Chapter 13 Output Stages and Power Amplifiers

- 13.1 General Considerations
- 13.2 Emitter Follower as Power Amplifier
- 13.3 Push-Pull Stage
- 13.4 Improved Push-Pull Stage
- 13.5 Large-Signal Considerations
- 13.6 Short Circuit Protection
- 13.7 Heat Dissipation
- 13.8 Efficiency
- 13.9 Power Amplifier Classes

اهمیت تقویت کننده های توان

- این تقویت کننده ها توان زیادی را به بار تحویل می دهند.
- در یک گوشی موبایل تقویت کننده توان بایستی بتواند توان 1W را به آنتن تحویل دهد.
- در سیستم های صوتی بعضا لازم است چند ده وات و یا چند صد وات توان به بلندگو تحویل داده شود.
- تقویت کننده هایی که تاکنون آن ها را مورد بررسی قرار داده ایم هرگز برای تحویل توان زیاد به بار طراحی نشده اند.

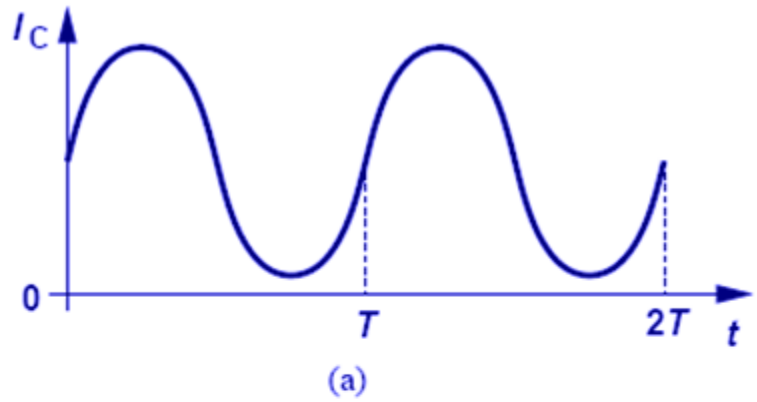
ویژگی های تقویت کننده های توان

- مقاومت بار این تقویت کننده ها کم است.
- جریان زیادی را به بار تحویل می دهند.
- دامنه نوسانات ولتاژ دو سر بار زیاد است.
- توان زیادی را از منبع تغذیه ولتاژ مصرف می کند.
- توان قابل توجهی در ترانزیستور تلف می شود. لذا ترانزیستور داغ می شود.

معیارهای ارزیابی تقویت کننده های توان

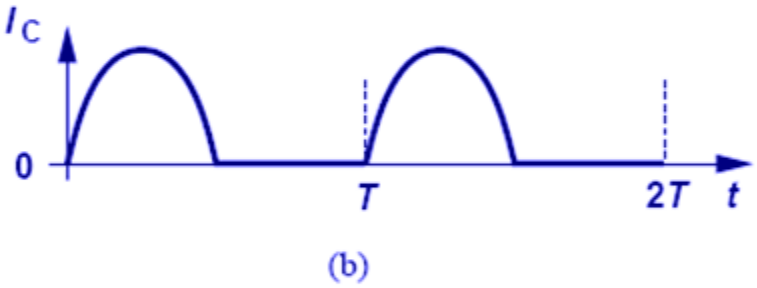
- خطینگی
- بازدهی توان
- توان خروجی

کلاس های تقویت کننده های توان



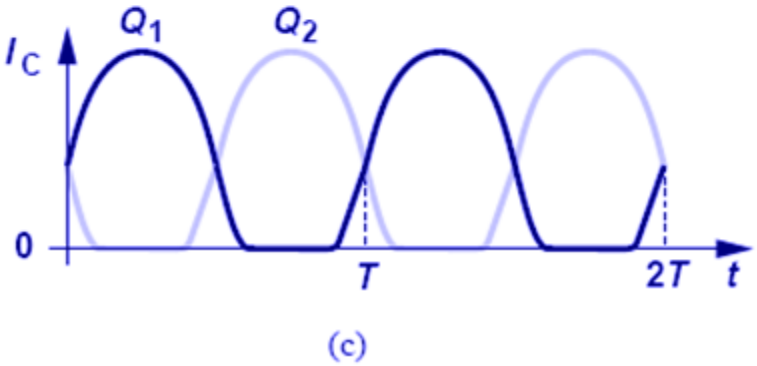
(a)

