



第 1 课时

课 题： 半导体

教学目的： 1. 了解半导体器件的特性
2、二极管的伏安特性及主要参数

教学重点： 1、PN 结的特性
2、二极管的伏安特性的曲线

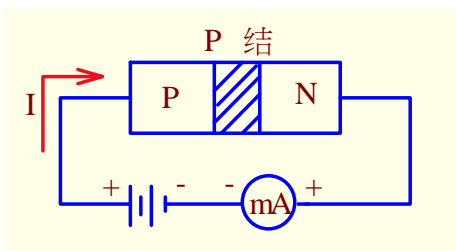
教学内容：

一、半导体的特征

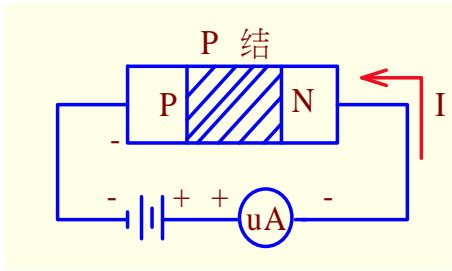
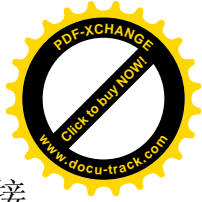
- 1、导体：金属、碳、电解液，
- 2、绝缘体：胶木、胶、陶瓷
- 3、半导体：硅、锗、硒
- 4、半导体的特性：
掺入杂质、温度、光照、输入电压不同而又同。
掺杂性最显著，最突出
- 5、两种载流子
自由电子：带负电
空 穴：带正电
- 6、半导体的特性：
N 型：主要靠电子导电 电子是多子 空穴是少子
P 型：主要靠空穴导电 空穴是多子 电子是少子

二、PN 结

- 1、定义：将 P 型半导体和 N 型半导体紧密结合，在两种半导体的交界处就会出现一个特殊的接触面。
- 2、 PN 结的特性：
单向导电性



P 端接电源正极，N 端接电源负极，PN 结变窄，对外电阻小，PN 结处于正向导通状态。



P 端接电源~~N~~负极，N 端接电源正极，PN 结变宽，对外电阻大，PN 结处于反向截止状态。

PN 结加向正向电压时导通，反向电压时截止

3、 击穿：

电击穿：能恢复单向导电性

热击穿：不能恢复单向导电性

4、 结电容

三、作业

P₂₀ 、 1



第 2 课时

课 题：半导体二极管

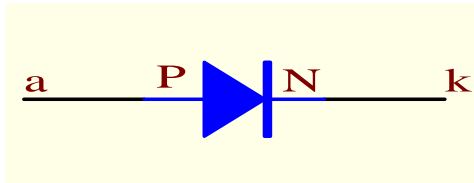
教学目的：1、掌握二极管的结构、符号
2、伏安特性曲线
3、主要参数

教学重点：1、伏安特性曲线
2、二极管的应用

教学内容：

一、结构、符号

- 1、由管芯〈PN 结〉 正负极、外壳
- 2、符号



二：特性：

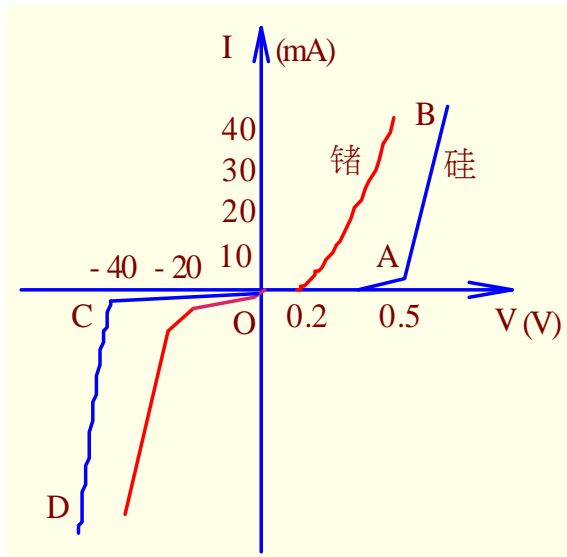
单向导电性

(一) 伏安特性

1、概念：

加在二极管两端的电压和流过二极管的电流之间的关系。

2、特性曲线





分四区：死区 OA、正向导通区 AB（正向特性）
反向截止区 OC、反向击穿区 CD。（反向特性）

死区电压： $\begin{cases} \text{硅: } 0.5V \\ \text{锗: } 0.1 \sim 0.2V \end{cases}$

导通电压： $\begin{cases} \text{硅: } 0.6 \sim 0.7V \\ \text{锗: } 0.2 \sim 0.3V \end{cases}$

反向击穿电压：锗管小于硅管

导通电压：锗管小于硅管

3、非线性器件

锗管比硅管非线性好（适用于检波）

但硅管比锗管温度稳定好，线性较好，因此硅管比锗管应用场合更多。

三、主要参数

1、最大整流电流 I_F

二极管长时间工作时允许通过的最大直流电流。

2、最高反向工作电压 V_{RM}

二极管正常使用的所允许的最高反向电压。

3、反向击穿电压 V_{BR}

关系： $V_{RM} = (1/2 \sim 2/3) V_{BR}$

eg: $V_{BR} = 60V$

$V_{RM} = (30 \sim 40)V$

四、作业：

P₂₀ 2、3、4、5



第 3 课时

课 题: 单相整流电路 (一)

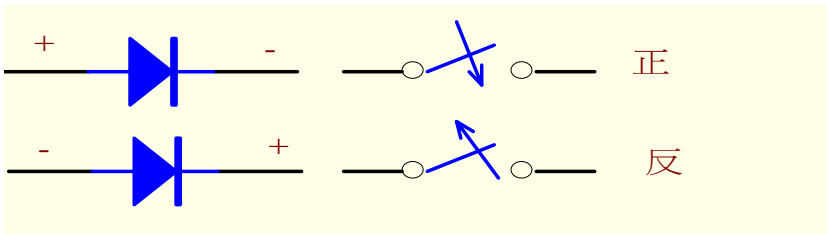
教学目的: 1. 整流电路的种类、电路图、工作原理
2. 整流电路的波形

教学重点: 1. 电路形式
2. 原理及波形
3. 元件选择.

教学内容:

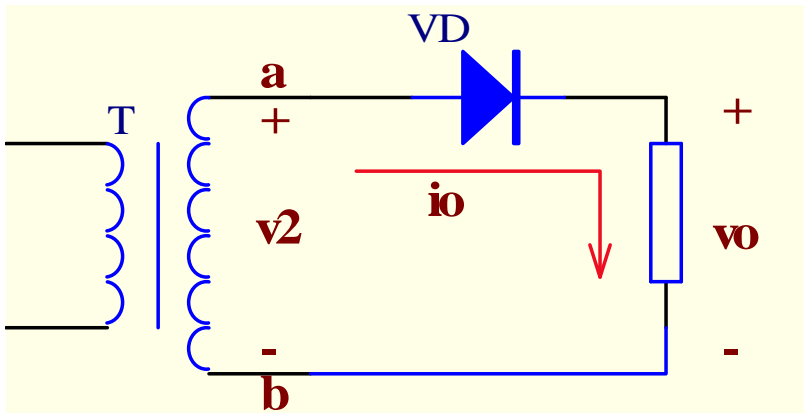
一、概念:

整流: 将交变电压变换成单向脉动电压的过程
利用二极管的单向导电性(即: 开关特性)



二、单相半波整流电路

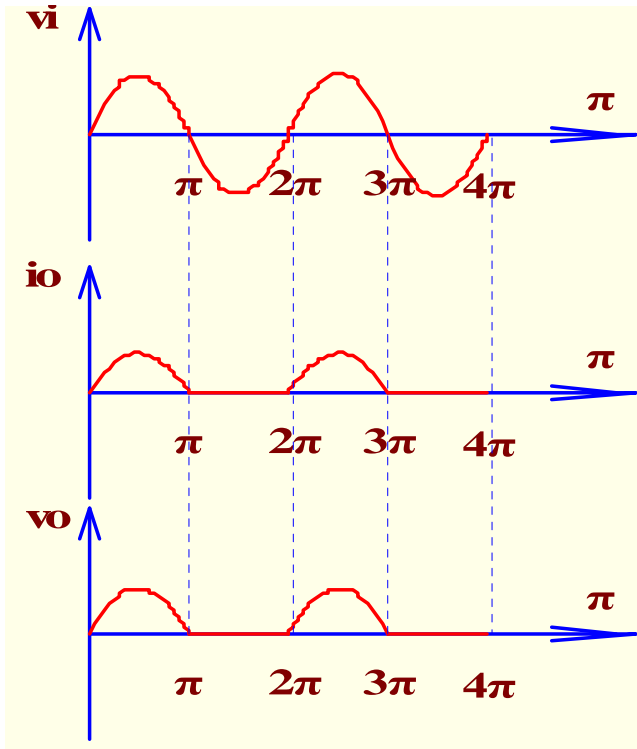
(一) 电路图



由 T、VD、 R_L 、组成



(二) 工作原理



1、正半周: $a-b-$
 $\rightarrow VD$ 导通 $\rightarrow i_o \rightarrow a+$
 $\rightarrow VD \rightarrow R_L \rightarrow b-$, 在 R_L
 上产生一个正半周
 电压

2、负半周: $a-b+$
 $\rightarrow VD$ 截止 $\rightarrow i_o = 0 \rightarrow$
 $v_o = 0$

3、重复第一个
 周期

交流电: 大小、方向随时间不断变化。

脉动直流电: 大小变化、方向不变

直流电: 大小、方向都不变

(三) 负载和整流二极管的电压和电流。

1、负载电压:

$$\bar{V}_0 = 0.45V_2$$

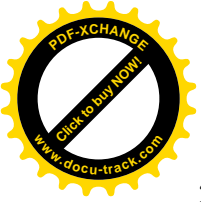
V_2 的 v_2 的有效值

电 流:
$$\bar{I}_0 = \frac{\bar{V}_0}{R_L} = \frac{0.45V_2}{R_L}$$

2、整流二极管的反向工作电压及电流

反向工作电压:
$$V_{RM} = \sqrt{2}V_2$$

电 流:
$$\bar{I}_V = \bar{I}_0$$



3、选择整流元件

最大整流电流:

$$I_{VM} \geq I_0$$

最高反向工作电压:

$$V_{RM} = \sqrt{2} V_2$$

(四): 优缺点

- 优: 1、电路简单
2、效率低
3、脉动大

三、作业:

