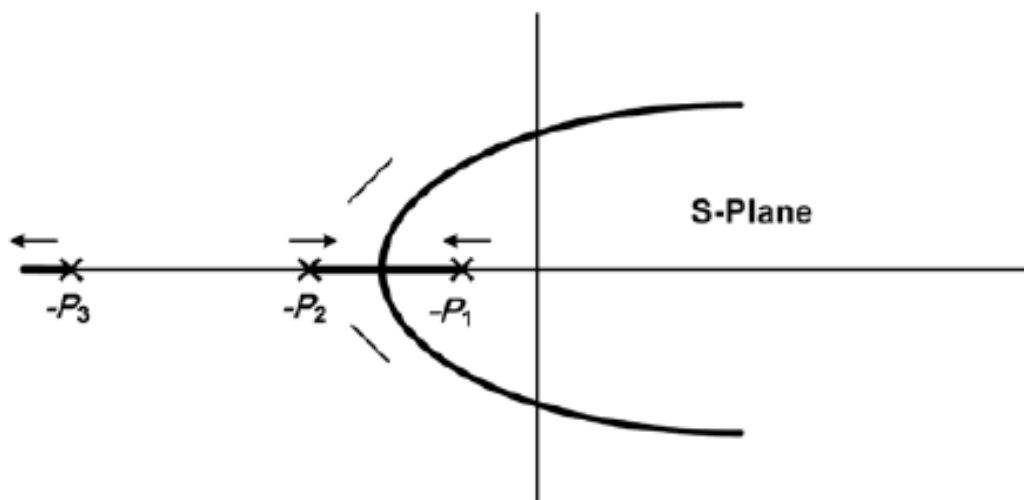
شکل ۳.۳: مکان هندسی ریشه های تقویت کننده دو قطبی با تغییر فیدبک

اگر این سیستم در شبکه فیدبک شکل ۱.۳ قرار بگیرد، تابع انتقال نهایی سیستم حلقه بسته به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{Y}{X}(s) = \frac{\frac{A_0}{(1+\frac{s}{P_1})(1+\frac{s}{P_2})}}{1 + \frac{A_0}{(1+\frac{s}{P_1})(1+\frac{s}{P_2})}\beta} = \frac{A_0}{(1 + \frac{s}{P_1})(1 + \frac{s}{P_2}) + A_0\beta} \quad (۲.۳)$$

همانطور که در رابطه ۲.۳ مشاهده میشود، هنگامی که هنوز هیچ فیدبکی به مدار اعمال نشده است قطب های تقویت کننده در مکانهای  $P_1$  و  $P_2$  قرار دارند. با افزایش مقدار  $\beta$  قطب ها بر روی محور حقیقی به سمت هم حرکت کرده و در یک مقدار مشخص از  $\beta$  دو قطب بر روی هم قرار گرفته و تشکیل یک ریشه مضاعف را میدهند. پس از آن با افزایش مقدار  $\beta$ ، ریشه ها به صورت مزدوج مختلط در خواهند آمد و با افزایش مقدار ضریب شبکه فیدبک مقدار موهومی این قطبها افزایش پیدا میکند اما همواره به ازای تمامی مقادیر  $\beta$ ، حتی وقتی تمامی خروجی را به ورودی بر میگردانیم ( $\beta=1$ )، قطب ها در سمت چپ محور  $j\omega$  باقی خواهند ماند. شکل ۳.۳ مکان هندسی ریشه های یک تقویت کننده دو قطبی را به ازای مقادیر مختلف  $\beta$  نمایش میدهد.

در نهایت سیستمی را با تابع تبدیل زیر در نظر بگیرید که سه قطب حقیقی در سمت چپ محور  $j\omega$  دارد:



شکل ۴.۳: مکان هندسی ریشه های تقویت کننده سه قطبی با تغییر فیدبک

$$A(s) = \frac{A_0}{(1 + \frac{s}{P_1})(1 + \frac{s}{P_2})(1 + \frac{s}{P_3})} \quad (۳.۳)$$

با فرض فیدبک مقاومتی  $\beta$  تابع انتقال حلقه بسته این سیستم برابر خواهد بود با :

$$\frac{Y}{X}(s) = \frac{A_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + (1 + A_0 \beta)} \quad (۴.۳)$$