کلاس A: خطینگی خوب- بازدهی پایین



(b)

کلاس B: خطینگی ضعیف- بازدهی بالا



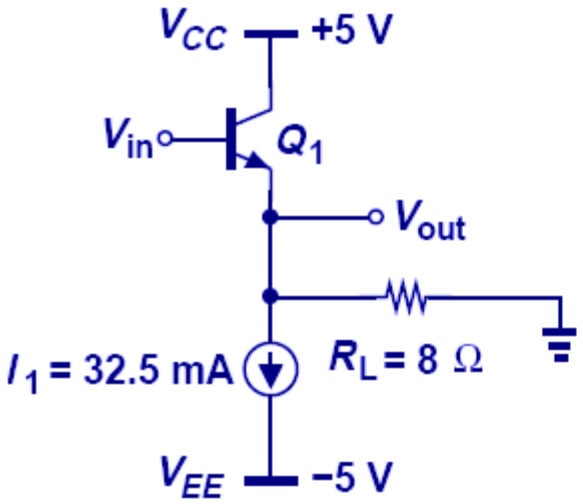
(c)

کلاس AB: چیزی بین کلاس A و B است.

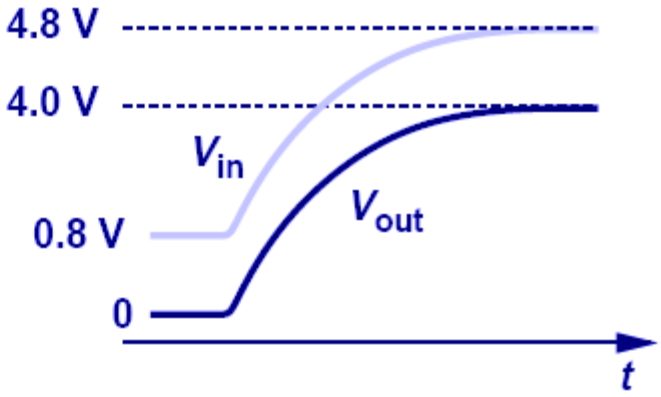
رفتار سیگنال بزرگ تقویت کننده امیتر-فالوور

VBE(on)=0.8V
VCE(sat)=0.2V

Class A



(a)



(b)

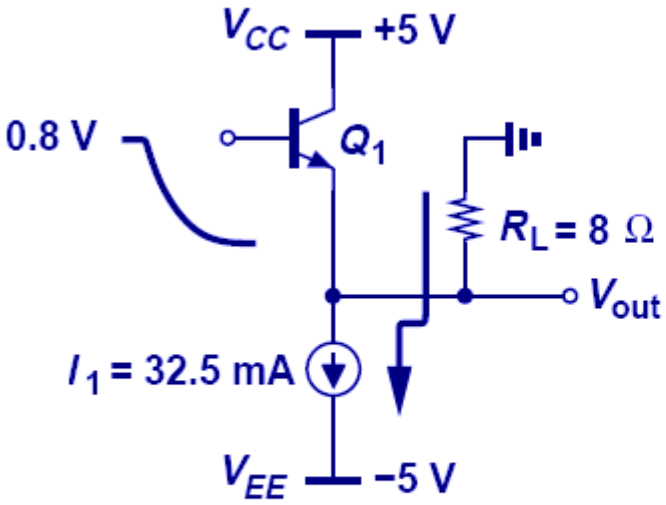
- هنگامیکه V_{in} افزایش می یابد، V_{out} سیگنال ورودی را دنبال می کند و همچنین جریان ترانزیستور افزایش می یابد.
- توجه داشته باشید که ولتاژ خروجی تا یک سقف ولتاژی می تواند افزایش یابد که این سقف ولتاژ به شرح ذیل قابل محاسبه است.