P₃₅ 1、3、

第 4 课时

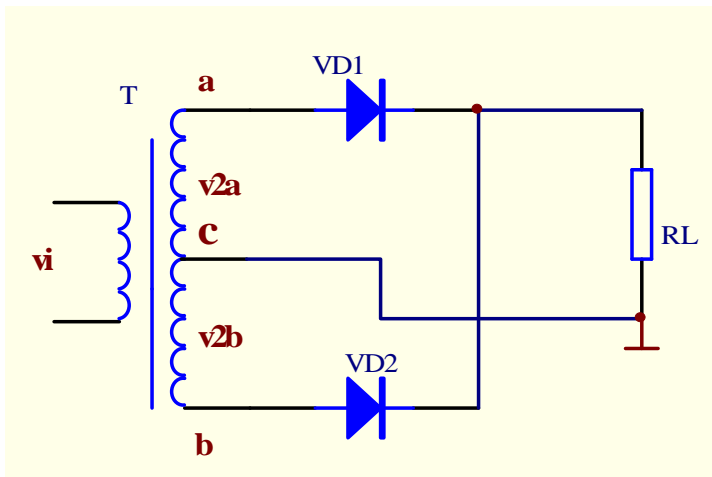
课 题：单相全波整流电路（二）

教学目的：1、掌握单相全波整流电路结构、工作原理
2、整流电路的波形

教学重点：1、工作原理
2、工作波形
3、元件选择

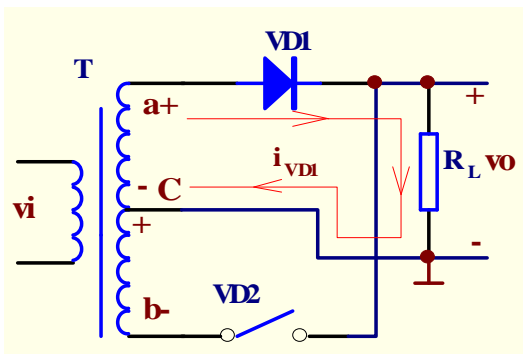
教学内容：

一、电路图

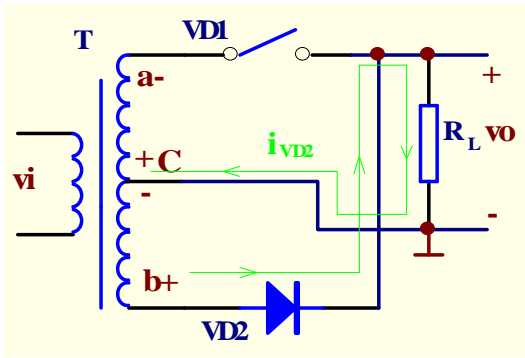


由 T、VD1、VD2、 R_L 组成
变压器中心抽头： $|v_{2a}| = |v_{2b}| = v_2$
大小相等、方向相反

二、工作原理

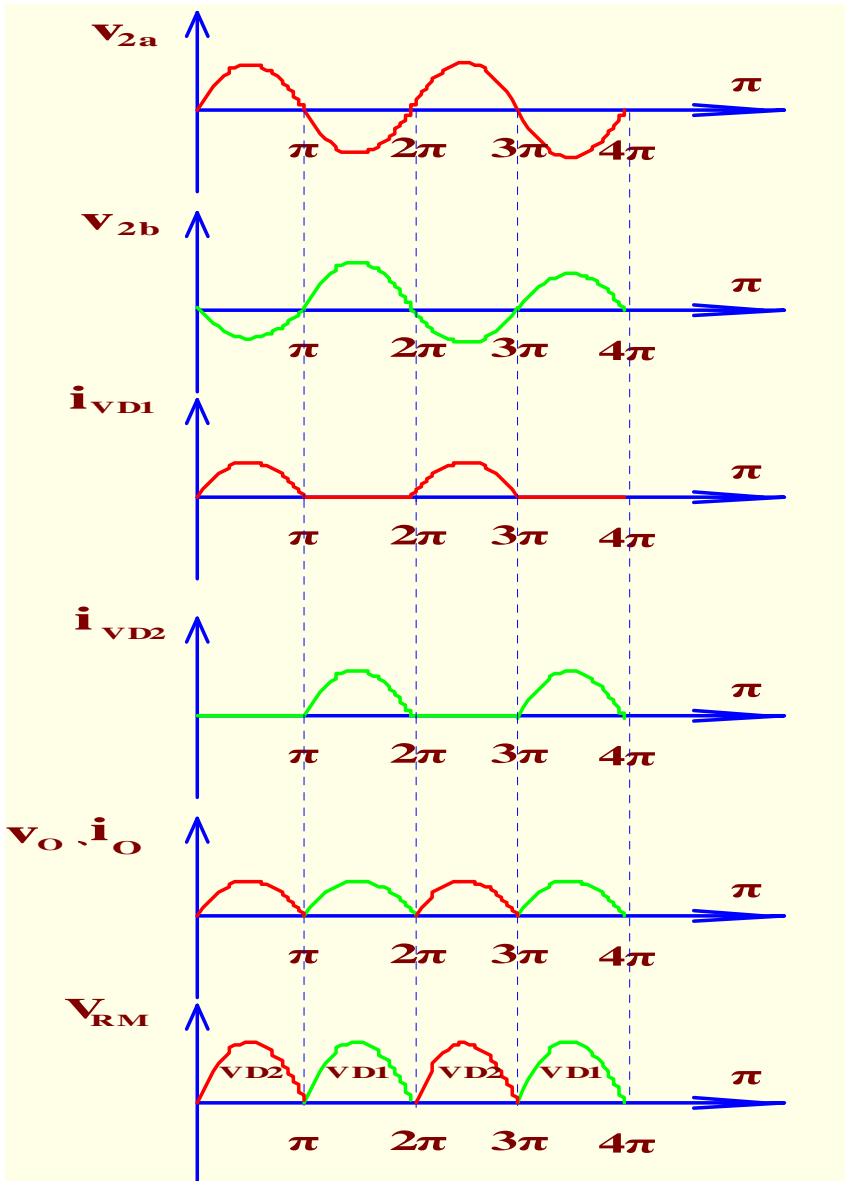


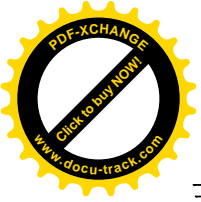
1、当 a+b- \rightarrow VD1 导通
VD2 截止
 $\rightarrow i_{VD1} \rightarrow a+ \rightarrow VD1 \rightarrow R_L \rightarrow$
C \rightarrow 在 R_L 上产生一个上+下-
的半周信号。



2、当 $a-b+$ \rightarrow $VD2$ 导通
 $VD1$ 截止
 $\rightarrow i_{VD2} \rightarrow b+ \rightarrow VD2 \rightarrow R_L \rightarrow$
 $C \rightarrow$ 在 R_L 上产生一个上+下-
 的半周信号。

3、工作波形：





三、负载与整流二极管的电压和电流

1、负载电压：

$$\bar{V}_o = 2 \times 0.45V_2 = 0.9V_2$$

电 流：

$$\bar{I}_o = \frac{\bar{V}_o}{R_L} = 0.9 \frac{V_2}{R_L}$$

2、整流二极管电压、电流

反向工作电压：

$$V_{RM} = 2\sqrt{2}V_2$$

电 流：

$$\bar{I}_V = \frac{1}{2}\bar{I}_o = 0.45 \frac{V_2}{R_L}$$

3、选择元件

$$\begin{aligned} V_{RM} &\geq 2\sqrt{2}V_2 \\ I_{VM} &\geq \bar{I}_V \end{aligned}$$

四、优缺点：

- 1、效率高
- 2、脉动小
- 3、对整流二极管要求高
- 4、中心抽头

五、作业

P₃₅



第 5 课时

课 题：单相桥式整流电路（三）

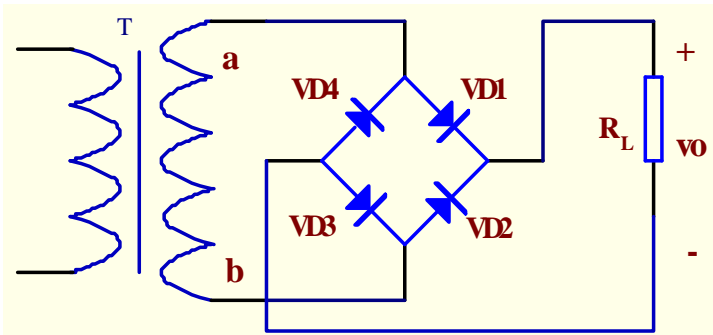
教学目的：1、掌握桥式整流电路图、工作原理、工作波形
2、元件选择

教学重点：1、电路图
2、工作原理
3、元件选择及应用

教学内容：

一、单相桥式整流电路

（一）电路图

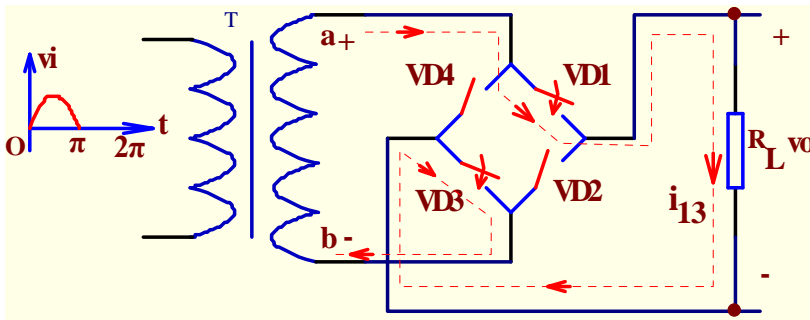


由：变压器 T、四只二极管、负载电阻 RL、组成
（二）原理

1、加正向电压（正半周）

$a+b- \rightarrow \begin{matrix} VD_1 & VD_3 \\ VD_2 & VD_4 \end{matrix} \text{导} \rightarrow i_{13} \rightarrow a_+ \rightarrow VD_1 \rightarrow R_L \rightarrow VD_3 \rightarrow b_-$

2、等效电路：

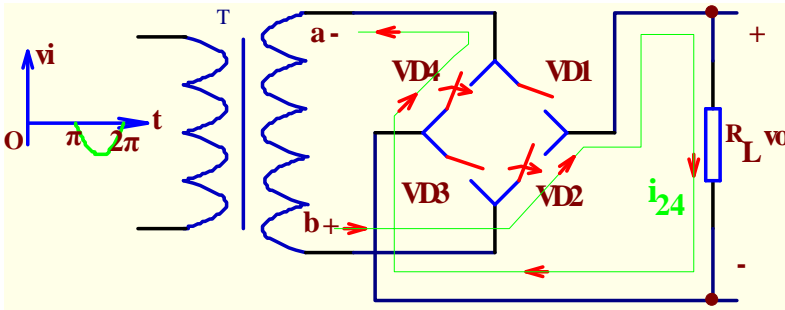


在 R_L 上产生一个上+下-的正半周信号电压。

3、负半周

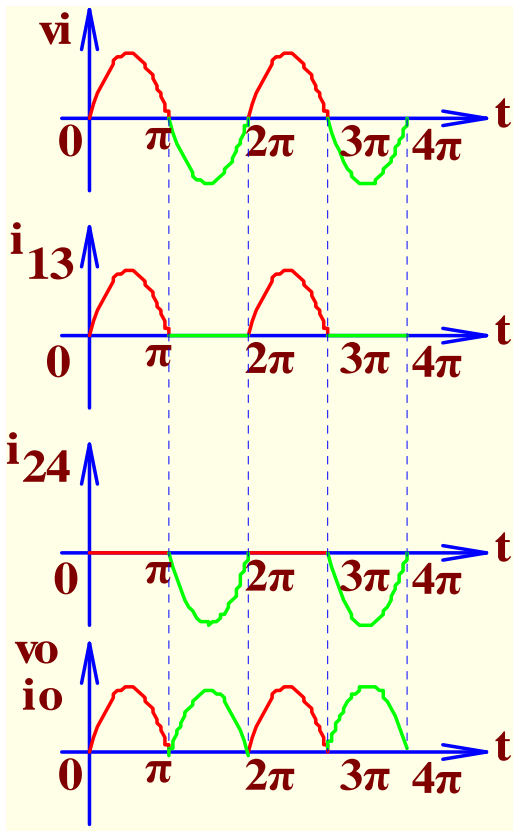
$a_- b_+ \rightarrow \begin{matrix} VD_1 & VD_3 \\ VD_2 & VD_4 \end{matrix} \begin{matrix} \text{截} \\ \text{导} \end{matrix} \rightarrow i_{24} \rightarrow b_+ \rightarrow VD_2 \rightarrow R_L \rightarrow VD_4 \rightarrow a_- \rightarrow \text{通}$

4、等效电路:



在 R_L 上产生一个上+下-的负半周信号电压。

(三) 工作波形



总结:

在输入信号的整个周内
VD1、VD3 导通正半周信号，
VD2、VD4 导通负半周信号，
都在 R_L 上产生一个上+下-的
电压



(四) 负载与整流二极管的电压和电流

1、负载：

$$\begin{aligned}\bar{V}_0 &= 0.9V_2 \\ \bar{I}_0 &= \frac{V_0}{R_L} = \frac{0.9V_2}{R_L}\end{aligned}$$

V2：变压器交级电压的有效值

2、二极管的电压和电流：

$$\begin{aligned}V_{RM} &= \sqrt{2} V_2 \\ \bar{I}_V &= \frac{1}{2} \bar{I}_0\end{aligned}$$

