




کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b>	 <b>دوره های آزاد رایانه ای</b> SBU-MIT OCW Joint Project 
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی	<b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

## درس ۲۴ = پاسخ فرکانسی آمپلی فایرها (II)

### روش ثابت زمانی مدار – باز




۶ دسامبر ۲۰۰۵

### محتویات

- ۱- روش ثابت زمانی مدار - باز
- ۲- کاربرد OCT بر آمپلی فایر سورس مشترک
- ۳- پاسخ فرکانسی آمپلی فایر گیت مشترک

### تکلیف خواندنی



Sodini و Howe، فصل ۱۰، بخش‌های ۱۰/۴/۵ - ۱۰/۴/۴ و ۱۰/۶

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b>	 <b>دوره های آزاد رایانه ای</b> SBU-MIT OCW Joint Project 
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی	<b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

## سوالات کلیدی

● آیا راه سریعی برای برآورد پاسخ فرکانسی یک آمپلی فایر وجود دارد؟

● آیا همه آمپلی فایرها از اثر میلر تأثیر می پذیرند؟

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	 <b>دوره های آزاد رایانه ای</b> SBU-MIT OCW Joint Project 
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

## ۱- روش ثابت زمانی مدار – باز

تکنیک ساده برای تخمین عرض باند یک آمپلی فایر

اگر تابع انتقالی آمپلی فایر موارد زیر را داشته باشد تکنیک به خوبی کار می کند:

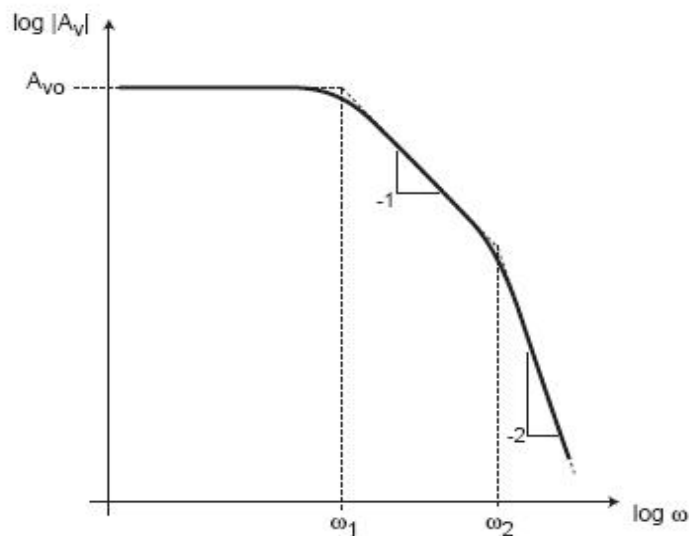
- یک قطب غالب که بر عرض باند غلبه می کند
- بدون صفر، یا اینکه صفر در فرکانس هایی بسیار بالاتر از فرکانس قطب غالب



تابع انتقالی:

$$\frac{V_{out}}{V_s} = \frac{A_{vo}}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_1})(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})(1 + j\frac{\omega}{\omega_3})...}$$

با

$$\omega_1 \ll \omega_2, \omega_3, \dots$$



کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	 دوره های آزاد رایانه ای SBU-MIT OCW Joint Project
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

$$\frac{V_{out}}{V_s} = \frac{A_{vo}}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_1})(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})(1 + j\frac{\omega}{\omega_3})\dots}$$

مخرج را ضرب کنید:

$$\frac{V_{out}}{V_s} = \frac{A_{vo}}{1 + j\omega b_1 + (j\omega)^2 b_2 + (j\omega)^3 b_3}$$

در حالی که



$$b_1 = \frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2} + \frac{1}{\omega_3} + \dots$$