$$v_{CE} > V_{CEsat} \Longrightarrow V_{CC} - V_{o,\max} > V_{CEsat}$$

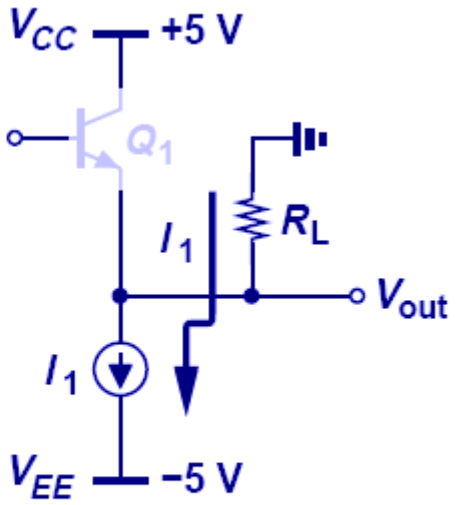
$$V_{o,\max} < V_{CC} - V_{CEsat} \Longrightarrow V_{o,\max} < 4.8V$$

ادامه

Class A



(c)

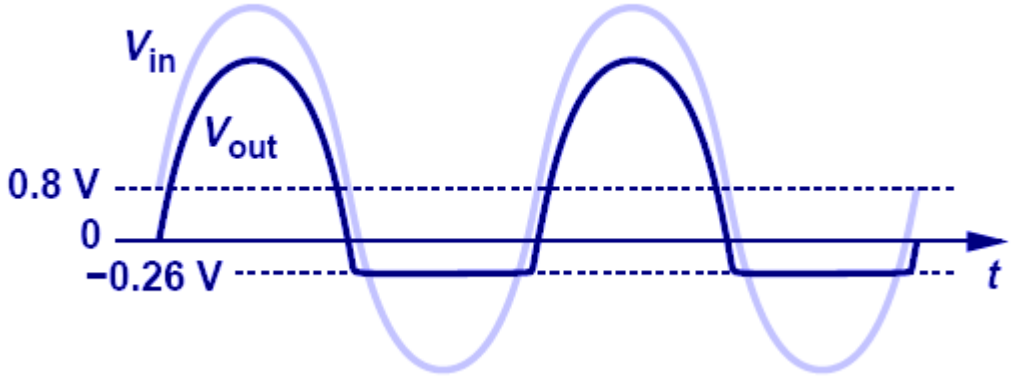


(d)

- هنگامیکه V_{in} کاهش می یابد، V_{out} سیگنال نیز کاهش می یابد.
- توجه داشته باشید که با کاهش بیش از حد سیگنال ورودی نهایتا ترانزیستور خاموش می شود. در این حالت ولتاژ خروجی سیگنال ورودی را دنبال نمی کند و مقدار ثابتی خواهد داشت.

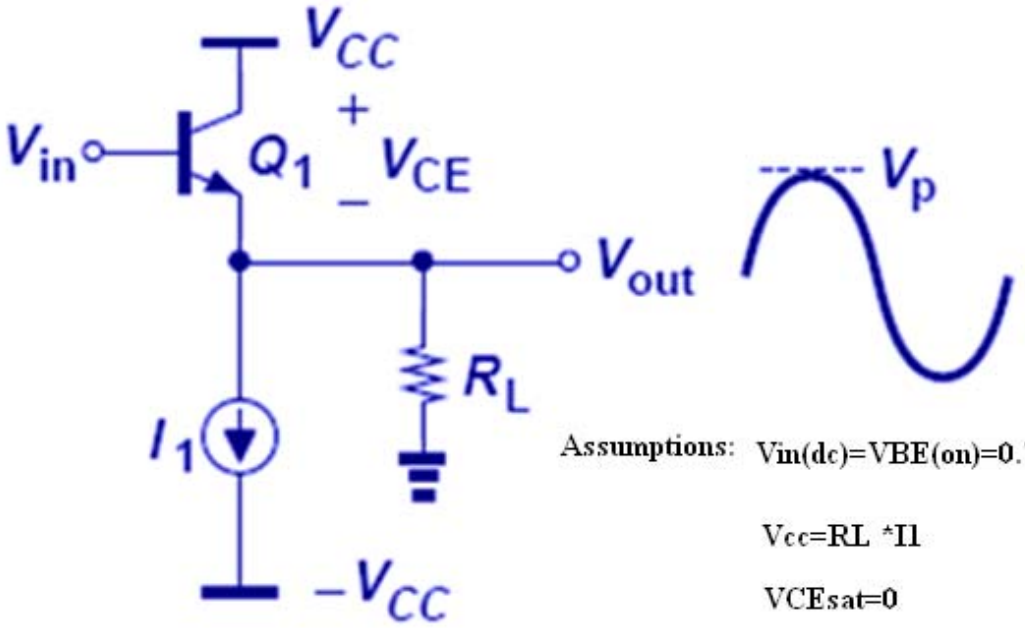
Vout(Constant)=? $0-Vo=0.008\times32.5 \rightarrow Vo(constant)=-0.26V$