(五) 优缺点：

- 1、脉动小；
- 2、对二极管的要求不高；
- 3、电路较复杂。

二、作业：

P₃₅、2、4、



第 6 课时

课 题：整流电路（四）

教学目的：1、各种整流电路元件选择

2、各种整流电路元件器损坏的结果

教学重点：1、元件选择

2、元件损坏后的结果

教学内容：

一、有一直流负载需要直流电压 6v，直流电流为 0、4A，若采用单相桥式整流电路，求电源变压器的副边电压并选择二极管的型号。

解：采用桥式整流电路如所示：

1、副边电压有效值 V_2 ：

$$\bar{V}_0 = 0.9V_2$$

$$V_2 = \frac{\bar{V}_0}{0.9} = \frac{6}{0.9} = 6.7V$$

2、流过二极管的电流：

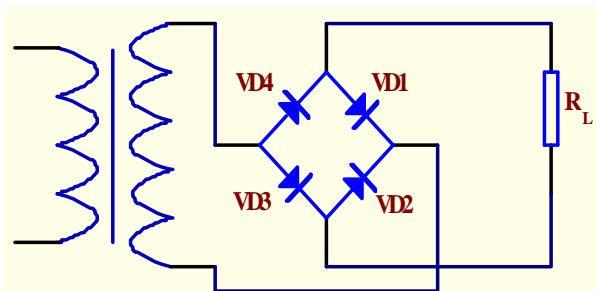
$$\bar{I}_V = \frac{1}{2}I_0 = \frac{1}{2} \times 0.4A = 0.2A$$

3、二极管承受的反向电压：

$$V_{RM} = \sqrt{2}V_2 = 1.414 \times 6.7 = 9.4V$$

实际电路中采用整流电流为 300mA，最高反向工作电压为 10v 的 2N4001 二极管四个。

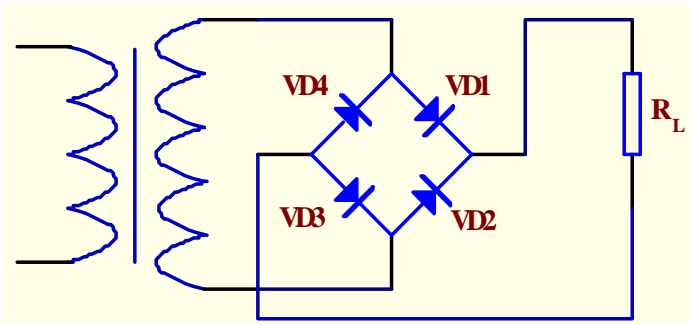
二：单相桥式整流电路接成下图，将出现什么后果，为什么？



分析：1、正半周发生短路→电流过大→烧毁二极管或变压器

2、负半周无通路。

三：下图中，试分析产生下列故障时的后果



1、VD₂ 正负极反接

正 } 会烧 VD₁ VD₂ 或变压器 → R_L 无电压
负 }

2、VD₂ 击穿

正 } 烧坏 VD₁ VD₂ 或变压器 → R_L 上电压低
负 }

3、R_L 短路

烧 VD₁~VD₄ 或变压器次级

4、任一只有二极管开路、脱焊

相当于半波整流电路、R_L 电压较低

四：作业

P₃₅ 5、6、



第 7 课时

课 题：滤波电路

教学目的：1、掌握滤波电路的作用

2、掌握滤波电路的类型、电路结构及应用

教学重点：1、滤波电路形式

2、滤波电路工作原理

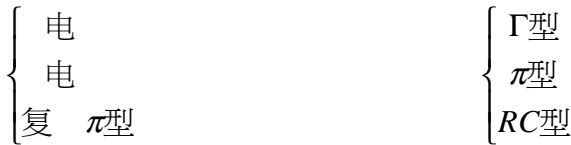
3、滤波电路对输出电压的影响

教学内容：

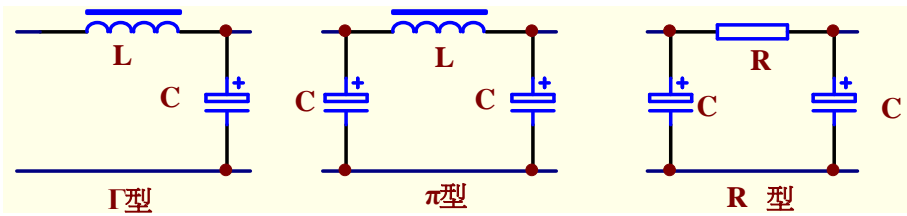
一、概念：

单向脉动直流电中的交流成份减少得到较平滑的直流电压。

二、种类：

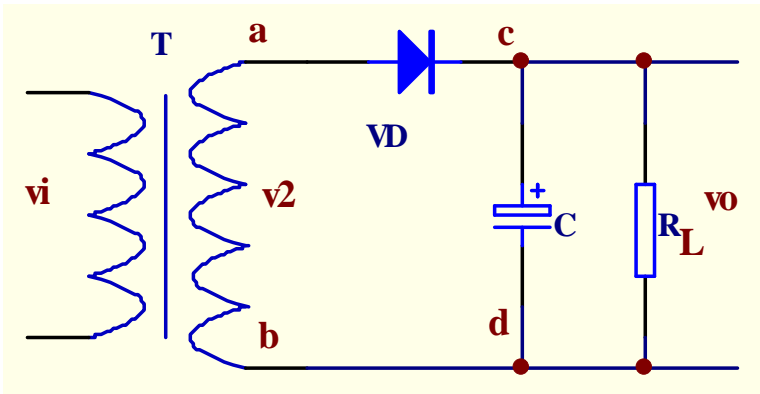


容
感
合



三、电容滤波电路：

(一) 电路图





(二) 工作原理

1、正半周 $a_+b_- \rightarrow VD$ 导 \rightarrow 向 R_L 供 $\rightarrow (\tau = r_d \cdot c)$ 小、充电快
向 C 充

$\rightarrow V_c = (\sqrt{2}V_2) \rightarrow oa$ 段

2、正周后半段 $\rightarrow v_2 < v_c \rightarrow VD$ 截止 $\rightarrow C$ 向 R_L 供 $\rightarrow \tau = (R_L \cdot C)$ 大

\rightarrow 放电慢 $\rightarrow ab$ 段

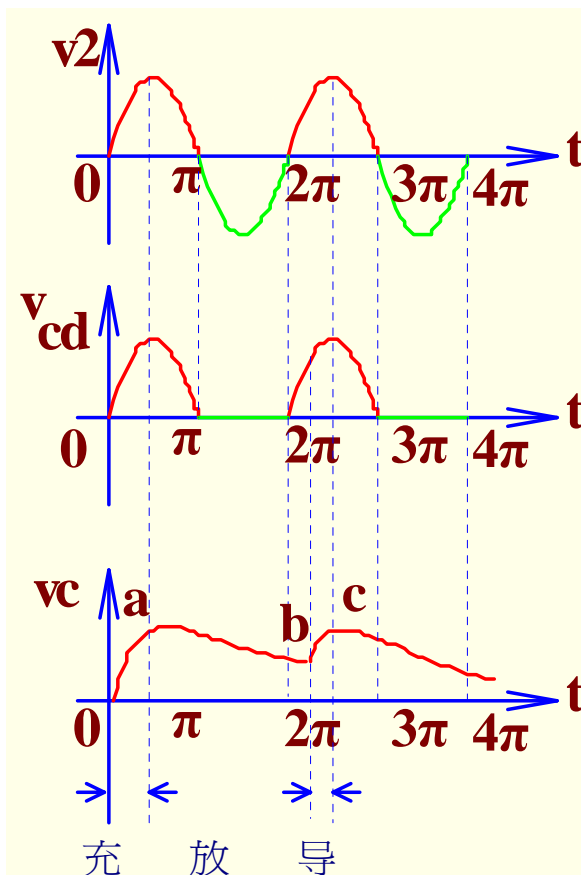
3、负半周 $\rightarrow VD$ 截 $\rightarrow C$ 向 R_L 供 $\rightarrow ab$ 段

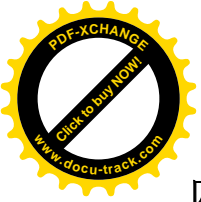
止

4、当第二个正半周来后 $\rightarrow V_2 > v_c \rightarrow VD$ 导 \rightarrow 向 R_L 供 \rightarrow
 \rightarrow 向 C 充

($\tau = r_d \cdot c$) 小，充电快 $\rightarrow v_c (= \sqrt{2} V_2) \rightarrow bc$ 段

(二) 工作波形：





四：电路特点

1、 V_0 变得连续而平滑

2、 \bar{V}_0 的有所升高

$$\text{半波: } \bar{V}_0 = V_2 \quad 0.45V_2$$

$$\text{全波: } \bar{V}_0 = 1.2V_2 \quad 0.9V_2$$

$$R_L \text{ 开路: } \bar{V}_0 = 1.4V_2 \text{ 或 } \sqrt{2} V_2$$

3、二极管的导通时间缩短

$$v_2 > v_C \quad \text{导通}$$

$$4、I_{VM} \geq 2\bar{I}_0 \quad V_{RM} \geq \sqrt{2} V_2$$

5、电容容量与耐压值

$$C \geq (3\sim 5) \frac{1}{2R_L f} \quad \text{取 } 4$$

$$V_C \geq \sqrt{2} V_2$$

五、作业：

P₃₅、 7



第 8 课时

课 题：正确选择整流元件及滤波电路

教学目的：1、掌握滤波电路的特点

2、掌握根据实际需要选择有关元件

教学重点：1、选择元件

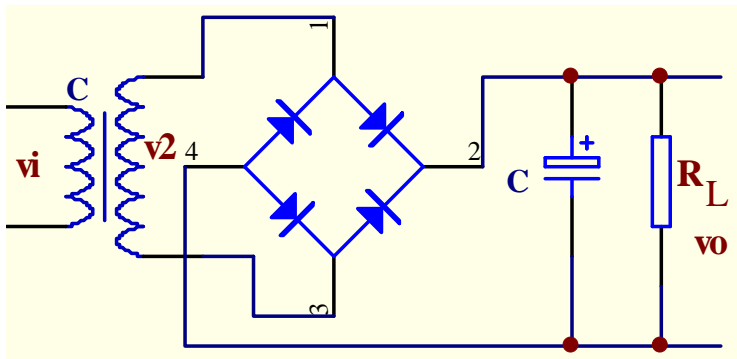
2、滤波电路的特点

教学内容：

一、例题

国产 44cm 黑白电视机稳压电源采用桥式整流和电容滤波电路，设该电路输出直流电压为 20V，直流电流为 1.2A，所用 $f = 50\text{Hz}$ ，求滤波电容的容量和耐压，并选择整流二极管。

解：1、电路图



2、求容量

$$C = (3 \sim 5) \frac{1}{2R_L f}$$

$$R_L = \frac{\bar{V}_0}{I_0} = \frac{20}{1.2} = 16.7 \Omega$$

$$C = 4 \cdot \frac{1}{2R_L f} = \frac{2}{16.7 \times 50} = 2400 \mu\text{F}$$



3、耐压

$$\bar{V}_o = 1.2V_2$$

$$V_2 = \frac{\bar{V}_o}{1.2} = 16.7V$$

$$V_C > \sqrt{2}V_2 = 1.414 \times 16.7 = 23.8V$$

实际电路中采用 3300uF、25V 的电解电容一个。

4、二极管的选择：

$$V_{rm} = \sqrt{2}V_2 = 23.8V$$

$$\bar{I}_V = \frac{1}{2}\bar{I}_0 = 0.6A$$

实际中选用最高反向电压为 25V、最大整流为 1A 的二极管 4 个

二：优缺点

优：1、电路简单

2、输出 \bar{V}_o 较高

缺：1、带负载能力差 ($R_L \downarrow \rightarrow v_o \downarrow$)

2、有浪涌电流存在

3、整流稳定度不高



第 9 课时

课 题：电感滤波电路及其它滤波电路

教学目的：1、电路结构、工作原理

2、其它滤波电路形式

教学重点：1、电路图

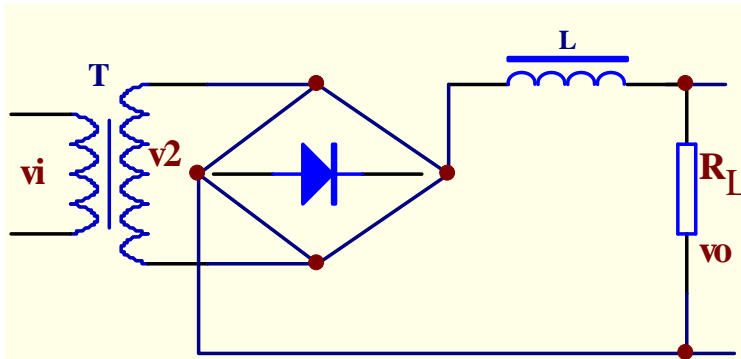
2、工作原理

3、其它形式

教学内容：

一、感滤波电路

(一) 电路图



电感 L 与 R_L 串联

(二) 工作原理

$$X_L = 2\pi fL \begin{cases} \rightarrow f \uparrow \rightarrow X_L \uparrow \rightarrow V_{XL} \uparrow \\ \rightarrow f \downarrow \rightarrow X_L \downarrow \rightarrow V_{XL} \downarrow \end{cases}$$

L 对交流电呈现较大的阻抗，交流成分储存在 L 中；

L 对直流电呈现很小的阻抗，直流成分通过线圈送到负载。

即：脉动直流电中的交流成分主要加到 L 两端，而直流成分主要加到 R_L 两端

(三) 优缺点:

1、优点

- (1) 能够在大电流场合使用;
- (2) 输出稳定;
- (3) 无冲击电流.