این تابع انتقال همواره دارای یک قطب حقیقی است. دو قطب دیگر ممکن است حقیقی و یا مختلط باشند. با افزایش مقدار  $\beta$ ، قطب فرکانس بالا به فرکانسهای بالاتر منتقل میشود و دو قطب دیگر بر روی محور حقیقی حرکت کرده و به هم نزدیک میشوند. به ازای یک مقدار مشخص  $\beta$ ، دو قطب بر روی هم قرار گرفته و تشکیل ریشه مضاعف میدهند. از این پس با افزایش مقدار  $\beta$ ، دو قطب به صورت مزدوج مختلط در آمده و با افزایش مقدار ضریب شبکه فیدبک قسمت موهومی این دو قطب افزایش مییابد. اما همزمان با افزایش قسمت موهومی، قسمت حقیقی دو قطب نیز تغییر کرده و قطبها به سمت محور  $j\omega$  منحرف میشوند. همانطور که در شکل ۴.۳ مشاهده میشود، به ازای مقادیر بزرگ، ممکن است قطبها به سمت راست محور  $j\omega$  منتقل شده و تقویت کننده فیدبک دار ناپایدار شود.

در اکثر موارد، ما با تقویت کننده هایی سر و کار داریم که تابع تبدیل حلقه باز آنها دارای بیش از سه قطب میباشد. در این موارد با استفاده از روش تقریب قطب غالب میتوان چنین سیستم هایی را

با یک سیستم تک قطبی تقریب زد. در این موارد، انتخاب نادرست شبکه فیدبک ممکن است منجر به ناپایداری سیستم حلقه بسته شود. در این آزمایش قصد داریم تا با بررسی پاسخ فرکانسی یک تقویت کننده دو طبقه، اثر ناپایداری در شبکه فیدبک را برای چنین سیستمهایی بررسی کنیم.

برای آمادگی حضور در آزمایشگاه شرایط بایاس مدار بدون فیدبک را با انتخاب مقدار مناسب برای محل قرار گرفتن سر وسط پتانسیومتر  $R_2$  به گونه ای که جریان کلکتور  $Q_1$  برابر  $10mA$  گردد، محاسبه کنید. با استفاده از شرایط بایاس که تا حد زیادی با شرایط بایاس آزمایش مدل هیبرید  $\pi$  مشابهت دارد، مدل سیگنال کوچک مدار را رسم و مقدار بهره طبقات و بهره کل را در باند میانی حساب کنید. فرکانس قطع بالای مدار و فرکانس قطع پائین مدار را محاسبه کنید.

محاسبات مدار بدون فیدبک را برای مدار با فیدبک با فرض آنکه مقاومت  $120k\Omega$  در حلقه فیدبک مدار باشد، تکرار کنید. چگونه میتوان از طریق تئوری شرایط بروز ناپایداری و اندازه فیدبک که منجر به ناپایداری مدار خواهد شد را بدست آورد. هر دو مدار را شبیه سازی کنید. نتایج محاسبات تئوری و شبیه سازی را مقایسه کنید. آیا ناپایداری را میتوان در شبیه سازی پیش بینی کرد؟