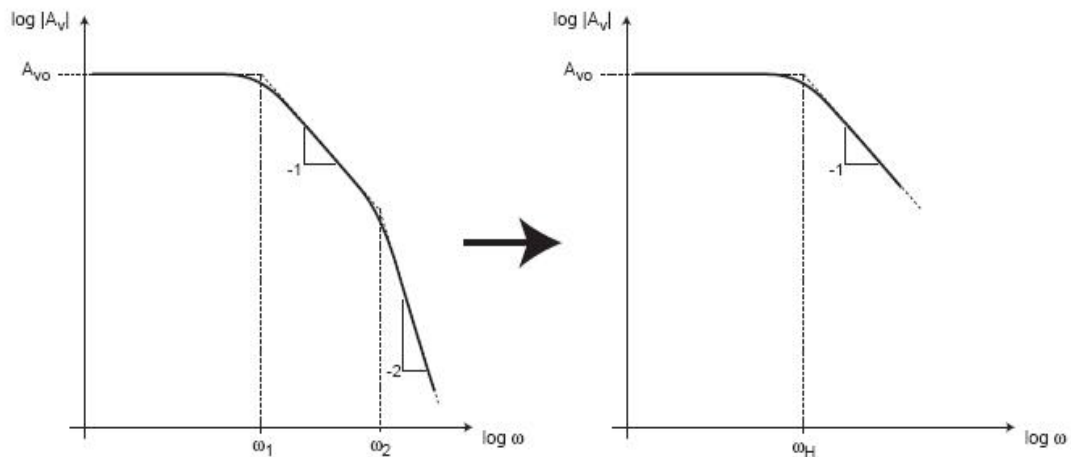
اگر یک قطب غالب وجود داشته باشد، رفتار فرکانسی پایین توسط فرمول زیر شرح داده می شود:

$$\frac{V_{out}}{V_s} \approx \frac{A_{vo}}{1 + j\omega b_1} = \frac{A_{vo}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_H}}$$

بنابراین عرض باند:

$$\omega_H \approx \frac{1}{b_1}$$

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT



می‌تواند نشان داده شود (کتاب Gray & Meyer، چاپ سوم، صفحه ۵۰۲ را ببینید) که ضریب  $b_1$  می‌تواند به طور دقیق از این طریق پیدا شود:

$$b_1 = \sum_{i=1}^n \tau_i = \sum_{i=1}^n R_{Ti} C_i$$



در حالی که:

$\tau_i$  ثابت زمانی مدار باز برای خازن  $C_i$  است

$R_{Ti}$  مقاومت تون دو سر  $C_i$  است (با تمام خازن‌های دیگر مدار باز شده)

بنابراین عرض باند:

$$\omega_H \approx \frac{1}{b_1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \tau_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n R_{Ti} C_i}$$

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b>	 دوره‌های آزاد رایانه‌ای SBU-MIT OCW Joint Project
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی	<b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

خلاصه‌ای از روش ثابت زمانی مدار - باز

۱- تمام منابع مستقل را قطع کنید

۲- مقاومت تونن  $R_{Ti}$  که توسط هر  $C_i$  با دیگر  $C$ ها باز دیده می‌شود را محاسبه کنید


۳- ثابت زمانی مدار - باز را برای  $C_i$  به صورت زیر محاسبه کنید

$$\tau_i = R_{Ti} C_i$$

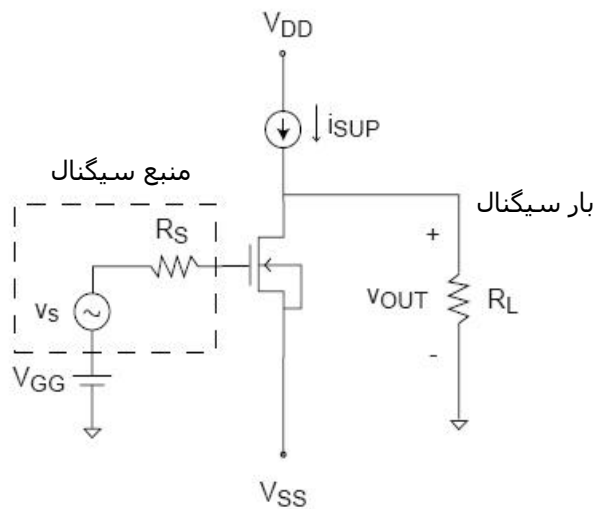
تخمین محتاطانه از عرض باند:

$$\omega_H \approx \frac{1}{\sum \tau_i}$$

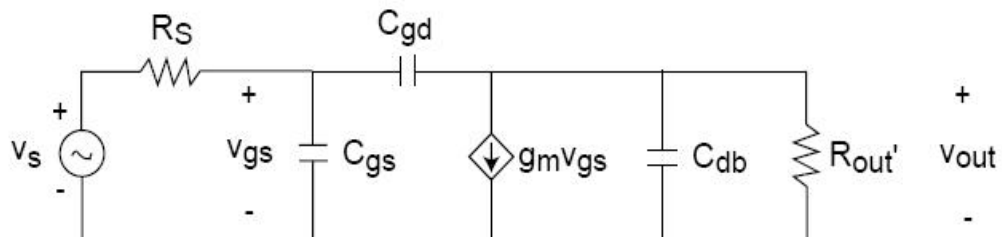
با دیگر توابع انتقالی نیز کار می‌کند:  $\frac{I_{out}}{I_s}, \frac{V_{out}}{I_s}, \frac{I_{out}}{V_s}$

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	<b>بیابان</b> <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای</b> <b>میکرو الکترونیک</b>	
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT


## ۲- کاربرد OCT برای برآورد کردن عرض باند آمپلی فایر سورس مشترک



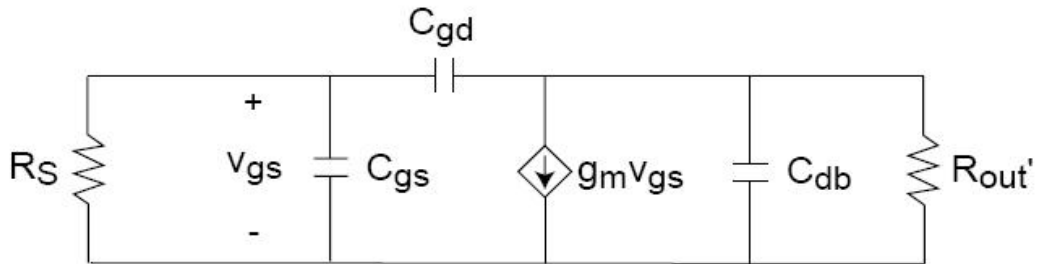
مدار معادل سیگنال کوچک (فرض بر اینکه منبع جریان هیچ گونه ظرفیت انگلی ندارد):



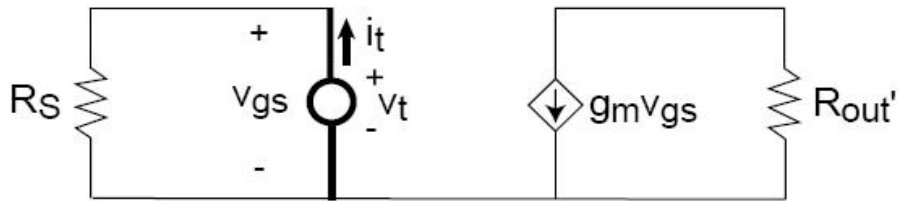
سه خازن  $\Leftarrow$  سه ثابت زمانی

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	عنوان درس: <b>لباس</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی	معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT	

□ ابتدا  $v_s$  اتصال کوتاه شود:



□ ثابت زمانی مرتبط با  $C_{gs}$




به طور واضح:

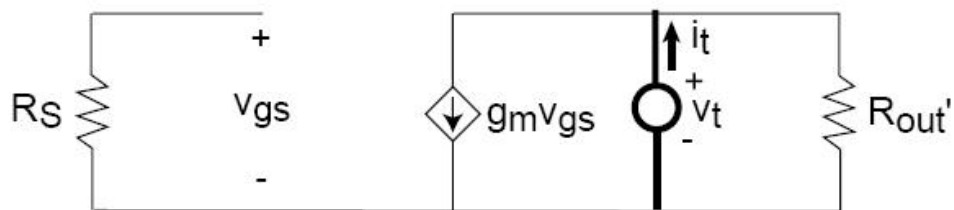
$$R_{Tgs} = R_S$$

و ثابت زمانی مرتبط با  $C_{gs}$  به صورت زیر می باشد:

$$\tau_{gs} = R_S C_{gs}$$

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	عنوان درس: <b>لبیکال</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

□ ثابت زمانی مرتبط با  $C_{db}$ :



توجه:


$$v_{gs} = 0$$

سپس:

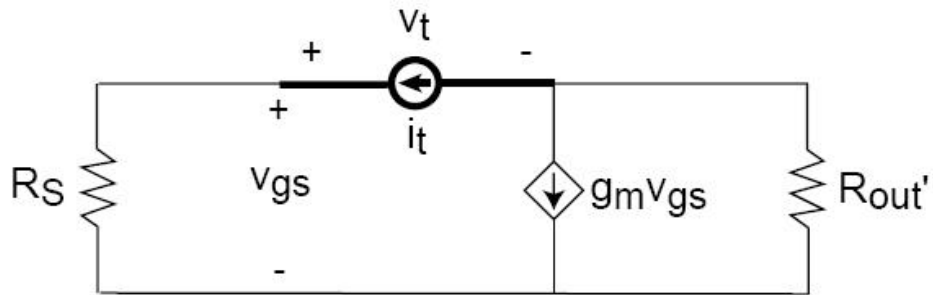
$$R_{Tdb} = R'_{out}$$

و ثابت زمانی مرتبط با  $C_{db}$  به صورت زیر می باشد:

$$\tau_{db} = R'_{out} C_{db}$$

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	بهشتی <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	 دوره های آزاد رایانه ای SBU-MIT OCW Joint Project
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

ثابت زمانی مرتبط با  $C_{gd}$ :



توجه:

$$v_{gs} = i_t R_S$$

همچنین:

$$v_t = v_{gs} + (g_m v_{gs} + i_t) R_{out}'$$

با قرار دادن همه اطلاعات در یکجا، ما داریم:



$$v_t = i_t [R_S + R_{out}' (1 + g_m R_S)]$$

سپس:

$$R_{Tgd} = R_S + R_{out}' (1 + g_m R_S) = R_{out}' + R_S (1 + g_m R_{out}')$$

و ثابت زمانی مرتبط با  $C_{gd}$ :

$$\tau_{gd} = [R_{out}' + R_S (1 + g_m R_{out}')] C_{gd}$$

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT


بنابراین عرض باند می‌شود:

$$\omega_H \approx \frac{1}{\sum \tau_i} = \frac{1}{R_S C_{gs} + [R'_{out} + R_S(1 + g_m R'_{out})]C_{gd} + R'_{out} C_{db}}$$

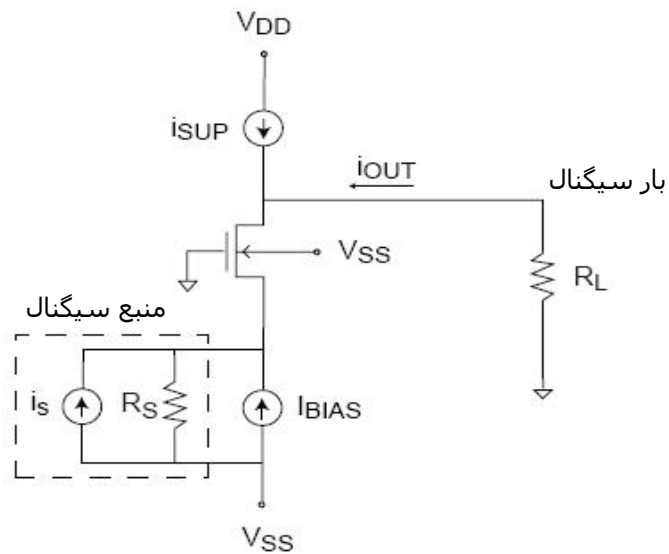
نتیجه مشخص همانند درس آخر

روش ثابت زمانی مدار باز عرض باند را با اغماض  $\omega^2$  در مخرج  $A_v$  برآورد می‌کند