ادامه



- با کاهش بیش از حد سیگنال ورودی، شکل موج خروجی بریده می شود و در آن اعوجاج ایجاد می شود.

محاسبه محدوده نوسانات مجاز ولتاژ خروجی مدار امیتر-فالوور



Assumptions: Vin(dc)=VBE(on)=0.7V

Vcc=RL *I1

VCEsat=0

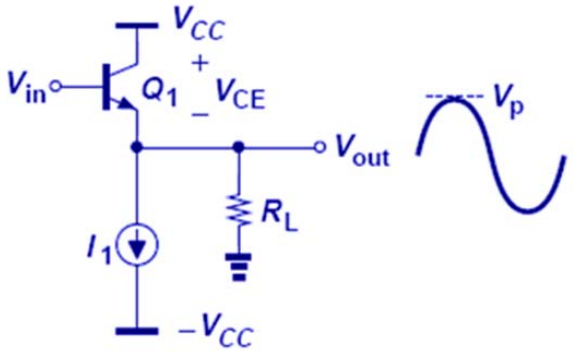
$$V_o(dc) = 0$$

$$M.S.V_o = \min\left(V_{CC} - V_{CEsat}, R_L I_1\right) = V_{CC}$$

$$0 < V_p < V_{CC}$$

- در محاسبات فوق فرض کرده ایم که منبع جریان **I1** را طوری انتخاب کرده ایم که سوئینگ مجاز خروجی حداکثر شود.
- در اسلاید بعد این مدار را مورد بررسی قرار می دهیم.

محاسبات توان برای مدار امیتر-فالوور



توان متوسط تحویل داده شده به بار:

$$P_L = \frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{R_L}$$

توان متوسط مصرف شده از منبع تغذیه Vcc:

$$P_{cc1} = \frac{1}{T}\int_0^T V_{CC} \times i_C dt \cong \frac{1}{T}\int_0^T V_{CC}\left(I_1 + \frac{v_p}{R_L}\sin\omega t\right)dt = V_{CC} I_1$$

توان متوسط مصرف شده از منبع تغذیه Vcc-:

$$P_{cc2} = \frac{1}{T}\int_0^T V_{CC} \times I_1 dt = V_{CC} I_1$$

توان متوسط مصرف شده از هر دو منبع تغذیه:

$$P_{cc} = P_{cc1} + P_{cc2} = 2V_{CC} I_1$$

توان متوسط تلف شده در منبع جریان I1:

$$P_{I1} = \frac{1}{T}\int_0^T I_1 \times \left(v_p \sin(\omega t) + V_{CC}\right)dt = V_{CC} I_1$$

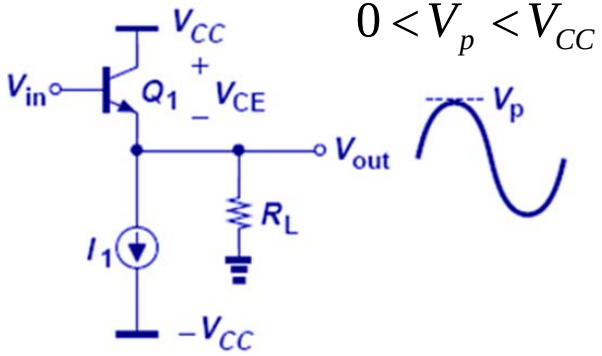
توان متوسط تلف شده در ترانزیستور Q1:

$$P_{Q1}$$

فرمول موازنه توان:

$$P_{Q1} = P_{CC} - P_{I1} - P_L = V_{CC} I_1 - \frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{R_L}$$