## ۲.۳ مراحل انجام آزمایش

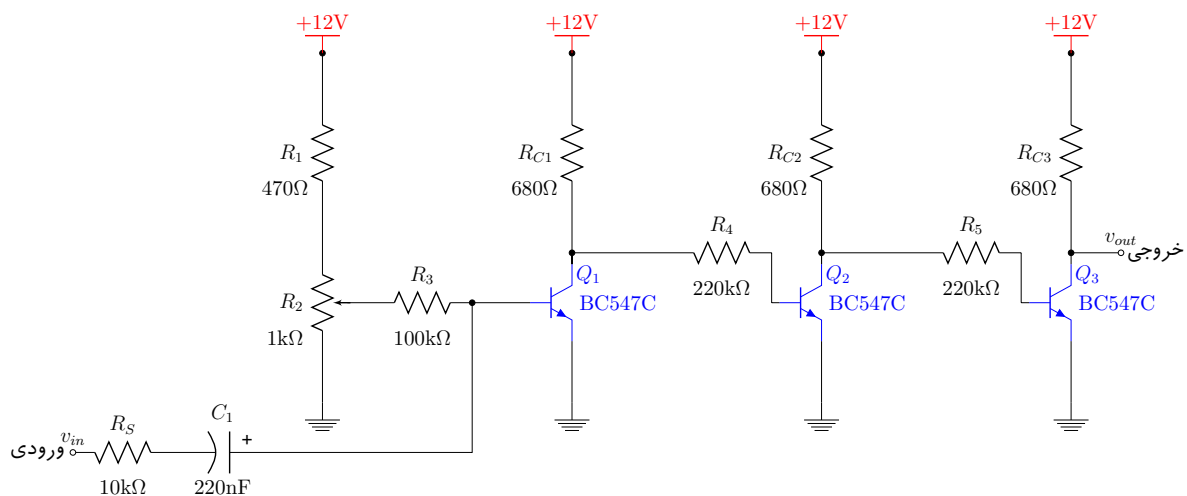
### ۱. مدار بدون فیدبک

(آ) مدار شکل ۵.۳ را ببندید.

(ب) مقاومت متغیر  $R_2$  را تنظیم کنید تا جریان کلکتور  $Q_1$  برابر  $10mA$  گردد و سپس مشخصات نقطه کار را اندازه گیری نموده و در جعبه های زیر یادداشت کنید.

$I_{BQ1} =$	$I_{CQ1} =$	$V_{CEQ1} =$
$I_{BQ2} =$	$I_{CQ2} =$	$V_{CEQ2} =$
$I_{BQ3} =$	$I_{CQ3} =$	$V_{CEQ3} =$

(ج) در این مرحله، یک ورودی سینوسی با حداکثر دامنه ای که خروجی دچار اعوجاج نشود و فرکانس  $5KHz$  به مدار اعمال کنید. نسبت دامنه خروجی به ورودی را که همان بهره مدار است و همچنین اختلاف فاز میان ورودی و خروجی را برای هرکدام از طبقات مدار به طور مجزا یادداشت کنید.



شکل ۵.۳: مدار بدون فیدبک

$$A_{v_1} =$$

$$\phi_1 =$$

$$A_{v_2} =$$

$$\phi_2 =$$

$$A_{v_3} =$$

$$\phi_3 =$$

بهره کل مدار و اختلاف فاز خروجی به ورودی را هم اندازه گیری و ثبت کنید

$$A_v =$$

$$\phi =$$

آیا بهره کل با حاصلضرب بهره طبقات برابر است؟ چرا؟

(د) حالا فرکانس ورودی را تا جایی زیاد می کنیم که مقدار بهره کل به  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  مقدار خود در فرکانس 5KHz برسد. این فرکانس را  $f_H$  می نامیم. آن را یادداشت کنید.

$$f_H =$$

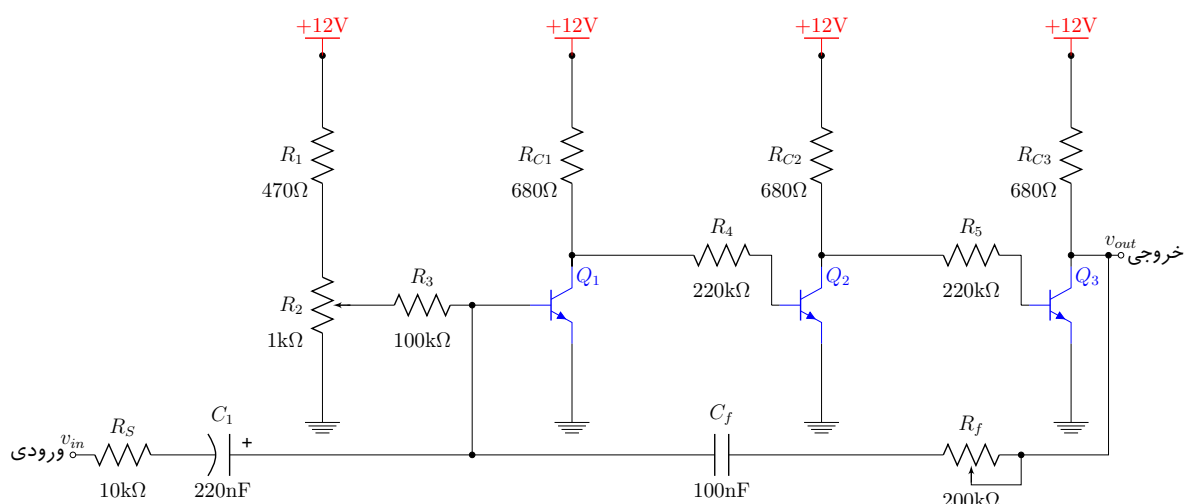
(ه) مرحله قبل را تکرار می کنیم ولی این بار فرکانس را کاهش می دهیم و نتیجه را  $f_L$  می نامیم. آن را نیز یادداشت کنید.