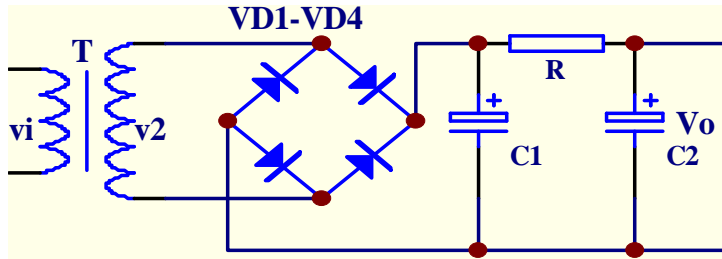
2、缺点:

- (1) 体积大, 重量增加;
- (2) 易引起电磁干扰;
- (3) 输出电压较低.

二、其它滤波电路:

(一) RC 滤波电路:

1、电路图



2、工作原理:

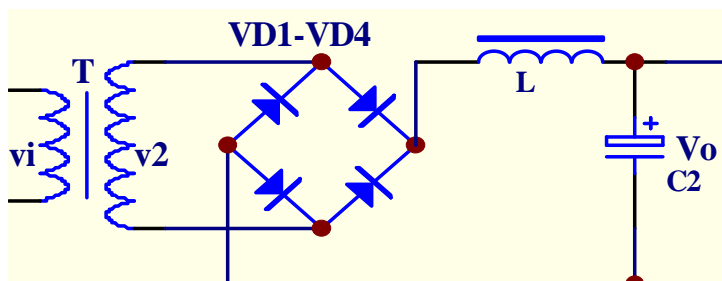
二级滤波

3、特点:

- (1) 滤波效果较好;
- (2) 在直流电压损耗;
- (3) 带负载能力差.

(二) 倒 L 型滤波电路

1、电路图





2、工作原理：

两级滤波

3、特点：

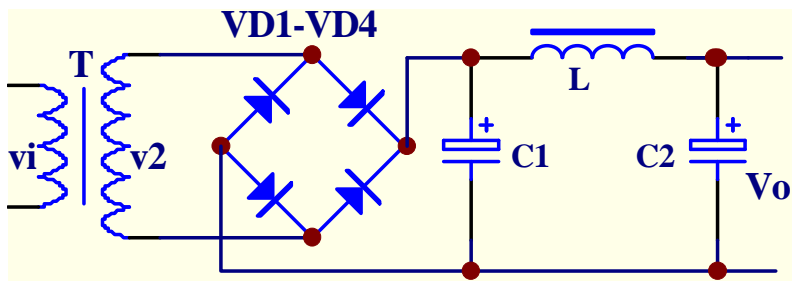
优：①滤波效果好；

②直流电压损耗少；

③带负载能力强。

缺：电感体积大、笨重、成本高。

(三) LC 滤波电路



三、作业：

P_{36} 8、9、10、11



第 10 课时

课 题：二极管应用电路

教学目的：1、二极管的主要用途

2、各种二极管的电路符号、工作原理及应用

教学重点：稳压二极管的工作原理及应用

教学内容：

一、发光二极管（LED）

（一）LED 的结构与符号：

芯片采用磷砷化镓、砷化镓、磷化镓等导体材料

PN 结：

采用特殊工具，当 PN 结加上工作电压时，P 区→空穴→N 区
N 区→电子→P 区，电子和空穴相复合→过剩的能量以光子的形式释放出来，从而发出一定波长的光束。

发光颜色：

取决于所用的半导体材料，能够发出红、绿、黄色。

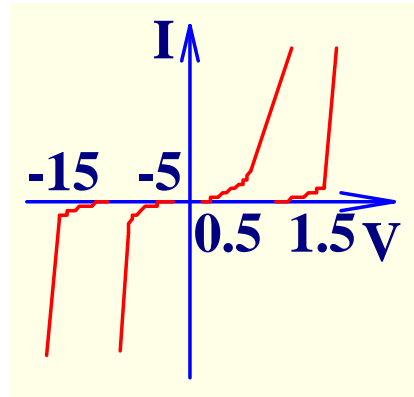
（二）特性：

LED 的开启电压：1.2-1.5V

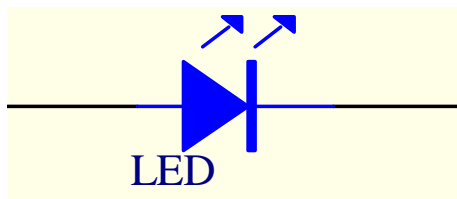
普通二极管：0.6-0.7

LED 反向击穿电压：5V

普通二极管：几十伏



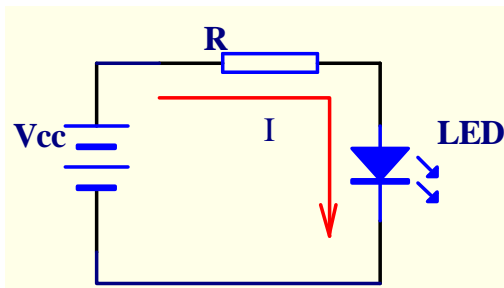
（三）符号





(四) LED 驱动电路

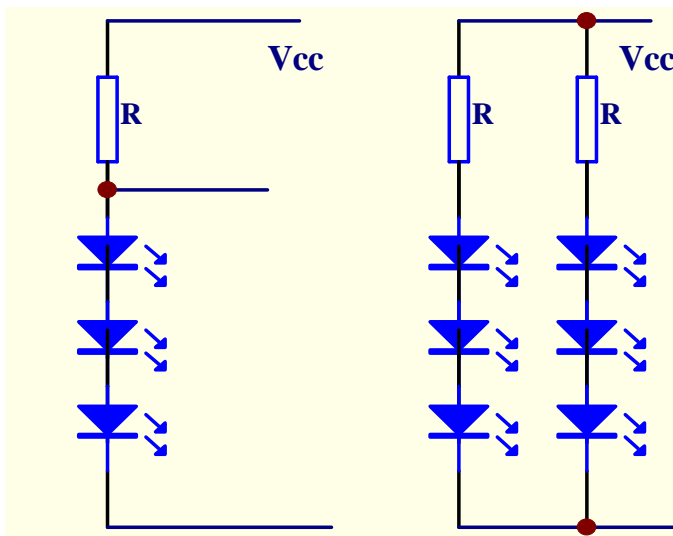
1、 单个 LED 驱动电路



$$I = \frac{V_{cc} - V_F}{R}$$

I 只要有 10mA 的电流就能发光

2、 多个 LED 驱动电路

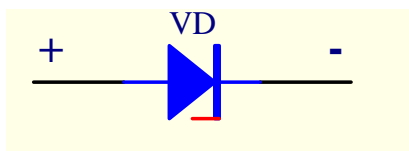


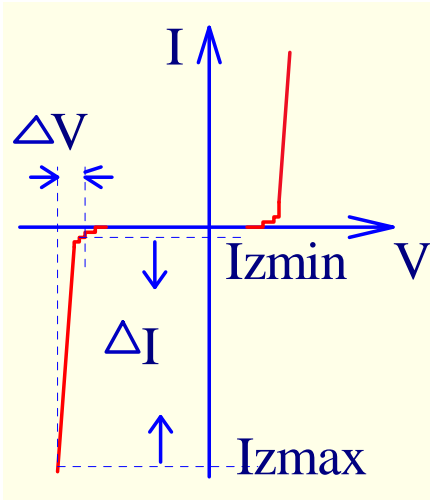
(五)、优缺点:

亮度高、电压低、体积小、可靠性好、寿命长、响应速度快、颜色鲜。

二、稳压二极管

(一) 特性、符号





正反向特性曲线都比普通二极管要陡峭

(二) 原理:

电流变化很大而稳压二极管两端电压变化很小。

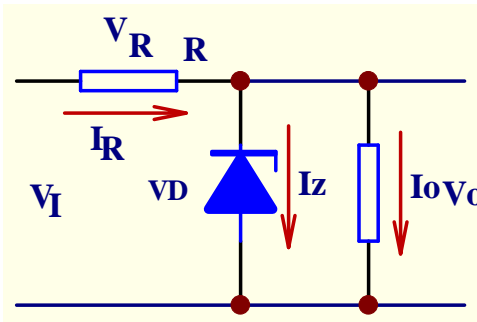
(三) 稳压的外部条件:

1、管子两端需加上一个大于其击穿电压的反向电压;

2、采取适当措施限制击穿后的反向电流。

三、举例子：稳压原理

(一) 电路图:



$$I_R = I_O + I_Z$$

$$V_I = V_R + V_O$$

$$V_I \uparrow \rightarrow V_O \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \uparrow \rightarrow V_R \uparrow \uparrow \rightarrow V_O \downarrow$$

$$R_L \uparrow$$

$$V_I \uparrow \rightarrow V_R \uparrow \uparrow \rightarrow V_O \downarrow$$

反之则反

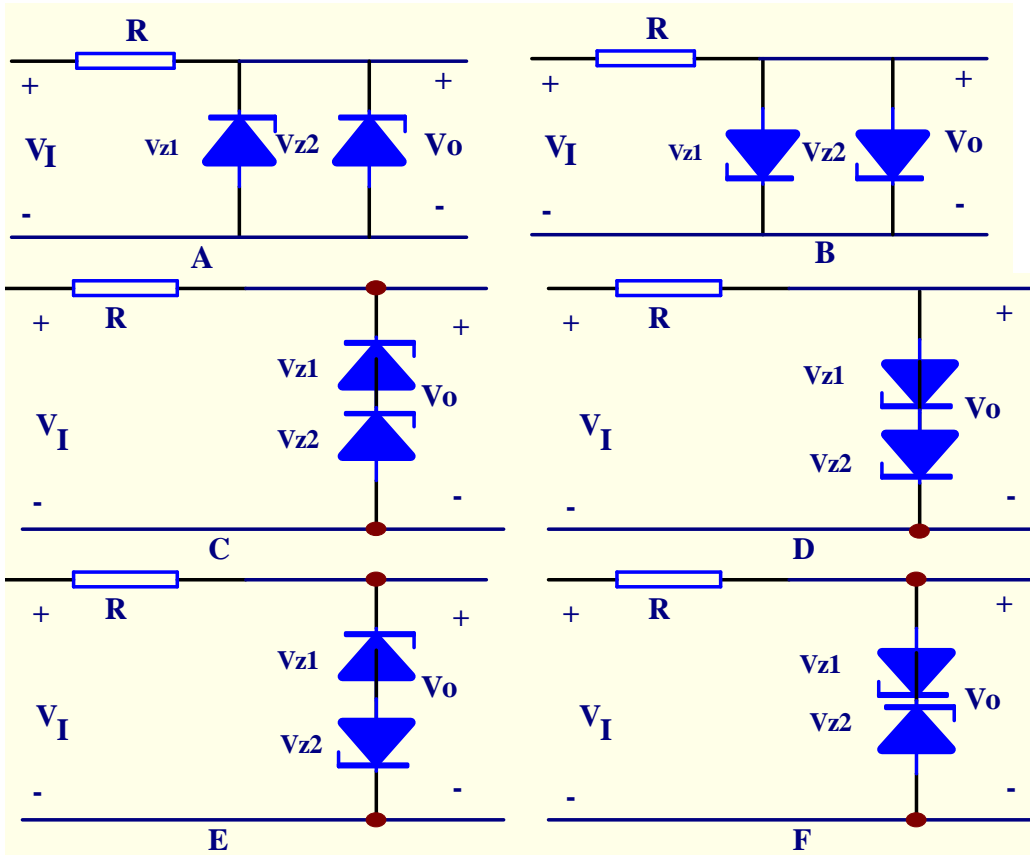
总结:

稳压电路是靠改变稳压管电流大小，从而改变限流电阻两端电压来稳定输出电压。

四、举例子:

下列几种情况下输出电压为多少

$V_{z1}=6V$, $V_{z2}=9V$, $V_I=20V$, 正向压降为 $0.7V$



- A: $V_o=6V$; B: $V_o=0.7V$;
 C: $V_o=15V$; D: $V_o=1.4V$;
 E: $V_o=6.7V$; F: $V_o=9.7V$;

五、参数：

- (一) 稳定电压 V_z ：指管子正常工作状态下管子两端的电压
 (二) 稳定电流 I_z ：指管子在稳定电压下的电流。

稳定电流有一定的允许变化范围，电流变化偏小，稳定（压）效果差，电流变化偏大稳压效果好。

- (三) 温度参数 V ：

$$V_z > 6: \text{正温度参数} \quad t \uparrow \rightarrow V_z \uparrow$$

$$V_x < 6: \text{负温度参数} \quad t \uparrow \rightarrow V_z \downarrow$$

$$V_z = 6: \text{温度参数等于 } 0。$$

六：作业：

P₃₆: 12、13、14、15、16



第 11 课时

课 题：光敏二极管

教学目的：1、光敏二极管的符号、特性
2、电源的四部分

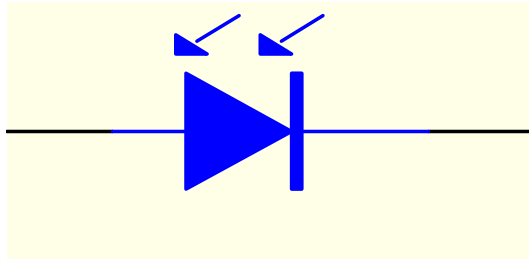
教学重点：电源的四部分

教学内容：

一、光敏二极管

（一）符号、工作原理

1、符号：



2、原理：

光信号→电信号→在反向电压下工作

当管芯受到光照时，光能被 PN 结接收，激发出大量的电子和空穴对形成光电流。

（二）主要参数：

1、最高工作电压 V_{RMAX}

光敏二极管在无光照条件下，反向电流不超过 0.1UA 时能承爱的最高反向电压。

V_{Rmax} 越大→管子越好

2、暗电流 I_0 ：

指光敏二极管在无光照时，在最高反向电压作用下所测得的反向电流。

I_0 越小，管子对光的灵敏度越高

3、光电流 I_L

光敏二极管在光照时所产生的光电流

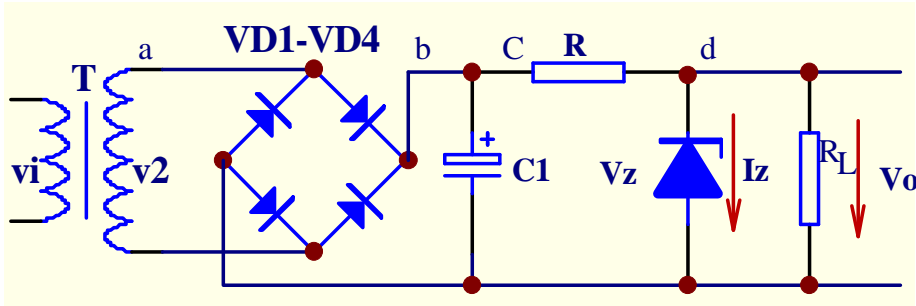
I_L 越大，管子性能越好

二：电源的四部分

(一) 四部分

V_i (交流) \rightarrow 变 \rightarrow 整 \rightarrow 滤 \rightarrow 稳 \rightarrow V_0 压 流 波

(二) 四部分电路



- 1、a、b、c、d 的波形
- 2、整流元件、电容、稳压二极管的配套接法
- 3、R 的位置
- 4、输出电压的极性

三、作业：

P₃₆: 18



第 12 课时

课 题：半导体三极管（一）

教学目的：1、掌握三极管的结构及分类
2、掌握三极管的电流放大作用及实质
3、联结方式
4、掌握特性曲线，主要参数

教学重点：1、电流放大作用
2、特性曲线及应用

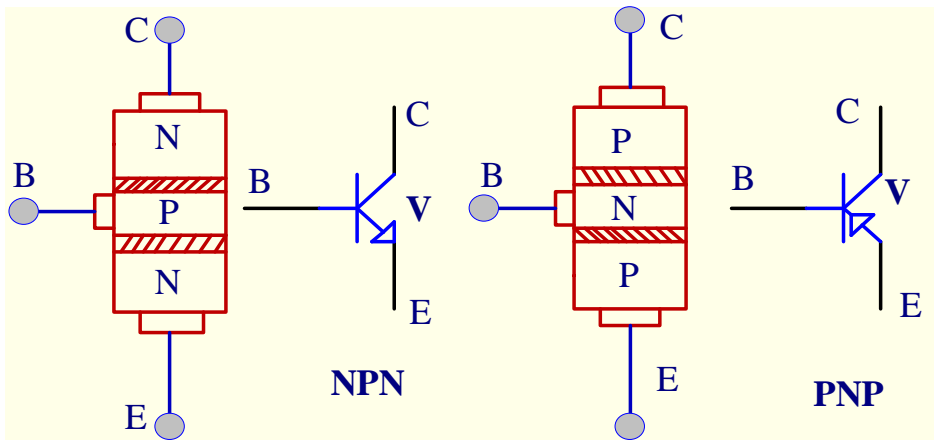
教学内容：

一、基本结构与分类

（一）结构

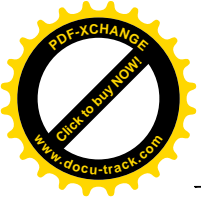
由两个 PN 结（集电结、发射结）、三个区（发射区、基区、集电区）构成。

发射极、基极、集由极→E、B、C （e、b、c）



（二）分类

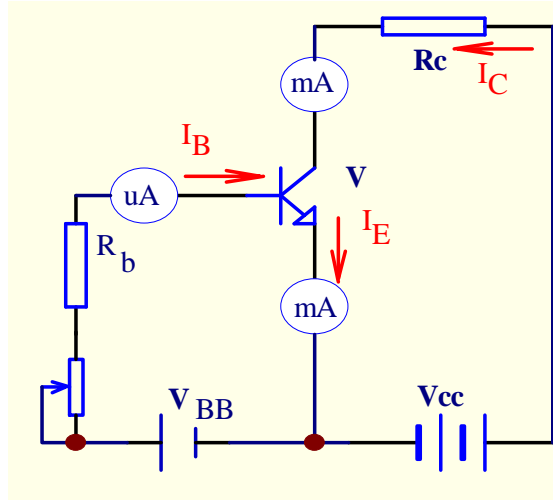
功率：大、中、小
工作频率：低、高、超高频管
管蕊材料：硅、锗
用途：放大、开关
工艺：合金、平面



二、三极管的电流放大作用

(一) 各极的电流分配

1、电路图



2、各元件的作用

V_{BB} : 基极电源

通过 R_b 、 R_p 将正向电压加到发射结

V_{CC} : 集电极电源

通过 R_C 将电压加到集电极与发射极之间

$V_{CC} > V_{BB}$

发射结正偏

集电结反偏

R_C : 集电极负载电阻

R_C 缺, 不能产生放大作用(将输出电流转换成输出电压)

R_B : 基极电阻

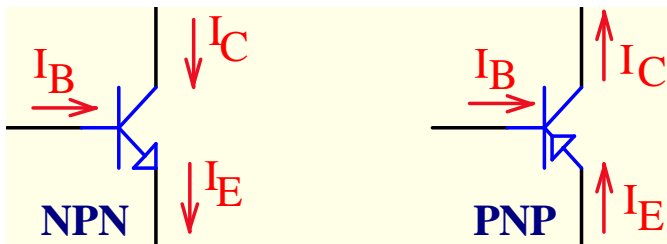
R_p : 电位器

3、电流分配规律

$$I_E = I_C + I_B$$

发射极电流等于基极电流与集电极电流之和

对于 NPN、PNP 均符号。



满足节点电流定律



(二)、三极管的电流放大作用：

基极电流 I_B 的微小变化控制了集电极电流较大的变化。

1、实质：是“以小控大”的作用，而不是能量的放大。

从能量转变看：是将集电极 V_{CC} 提供的直流电能转成按输入信号变化的交流电能。

2、外部工作条件：

发射结正向偏置

集电结反向偏置

3、电结分布；

NPN: $V_C > V_B > V_E$

PNP: $V_C < V_B < V_E$

三、作业

P₂₁: 6、



第 13 课时

课 题：半导体三极管（二）

- 教学目的：
- 1、三极管的特性曲线
 - 2、联结方式
 - 3、主要参数

教学重点：特性曲线

教学内容：

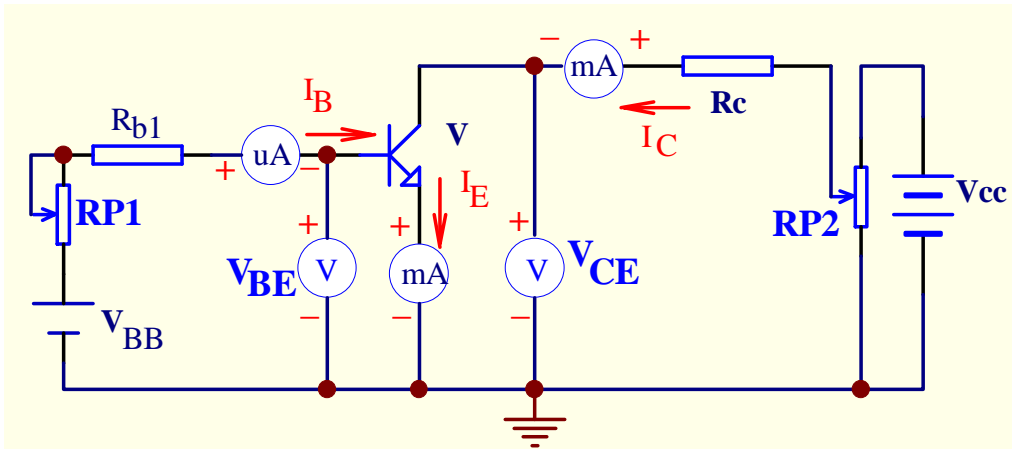
一、三极管的特性曲线

（一）输入特性曲线

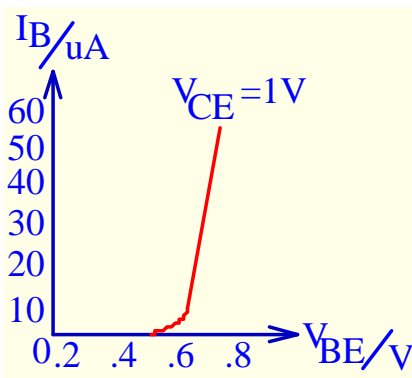
1、定义：

是指在 V_{CE} 一定的条件下，加在三极管基极与发射极三间的电压 V_{BE} 它和产生的基极电流 I_B 之间的关系。

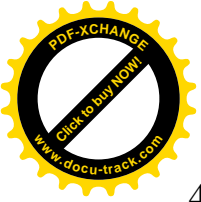
2、测试电路



3、输入特性曲线



- ①调节 R_{P2} 使 $V_{CE} = 1\text{ V}$ （定值）
- ②再调节 R_{P1} ，让 V_{BE} 从零开始增加并记下相应的 I_B 值。
- ③调节 R_{P2} 使 $V_{CE} > 3\text{ V}$



4、曲线特点:

①三极管的输入特性曲线与二极管的正向伏安特性曲线相似。(发射法相当于一个二极管)