ادامه محاسبات توان



$$0 < V_p < V_{CC}$$

$$P_L = \frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{R_L} \quad ==> \quad P_{L\max} = P_L\Big|_{v_p = V_{CC}} = \frac{1}{2}\frac{V_{CC}^{\,2}}{R_L}$$

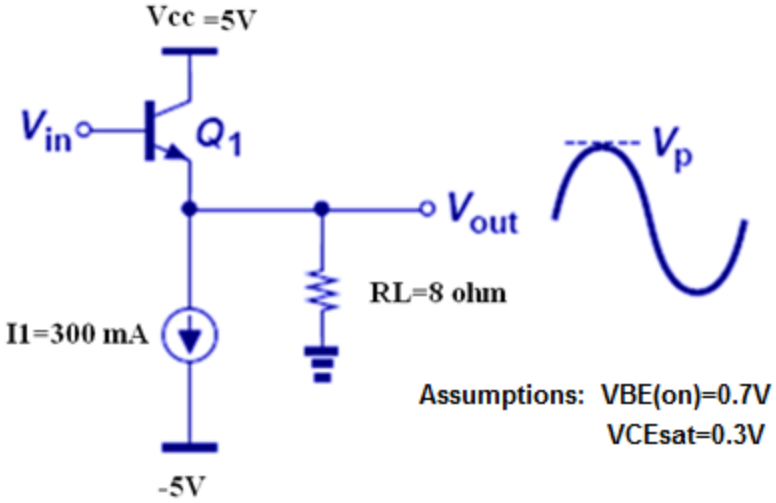
$$P_{cc} = 2V_{CC}I_1 = 2\frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

$$Efficiency: \eta = \frac{P_L}{P_{CC}} = \frac{\frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{R_L}}{2\frac{V_{CC}^2}{R_L}} = \frac{1}{4}\frac{v_p^{\,2}}{V_{CC}^2} ==> \eta_{\max} = \eta\Big|_{v_p = V_{cc}} = 25\%$$

$$P_{Q1} = \frac{V_{CC}^{\,2}}{R_L} - \frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{R_L} ==> P_{Q1\max} = P_{Q1}\Big|_{v_p = 0} = \frac{V_{CC}^{\,2}}{R_L}$$

$$Figure\ \ of\ \ Merit:\ F.O.M = \frac{P_{Q_{\max}}}{P_{L_{\max}}} = \frac{\frac{V_{CC}^{\,2}}{R_L}}{\frac{1}{2}\frac{V_{CC}^{\,2}}{R_L}} = 2$$

مثال



$$V_o(dc)=0,\quad M.S.V_o=\min\left(V_{CC}-V_{CEsat},R_L I_1\right)=2.4\,V$$

$$0<V_p<2.4\,V$$

$$P_L=\frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{8}\quad\Longrightarrow\quad P_{L\max}=P_L\Big|_{v_p=2.4}=0.36\,W$$

$$P_{cc}=2V_{CC}I_1=2\times5\times0.3=3\,W$$

$$P_{Q1}=P_{CC}-P_{I1}-P_L=V_{CC}I_1-\frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{R_L}=3-5\times0.3-\frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{8}\quad\Longrightarrow P_{Q_{\max}}=P_{Q_1}\Big|_{v_p=0}=1.5\,W$$

$$\eta=\frac{P_L}{P_{CC}}=\frac{\frac{1}{2}\frac{v_p^{\,2}}{8}}{3}=\frac{1}{48}v_p^{\,2}\Longrightarrow\eta_{\max}=\eta\Big|_{v_p=2.4}=12\%$$

$$F.O.M=\frac{P_{Q_{\max}}}{P_{L_{\max}}}=\frac{1.5}{0.36}=4.16$$