$$f_L =$$

(و) اختلاف بین  $f_L$  و  $f_H$  را پهنای باند 3dB این تقویت کننده می گویند. حالا با تغییر فرکانس ورودی جدول ۱.۳ را کامل کنید. مقدار دامنه  $v_{in}$  را یادداشت کنید.

$f$	$0.5f_L$	$f_L$	$2f_L$	5 KHz	$0.5f_H$	$f_H$	$2f_H$	$5f_H$
$v_{out}$								
$\phi$								

جدول ۱.۳: پاسخ فرکانسی مدار بدون فیدبک



شکل ۶.۳: مدار دارای فیدبک

## ۲. مدار دارای فیدبک

(آ) به مدار شکل ۵.۳ مطابق شکل ۶.۳ یک پتانسیومتر و یک خازن اضافه کنید. پیش از قرار دادن پتانسیومتر در مدار آنقدر آن را بچرخانید تا تمام مقاومت پتانسیومتر بین سروسط و یک انتها آن باشد و در لحظه اول اتصال مدار تمام مقاومت پتانسیومتر در مدار باشد.

(ب) آیا افزودن مدار فیدبک سبب تغییر نقطه کار میشود؟ اندازه گیری کنید.

$I_{BQ1} =$	$I_{CQ1} =$	$V_{CEQ1} =$
$I_{BQ2} =$	$I_{CQ2} =$	$V_{CEQ2} =$
$I_{BQ3} =$	$I_{CQ3} =$	$V_{CEQ3} =$

(ج) با کاستن از مقدار پتانسیومتر، مدار را در آستانه ناپایداری قرار دهید. منظور از ناپایداری مشاهده یک نوسان مضاعف بر روی سیگنال خروجی است. سپس مقدار پتانسیومتر را در این حالت یادداشت کنید.

(د) حال یک مقاومت ثابت  $120k\Omega$  را به جای پتانسیومتر به عنوان شبکه فیدبک قرار دهید و

یک ورودی سینوسی با حداکثر دامنه ای که خروجی دچار اعوجاج نشود و فرکانس 5KHz به مدار اعمال کنید. نسبت دامنه خروجی به ورودی را که همان بهره مدار است و همچنین اختلاف فاز میان ورودی و خروجی را یادداشت کنید. آیا مقدار بهره متناسب با نسبت  $-\frac{R_f}{R_s}$  است؟ در مورد جواب خود بحث کنید.

$$A_v =$$

$$\phi =$$

(ه) حالا فرکانس ورودی را تا جائی زیاد می کنیم که مقدار بهره به  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  مقدار خود در فرکانس 5KHz برسد. این فرکانس را  $f_H$  می نامیم. آن را یادداشت کنید. آیا پیش از کاهش مقدار بهره، شاهد افزایش آن و بعد کاهش آن بودید؟ چرا؟

$$f_H =$$

(و) مرحله قبل را تکرار می کنیم ولی این بار فرکانس را کاهش می دهیم و نتیجه را  $f_L$  می نامیم. آن را نیز یادداشت کنید.

$$f_L =$$

(ز) اکنون با تغییر فرکانس ورودی جدول ۲.۳ را کامل کنید. مقدار دامنه  $v_{in}$  را یادداشت کنید.