$\Leftarrow$  تخمین محتاطانه  $\omega_H$



کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	<b>بیگانه</b> <b>عنوان درس:</b>	 دوره های آزاد رایانه ای SBU-MIT OCW Joint Project
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی	<b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

### ۳- پاسخ فرکانسی آمپلی فایر گیت مشترک

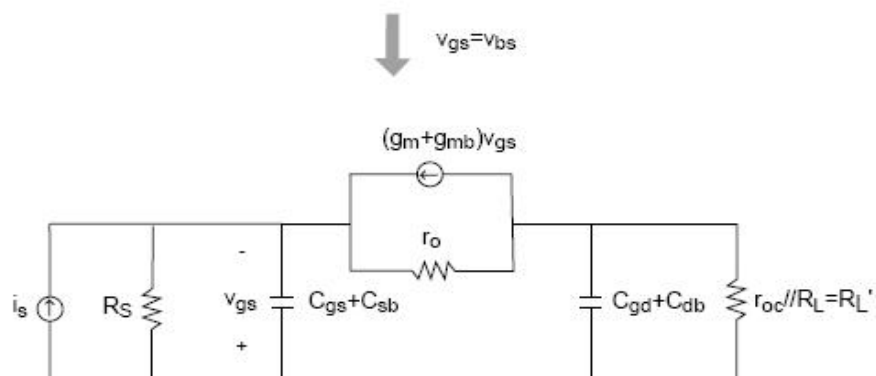
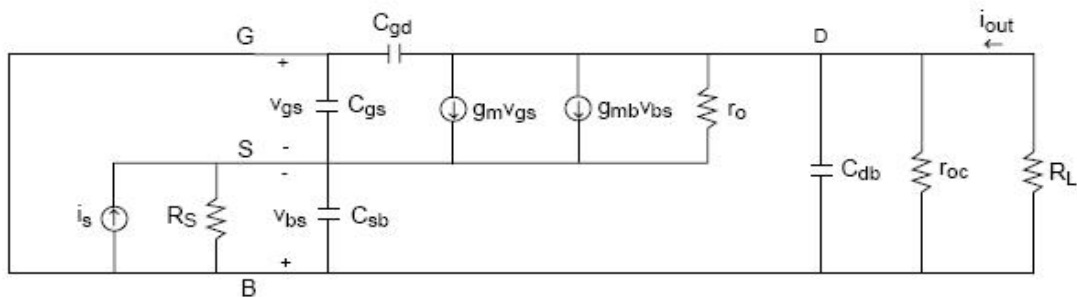


ویژگی‌ها:

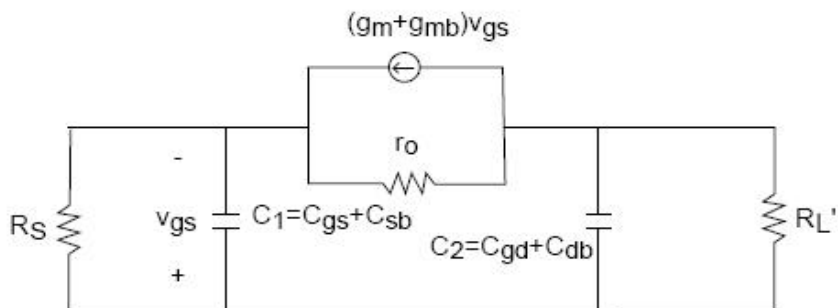
- بهره جریان  $\approx 1$
- مقاومت ورودی پایین
- مقاومت خروجی بالا
- $\Leftarrow$  بافر جریان خوب


کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	 دوره های آزاد رایانه ای SBU-MIT OCW Joint Project
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

مدل مدار معادل سیگنال کوچک:

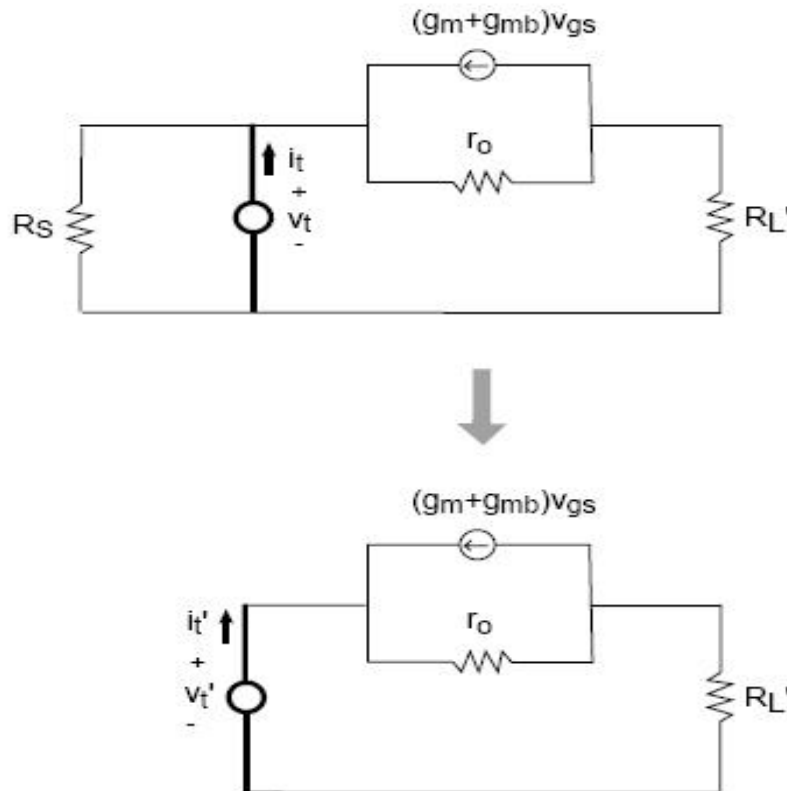


□ تحلیل فرکانسی: ابتدا  $i_s$  را باز کنید:



کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	بهشتی <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

□ ثابت زمانی مرتبط با  $C_1$ :




نیاز به حل نیست:

- منبع آزمایشی با  $R_S$  موازی است،
- منبع آزمایشی به ورودی آمپلی فایر نگاه می‌کند  $R_{in} \leftarrow$  را می‌بینید!