②同样存在电压

硅: 0.5

锗: 0.1-0.2

③ V_{BE} 超过死区电压后, 维持一定电压不变

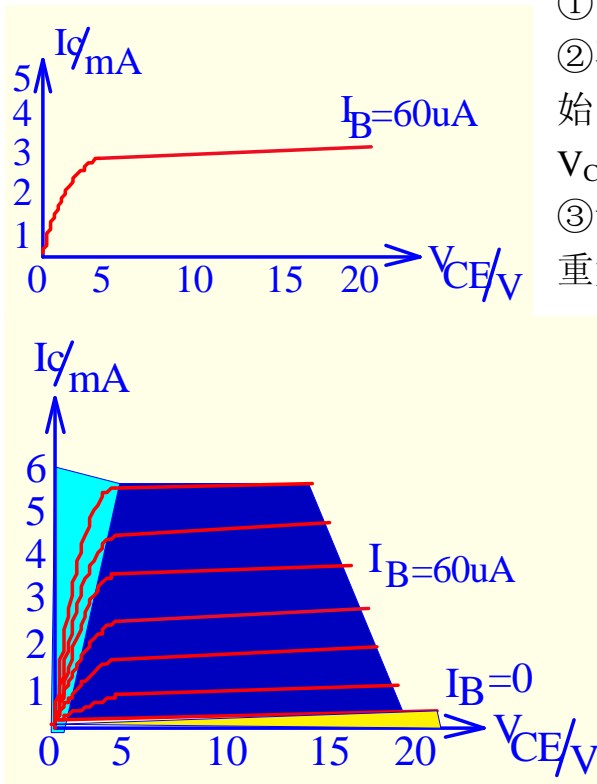
$$V_{BE} \begin{cases} \text{硅: } 0.6 - 0.7V \\ \text{锗: } 0.2 - 0.3V \end{cases}$$

V_{BE} 电压是检查三极管的放大器, 是否处于正常放大的主要依据。

(二)、输出特性曲线

1、定义: 指在 I_B 一定的条件下, 集电极与发射极的电压 V_{CE} 与集电极电流 I_C 之间的关系。

2、输出特性曲线



①调节 R_{P1} , 使 I_B 为一定值
②再调节 R_{P2} , 使 V_{CE} 从零开始增大, 记下每一时刻的 V_{CE} 、 I_C 值。

③调节 R_{P1} , 使 I_B 为其它值, 重复②, 可得到输出特性曲线族。

3、输出特性曲线族共分三个区

放大区 (蓝色)

①发射结正偏、集电结反偏

② I_C 受 I_B 控制, 即 $I_C = \beta I_B$

③ $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \geq 1V$



④具有恒流源特性， V_{CE} 变化 I_C 不变
截止区(黄色区域)：

- ①发射结，集电结反偏或零偏
- ② I_B 、 I_C 几乎为零，很小的穿透电流 I_{CEO}
- ③ $V_{CE} = V_{CC}$

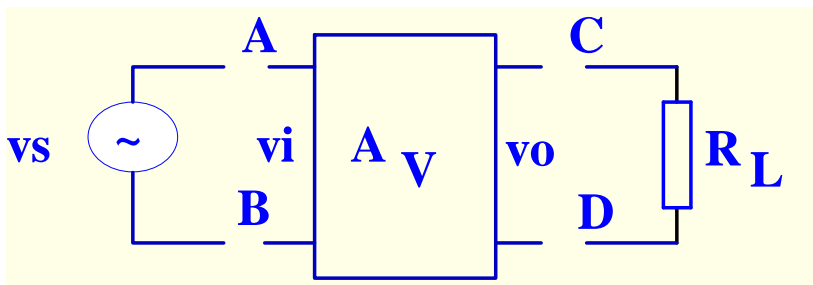
饱和区（绿色部分）：

- ①发射结、集电结均正偏
- ② I_C 不受 I_B 的控制 $I_C \geq \beta I_B$
- ③管压降 V_{CES} 零点几伏

NPN:	$V_{CES} = 0.3$ 硅
	$V_{CES} = 0.1$ 锗
PNP:	$V_{CES} = -0.3$ 硅
	$V_{CES} = -0.1$ 锗

二、三极管的基本联结方式：

(一) 放大器方框图

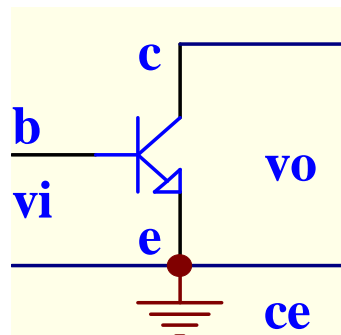


信号源、放大器、负载

(二) 联结方式 $\left\{ \begin{array}{l} \text{共} \\ \text{共} \\ \text{共} \end{array} \right.$

1、共发射极：

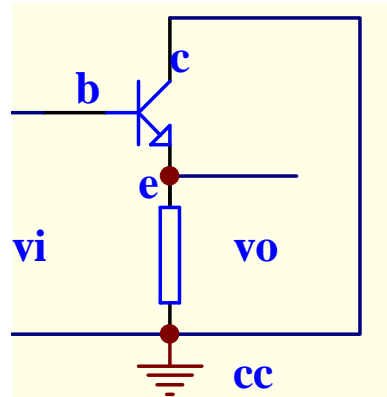
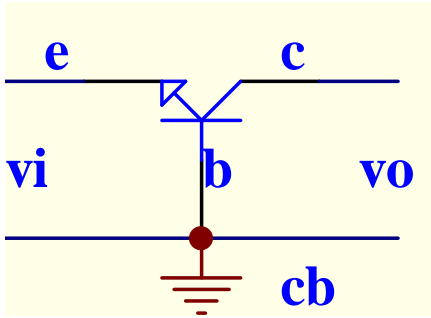
将基极、发射极作为输端，集电极、发射极作为输出端，发射极是足输入，输出的公共端。





2、发射极作为输入端，集电极作为输出端，而基极是输入、输出的公共端。

3、共集电极基极与集电极作为输入端，发射极与集电极作为输出端。



三、作业：

P₂₁: 7、9、10



第 14 课时

课 题：三极管的主要参数

教学目的：1、了解并掌握三极管的主要参数
2、能正确根据实际问题应用参数

教学重点： 参数的作用

教学内容：

一、三极管的主要参数

(一) 共发射极电流放大系数

1、共发射极直流放大系数 $\bar{\beta}$ (h_{FE})

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \text{ (同一时刻)}$$

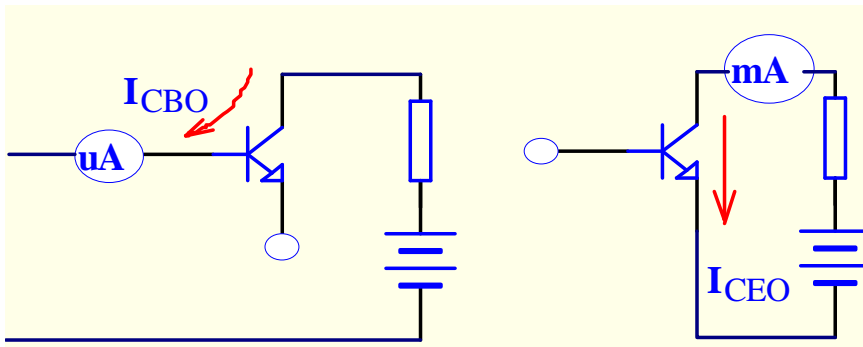
2、共发射极交流放大系数 β (h_{fe})

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}}$$

关系： $\beta = \bar{\beta}$ (20 ~ 200)

(二) 极间反向饱和电流

1、集电极—基极反向饱和电流 I_{CBO}



2、集电极—发射极反向饱和电流 I_{CEO}

3、关系 $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$

公式说明： I_{CEO} 不但与 I_{CBO} 有关，而且与 β 有关，在确定三极管性能好坏时，要以 I_{CBO} 为准。



(三) 反向极限参数

1、集电极最大允许电流 I_{CM}

$$I_C \uparrow \rightarrow \beta \downarrow \rightarrow \text{当 } \beta \downarrow \frac{2}{3} \text{ 时 } I_C$$

2、反向击穿电压

$$V_{(BR)CE0}$$

$$V_{(BR)CBO}$$

$$V_{(BR)EBO}$$

$$\text{关系: } V_{(BR)CBO} > V_{(BR)CE0} > V_{(BR)EBO}$$

3、集电极最大允许耗散功率 P_{CM}

二、例题：

1、已知 $I_{B1} = 10\mu A$ $I_{C1} = 1\text{ mA}$

$$I_{B2} = 20\mu A \quad I_{C2} = 2\text{ mA}$$

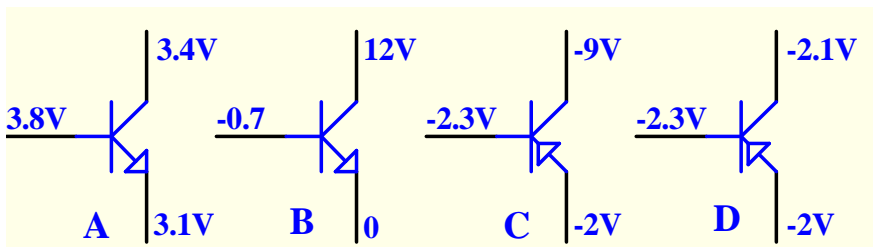
求 $\bar{\beta}_1$ 、 $\bar{\beta}_2$ 和 β

$$\text{解: } \bar{\beta}_1 = \frac{I_{C1}}{I_{B1}} = \frac{1\text{mA}}{10\mu A} = 100$$

$$\bar{\beta}_2 = \frac{I_{C2}}{I_{B2}} = \frac{2\text{mA}}{20\mu A} = 100$$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}} = \frac{2\text{mA} - 1\text{mA}}{20\mu A - 10\mu A} = 100$$

2、当三极管的每个电极对地电位如图所示，试判断各三极管处于何种工作状态。



3

3、在一块正常的电路板上，测得某放大管的A、B、C三个电极分别为6V、1V、0.3V问此管A、B、C分别是哪个电极，管型和材料是什么？



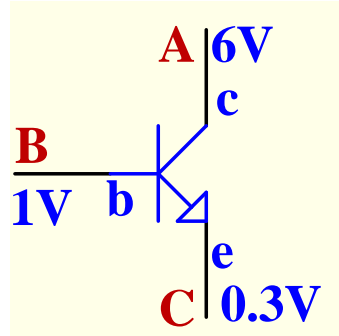
(1)、三个电极电位分布规律

$$\text{NPN: } V_c > V_B > V_E$$

$$\text{PNP: } V_c < V_B < V_E$$

(2)、基极与发射极相差零点几伏。

NPN 型，硅材料



4、 $\beta_1 = 60$ $I_{CE01} = 40\mu\text{A}$

$\beta_2 = 80$ $I_{CE02} = 50\mu\text{A}$

哪个管子能好

解: $I_{CB01} = \frac{I_{CE01}}{\beta_1} = \frac{2}{3} = \frac{16}{24} \mu\text{A}$

$$I_{CB02} = \frac{I_{CE02}}{\beta_2} = \frac{5}{8} = \frac{15}{24}$$

$I_{CB02} < I_{CB01}$ 第②个管子好

三:作业

P₂₁: 8



第 15 课

课 题: 放大器概述

教学目的: 1、了解放大器的确良有关概念
2、掌握基本放大电路组成, 符号

教学重点: 1、对放大点的基本要求
2、基本放大电路

教学内容:

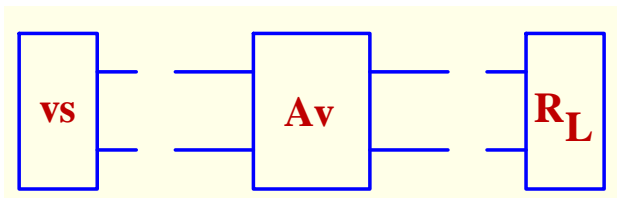
一、概述

(一) 功能

将微弱的电信号进行有限的放大得到所需要的信号

(二) 条件、要求、方框图

1、方框图



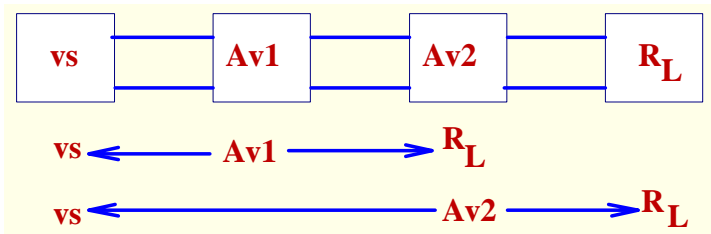
2、条件

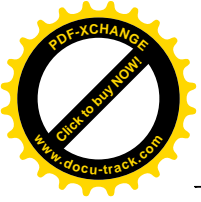
- (1) 输出信号的波形与输入信号的波形相同
- (2) 输出信号功率大于输入信号功率