$f$	$0.5f_L$	$f_L$	$2f_L$	5 KHz	$0.5f_H$	$f_H$	$2f_H$	$5f_H$
$v_{out}$								
$\phi$								

جدول ۲.۳: پاسخ فرکانسی مدار با فیدبک



به نام خدا



گزارش کار آزمایشگاه الکترونیک ۳

پایداری فیدبک تقویت کننده متوالی

استاد:

شماره دانشجویی:

نام و نام خانوادگی:

نمره:

تاریخ تحویل:

شماره گروه:

## ۱. نتایج عملی

(آ) نتایج عددی مدار بدون فیدبک

$$I_{BQ_1} =$$

$$I_{CQ_1} =$$

$$V_{CEQ_1} =$$

$$I_{BQ_2} =$$

$$I_{CQ_2} =$$

$$V_{CEQ_2} =$$

$$I_{BQ_3} =$$

$$I_{CQ_3} =$$

$$V_{CEQ_3} =$$

$$\beta_{Q_1} =$$

$$\beta_{Q_2} =$$

$$\beta_{Q_3} =$$

$$f_H =$$

$$f_L =$$

$f$	$0.5f_L$	$f_L$	$2f_L$	5 KHz	$0.5f_H$	$f_H$	$2f_H$	$5f_H$
$A_v$ (dB)								
$\phi$								

(ب) نتیجه بحث درباره تساوی یا عدم تساوی بهره کل با حاصلضرب بهره طبقات را بنویسید.

(ج) نتایج عددی مدار با فیدبک

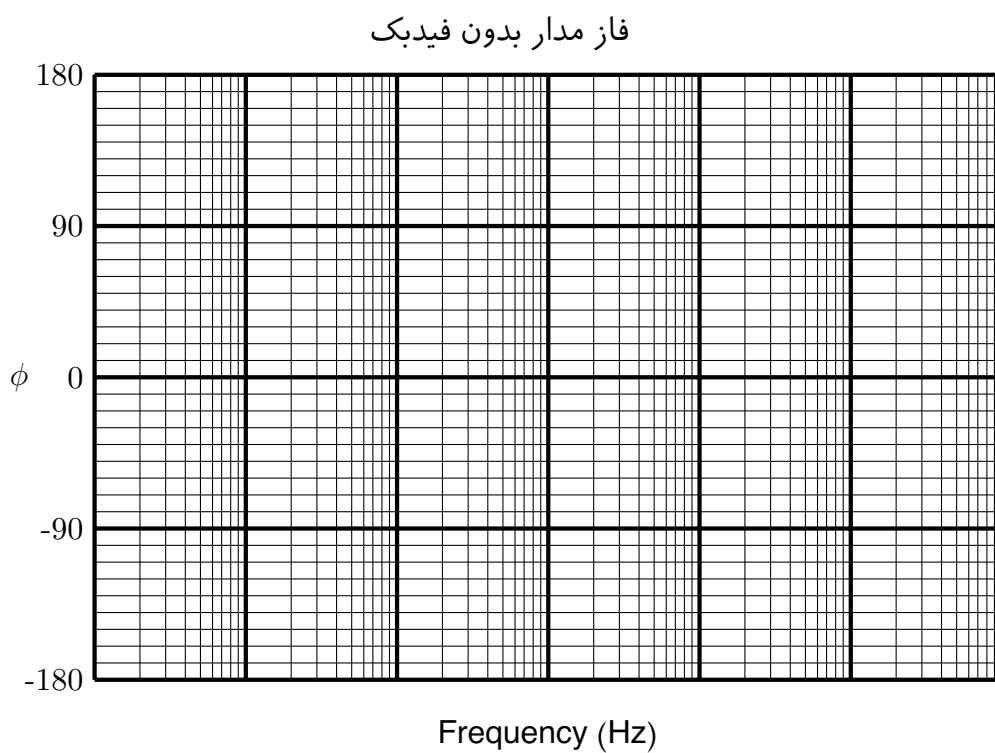
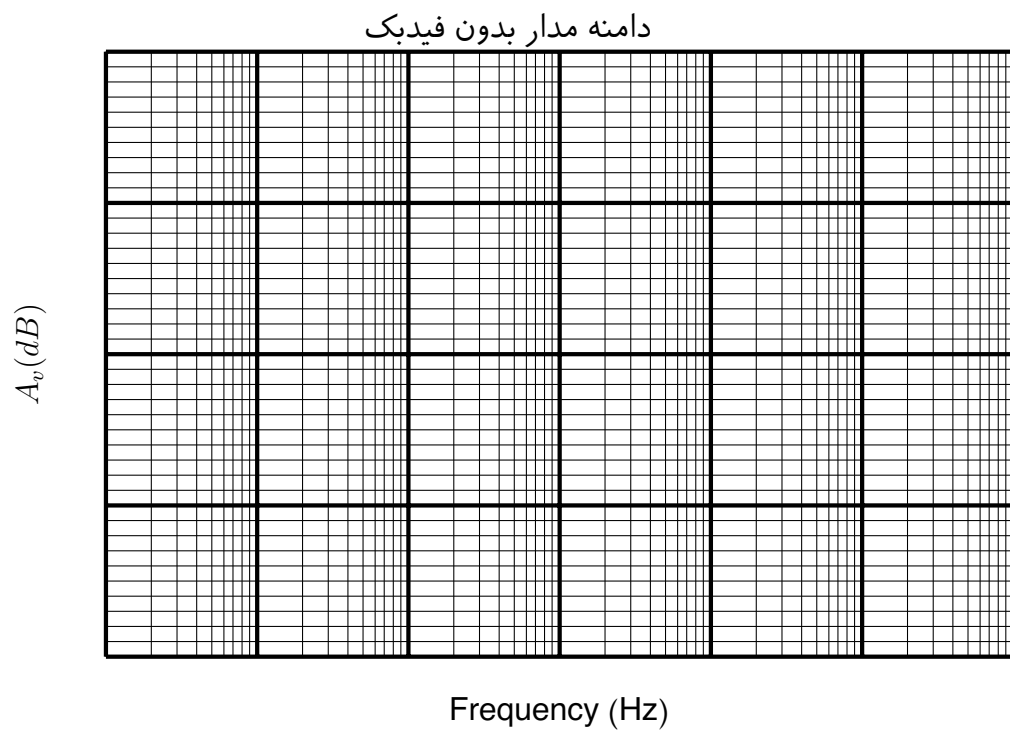
$I_{BQ_1} =$	$I_{CQ_1} =$	$V_{CEQ_1} =$
$I_{BQ_2} =$	$I_{CQ_2} =$	$V_{CEQ_2} =$
$I_{BQ_3} =$	$I_{CQ_3} =$	$V_{CEQ_3} =$
$\beta_{Q_1} =$	$\beta_{Q_2} =$	$\beta_{Q_3} =$
$f_H =$	$f_L =$	