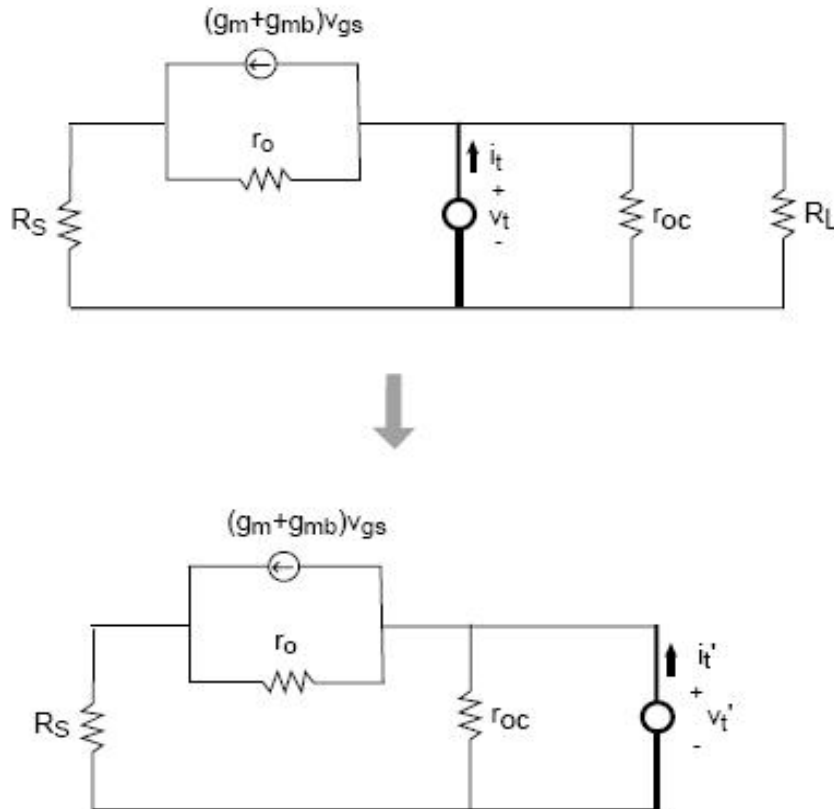
$$R_{T1} = R_S // R_{in}$$

$$\tau_1 = (C_{gs} + C_{sb})(R_S // R_{in})$$

9

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	بیست و یکمین <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

□ ثابت زمانی مرتبط با  $C_2$ :





مجدداً، نیازی به حل نیست:

- منبع آزمایشی با  $R_L$  موازی است،
- منبع آزمایشی به خروجی آمپلی فایر نگاه می‌کند  $\Leftarrow R_{out}$  را می‌بینید!

$$R_{T2} = R_L // R_{out}$$

$$\tau_2 = (C_{gd} + C_{db})(R_L // R_{out})$$

9

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b> <b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

□ عرض باند:

$$\omega_H \approx \frac{1}{(C_{gs} + C_{sb})(R_S // R_{in}) + (C_{gd} + C_{db})(R_L // R_{out})}$$

هیچ خازنی در موقعیت میلر قرار ندارد ← هیچ مقدار شبه میلی وجود ندارد.

ساده سازی:

● در یک آمپلی فایر جریانی،  $R_S \gg R_{in}$ :

$$R_{T1} = R_S // R_{in} \approx R_{in} \approx \frac{1}{g_m + g_{mb}} \approx \frac{1}{g_m}$$

● در خروجی:

$$R_{T2} = R_L // R_{out} = R_L // r_{oc} // \left\{ r_o \left[ 1 + R_S (g_m + g_{mb} + \frac{1}{r_o}) \right] \right\}$$




یا

$$R_{T2} \approx R_L // r_{oc} // [r_o (1 + g_m R_S)] \approx R_L$$

سپس:

$$\omega_H \approx \frac{1}{(C_{gs} + C_{sb}) \frac{1}{g_m} + (C_{gd} + C_{db}) R_L}$$

اگر  $R_L$  خیلی بالا نباشد، عرض باند می‌تواند نسبتاً بالا باشد (و به  $\omega_T$  برسد)

کد درس: ۶/۰۱۲ مقطع آموزشی: کارشناسی	 <b>عنوان درس:</b>	 <b>دوره های آزاد رایانه ای</b> SBU-MIT OCW Joint Project 
استاد مدرس MIT: پروفیسور جسوس دل آلامو استاد مترجم SBU: دکتر نامدار صنیعی	<b>ادوات و مدارهای میکرو الکترونیک</b>	معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

## نتایج کلیدی

- روش ثابت زمانی مدار باز: روش ساده و قوی برای تخمین عرض باند آمپلی فایرها
- آمپلی فایر گیت مشترک
  - هیچ خازنی در موقعیت میلر نیست  $\Leftarrow$  اثر میلر وجود ندارد
  - اگر RL خیلی بالا نباشد، آمپلی فایر گیت مشترک عرض باند بالایی دارد
- $R_L$  و  $R_S$  روی عرض باند آمپلی فایر اثر می گذارند