3、要求

- (1) 要有足够的放大信数 A_v 、 A_i 、 A_p
- (2) 要有一定宽度的通频带 BW 、 f_{BW}
- (3) 非线性失真要小
- (4) 工作要稳定

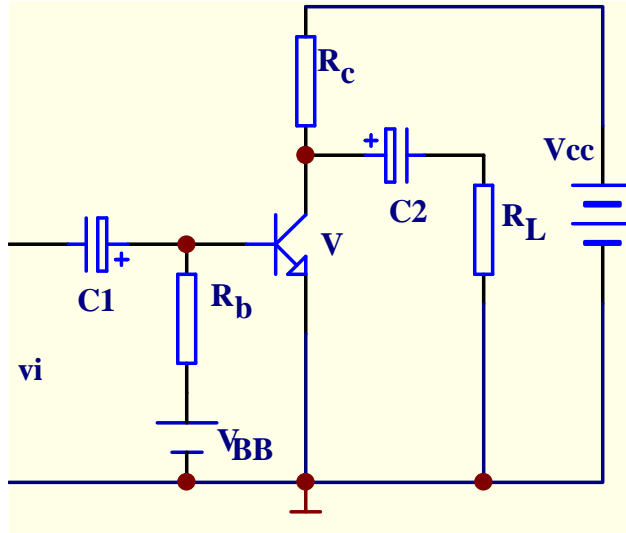
4、信号源、放大器、负载的关系





二、基本放大电路

(一) 电路图



(二) 元件名称、作用

- 1、V：放大管、核心、起放大作用
- 2、 V_{BB} ：基极偏置电源，给发射结提供正向偏置电压
- 3、 R_b ：基极偏置电阻，提供合适的基极偏置电流
- 4、 V_{CC} ：集电极直流电源，给集电结提供反向偏置电压
- 5、 R_c ：集电极直流负载电阻，将 I_C 的变化转换成 V_{CE} 的变化
- 6、 C_1 、 C_2 输入、输出耦合电容：隔直通交

R_b : 几千 Ω — 几百千 Ω

R_c : 几百 Ω — 几千 Ω

如果是 PNP 型, 电路如何改进?

电容, 电源极性反向

(三) 放大器中电流电压符号使用规定

放大电路中信号都是由**直流成分**、**交流成分**叠加而成

1、直流分量 (大大)

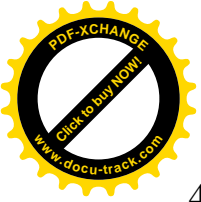
大写字母大写下标: I_B 、 I_C 、 V_{CE}

2、交流分量 (小小)

小写字母加小写下标: i_b 、 i_c 、 v_{ce}

3、交流分量的有效值 (大小)

大写字母加小写下标: I_b 、 I_c 、 V_{ce}



4、交直流总量（小大）

小写字母常大写下标： $i_B=I_B+i_b$ $i_C=I_C+i_c$

$$V_{CE}=V_{CE}+V_{ce}$$

5、最大值： I_{BM} i_{bm} V_{im}

三：作业

P_{60} ：1、4、13



第 16 课

课 题：静态工作点

教学目的：1、静态工作壮状态

2、学会用估会法、图解法分析静虑工作点

教学重点：用估算法、图解法分析静态工作点

教学内容：

一、静态工作点

(1) 静态

放大器无输入信号时的直流工作状态

(二) 静态工作点“ Q ”

由 V_{CC} 、 R_C 、 R_b 在三极管输入、输出特性曲线上所确定的点

(三) 静虑工作量

I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 I_{EQ} 、 V_{CEQ} 、 V_{BEQ}

(四) 直流通路

1、定义

放大点中直流电源 V_{CC} 在输入回路、输出回路所流经路径

2、画法

(1) 电容视为开路

(2) 电源整理好

3、基本放大电路的直流通路

(五) 用估算法确定静态工作点

$$1、 I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b}$$

$$R_b \uparrow \rightarrow I_{BQ} \downarrow$$

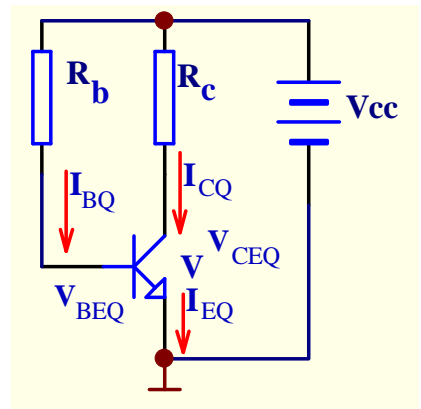
$$R_b \downarrow \rightarrow I_{BQ} \uparrow$$

$$2、 I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$3、 V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C$$

$$R_b \uparrow \rightarrow I_{BQ} \downarrow \rightarrow I_{CQ} \downarrow \rightarrow V_{CEQ} \uparrow$$

$$R_b \downarrow \rightarrow I_{BQ} \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow V_{CEQ} \downarrow$$





(六) 用图解法确定静态工作点

1、确定直流负载线MN

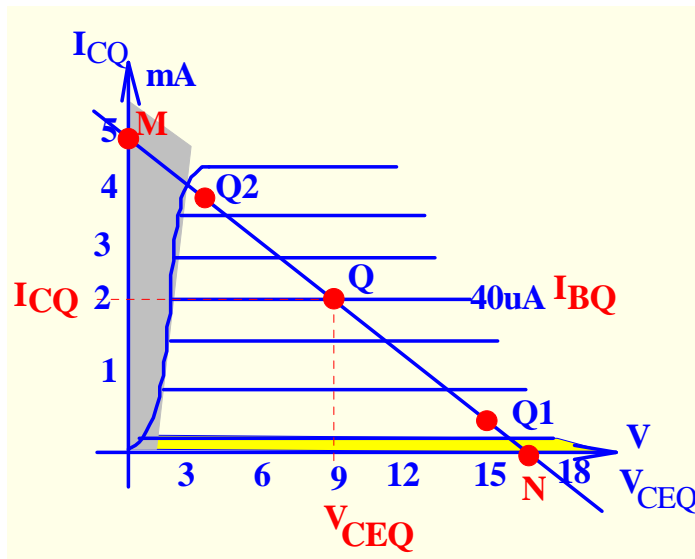
短路电流点M ($\frac{V_{CC}}{R_C}, 0$) 设 $V_{CEQ} = 0$

开路电压点N ($0, V_{CC}$) 设 $I_C = 0$

2、估算出 $I_{BQ}, I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b}$

3、定出直流负载线与 I_{BQ} 的交点，即静态工作点

4、向横坐标、纵坐标作垂线确定 $V_{CEQ}、I_{CQ}$ 。



(七) 为什么要设置静态工作点

由于三极管输入特性曲线存在死区，输入信号中信号幅度低于死区的信号不能正常放大。

(八) 怎样设置一个合适的静态工作点 (改变 R_b 的值)

Q_1 过低，输入信号中的负半周将进入截止区。

Q_2 过高，输入信号中的正半周将进入饱和区。

Q 点，动态范围最大

二、作业：

P₆₀: 2、

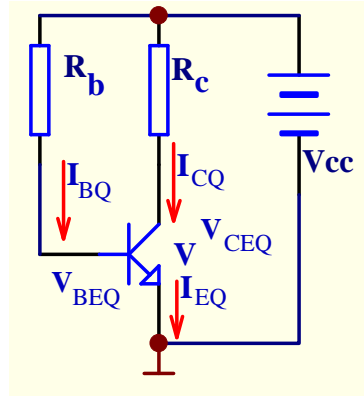
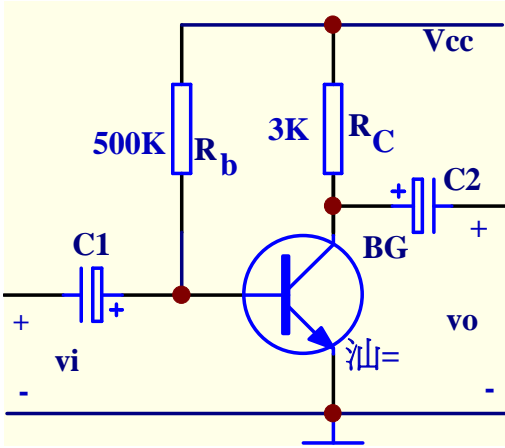


第 17 课时

课 题：估算法、解图法分析放大器

eg 1:某放大器如图所示，用估算法求静态工作点

解：（1）画出直流通路

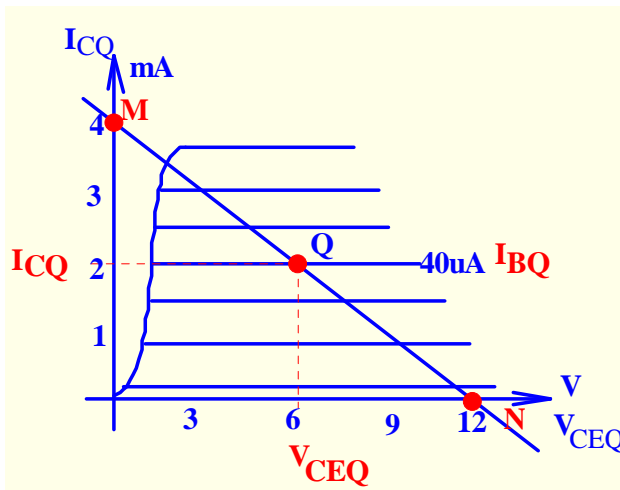


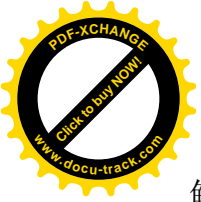
$$(2) I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b} = \frac{15V}{500K} = 30\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 30 \times 100 = 3mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 15V - 3mA \times 3K = 6V$$

eg 2:某放大器 $R_b=300K, V_{CC}=12V, R_C=3K$,输出特性曲线如图所示,确定静态工作点.





解:(1)确定直流负载线:

$$N: (0,12V)$$

$$M: \left(\frac{V_{CC}}{R_C}, 0\right)$$

(2)估算 I_{BQ}

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b} = \frac{12V}{300K} = 40\mu A$$

(3)向横坐标、纵坐标作垂线得 V_{CEQ} 、 I_{CQ}

$$V_{CEQ} = 6V \quad I_{CQ} = 2.1mA$$



第 18 课时

课 题：放大原理

教学目的：1、掌握交流通路的画法；
2、放大原理的实质。

教学重点：1、交流通路的画法；
2、放大原理的过程。

教学内容：

一、交流通路

(一) 定义：

放大器的交流等效电路，即交流信号的流经途径。

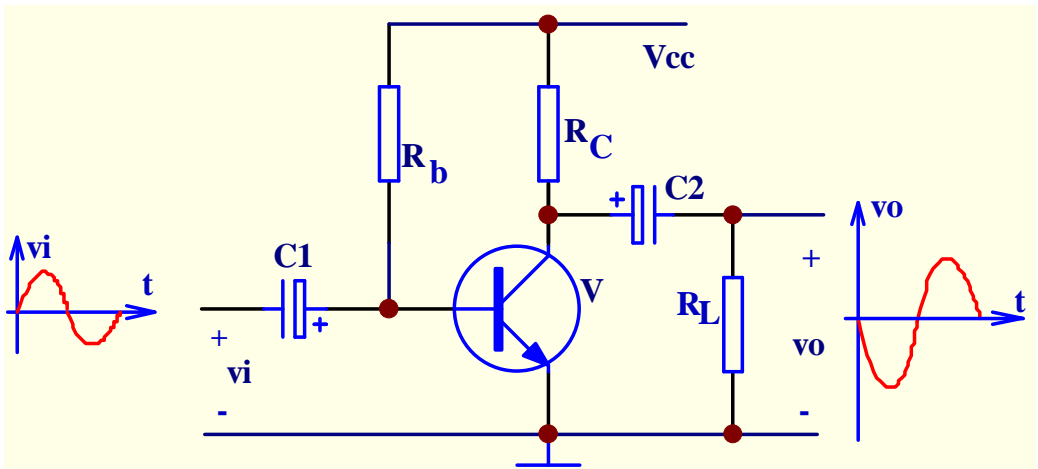
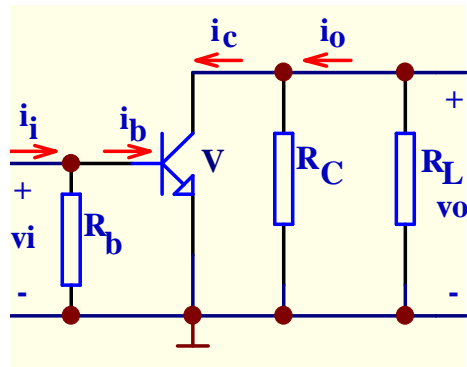
(二) 画法：