$f$	$0.5f_L$	$f_L$	$2f_L$	5 KHz	$0.5f_H$	$f_H$	$2f_H$	$5f_H$
$A_v$ (dB)								
$\phi$								

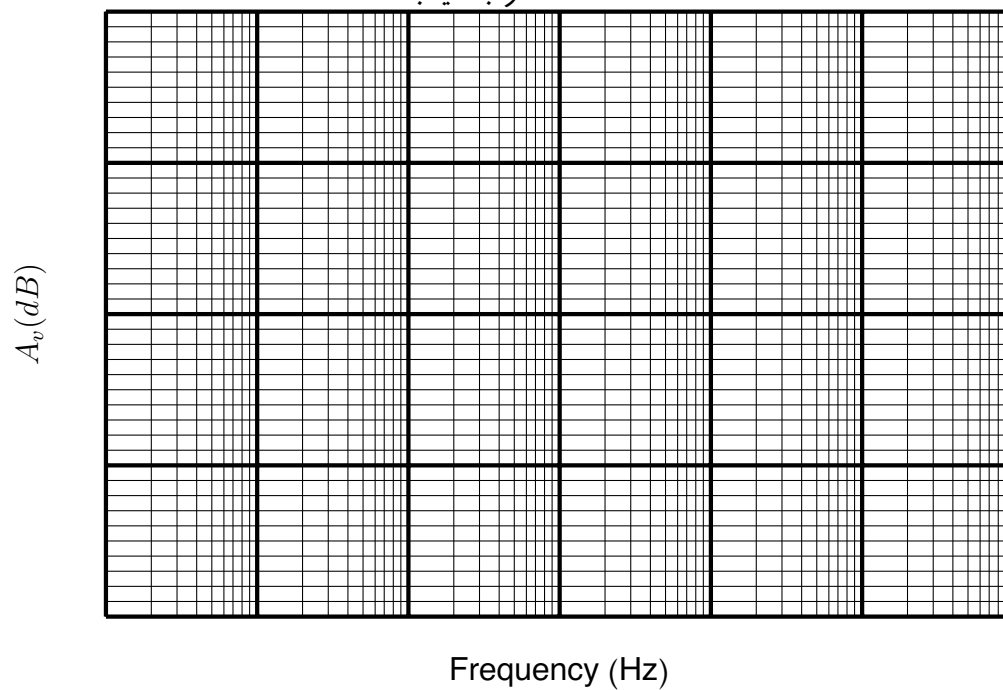
(د) نتیجه بحث درباره تناسب یا عدم تناسب بهره با نسبت  $-\frac{R_f}{R_S}$  را بنویسید.

(ه) ترسیم منحنی

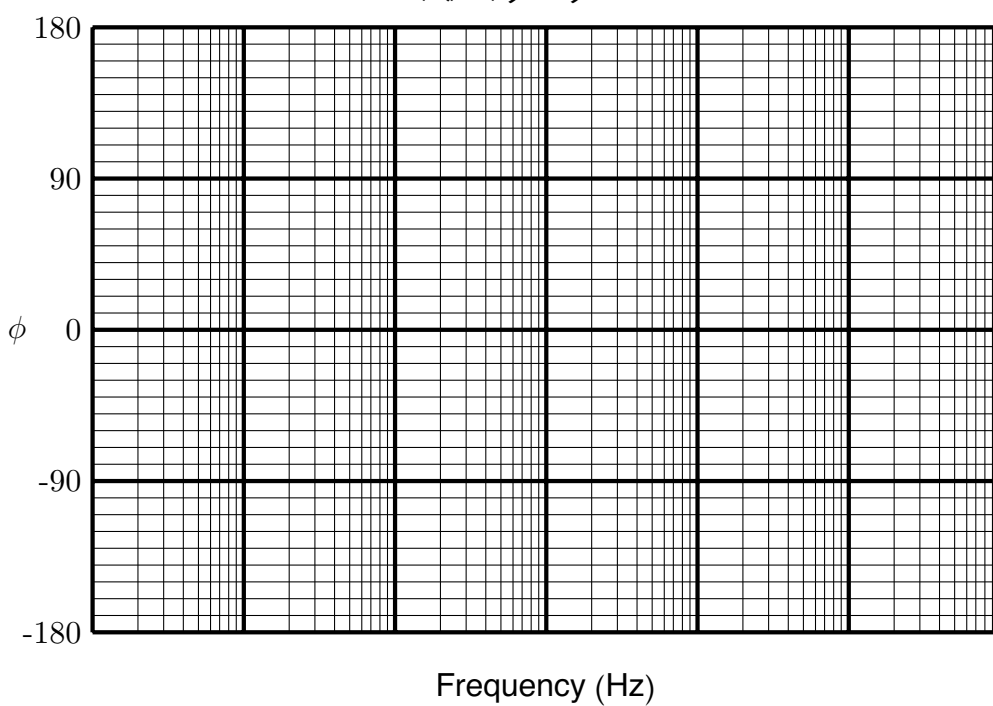
دیاگرام Bode دامنه و فاز را برای مدارهای بدون فیدبک و دارای فیدبک رسم نمائید.



دامنه مدار با فیدبک



فاز مدار با فیدبک



## ۲. به سؤالات زیر پاسخ دهید:

(آ) تابع تبدیل تقریبی سیستم را محاسبه کنید و آن را با یک سیستم سه قطبی تقریب بزیند. سپس مکان هندسی ریشه های سیستم حلقه بسته را رسم کنید و در مورد شرایط ناپایداری و مرز ناپایداری سیستم بحث کنید.

(ب) در صورتی که فیدبک مقاومتی برای تصحیح پایداری سیستم مناسب نباشد از چه روشی میتوان پایداری سیستم را بهبود بخشید؟ در مورد روشهای جبران سازی با استفاده از شبکه های غیر مقاومتی بحث کنید.