- 1、将大容量的电容视为短路；
- 2、将直流电源视为短路；
- 3、整流。

(三)基本放大电路的交流通路

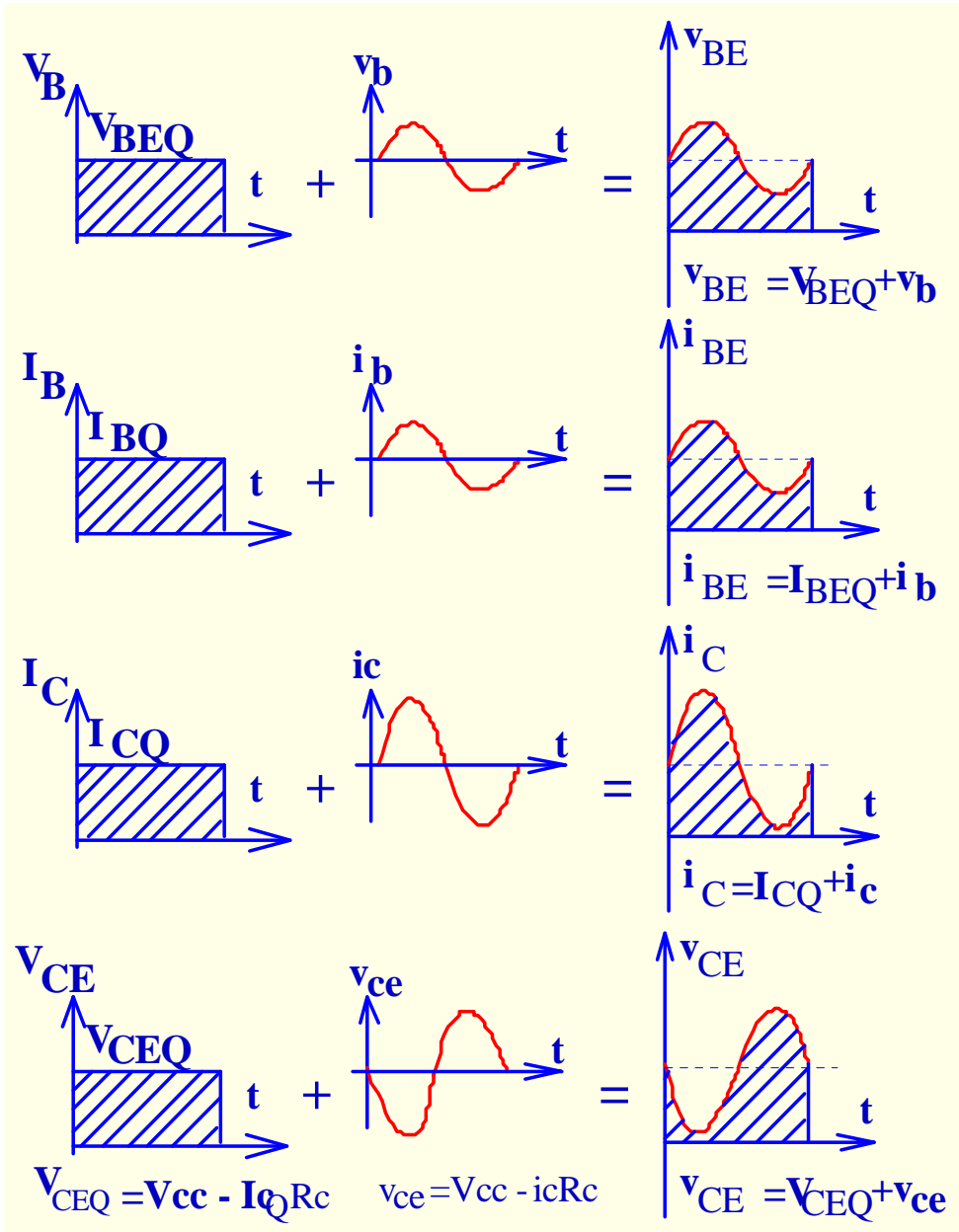
二、放大原理

(一) 电路图





(二) 工作过程:



(二) 特点:

1、 $v_i \rightarrow i_b \rightarrow i_c \rightarrow i_c R_c \rightarrow v_{ce} \rightarrow v_o$ 变

$i_c = \beta i_b \rightarrow$ 放大作用

2、 v_b 、 V_{BE} 、 i_b 、 i_c 四者同相位

v_o (V_{CE}) 与 v_i (v_b) 的相位相反

即: 基本放大电路具有两大功能 $\left\{ \begin{array}{l} \text{放} \\ \text{倒} \end{array} \right.$



第 19 课时

课 题：基本放大电路的分析方法

教学目的：1、掌握放大器的常用指标

2、掌握放大倍数两种表示方法

教学重点：放大倍数两种表示方法及之间的转换

教学内容：

一、放大倍数

(一) 电压放大倍数 A_v

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

(二) 电流放大倍数 A_i

$$A_i = \frac{I_o}{I_i}$$

(三) 功率放大倍数 A_P

$$A_P = \frac{P_o}{P_i}$$

(四) A_P 、 A_v 、 A_i 的关系

$$A_P = \frac{P_o}{P_i} = \frac{V_o \cdot I_o}{V_i \cdot I_i} = A_v \cdot A_i$$

(五) 放大器的增益：

放大倍数用常用对数表示叫增益，用“G”表示

1、功率增益 G_P

$$G_P = \lg A_P (\text{B}) \text{ 贝尔}$$

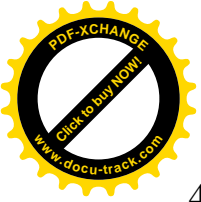
$$G_P = 10 \lg A_P (\text{dB}) \text{ 分贝}$$

2、电压增益 G_V

$$G_V = 20 \lg A_v (\text{dB})$$

3、电流增益 G_i

$$G_i = 20 \lg A_i (\text{dB})$$



4、 G_P 、 G_V 、 G_I 之间的关系

$$G_P = \frac{G_V + G_I}{2}$$

二 eg:

1、 $A_V=100$ ， $A_i=10$ ，求 G_V 、 G_i 、 G_P 、 A_P 。

解： $A_P = A_V \cdot A_i = 100 \times 10 = 1000$

$$G_V = 20\lg A_V = 20\lg 100 = 40\text{dB}$$

$$G_i = 20\lg A_i = 20\lg 10 = 20\text{dB}$$

$$G_P = 10\lg A_P = 10\lg 1000 = 30\text{dB}$$

2、已知 $G_P=60\text{dB}$ ， $G_V=80\text{dB}$ ，求 G_i 、 A_i 、 A_V 、 A_P 。

解： $G_P = \frac{G_V + G_i}{2} \Rightarrow G_i = 2G_P - G_V = 120\text{dB} - 80\text{dB} = 40\text{dB}$

$$20\lg A_V = 80\text{dB}$$

$$A_V = 10^4$$

$$20\lg A_i = 40\text{dB}$$

$$A_i = 10^2$$

$$10\lg A_P = 60\text{dB}$$

$$A_P = 10^6$$

三、作业：

P_{60} : 3



第 20 课时

课 题：放大器的输入、输出电阻、通频带。

教学目的：1、了解输入电阻、输出电阻的概念。

2、掌握通频带的特点。

教学重点：1、输入、输出电阻的求法。

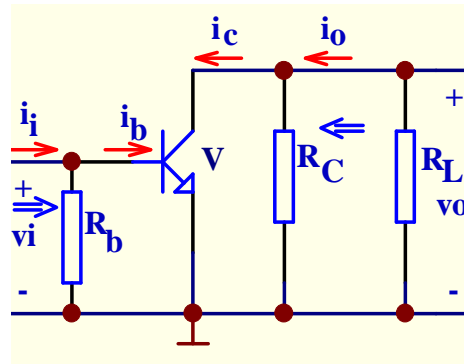
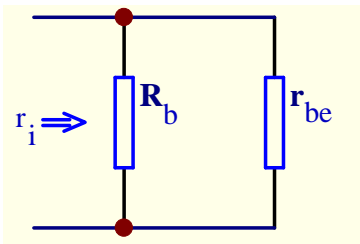
2、通频带的概念。

教学内容：

一、输出电阻 r_i

(一) 定义：从放大器输入端（除开信号源）看进去的交流等效电阻。

$$r_i = \frac{v_i}{i_i}$$



$$r_i = R_b // r_{be} \approx r_{be}$$

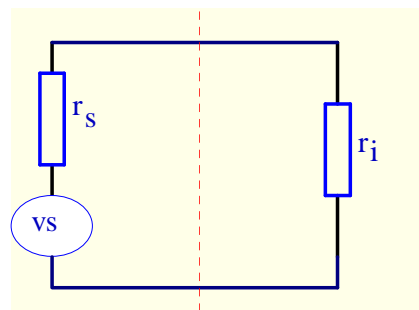
$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}}$$

是三极管的输入交流等效电阻

r_i 越大越好，

r_i 越大，放大器要求信号源提供信号电流越小信号源的负担越轻。

r_i 越大，信号源内阻 r_s 上损耗的能量越少，反之越多

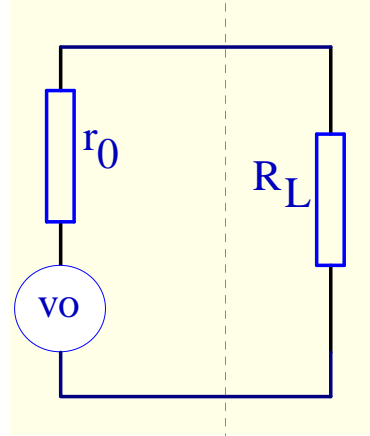
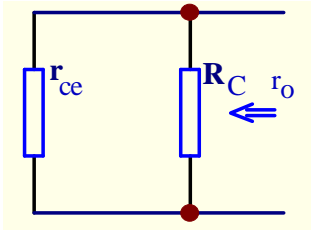


二、输出电阻 r_o

(一) 定义:

从放大器的输出端 (除开 R_L) 看进去的交流等效电阻。

(二) 等效电路



(三) 求法

$$r_o = r_{ce} // R_C \approx R_C$$

r_o 越小越好, 越小带负载能力越强

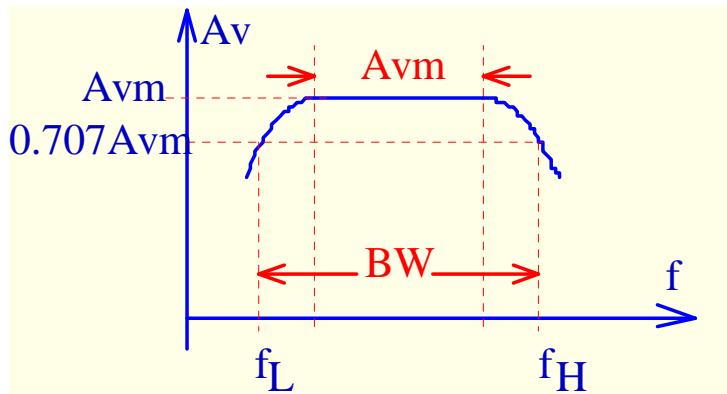
r_o 越小 v_o 在 r_o 上损耗越小, R_L 得到的能量越多

三: 通频带 BW

(一) 几个概念

- 1、中频区: 放大倍数高且稳定 A_{vm}
- 2、下限截止频率 f_L $f \downarrow \rightarrow A_v \downarrow \rightarrow 0.707A_{vm}$ 时
- 3、上限截止频率 f_H $f \uparrow \rightarrow A_v \downarrow \rightarrow 0.707A_{vm}$ 时
- 4、通频带 BW $BW = f_H - f_L$

(二) 用坐标表示





(三) 关系

1、中频区与通频带的关系：

中频区小于通频带。

2、低频段、高频段放大倍数下降的原因：

(1) 低频段:a.输入耦合电容

b.射极旁路电容

(2) 高频段： a 结电容

b 分布电容

四、作业：

P₆₁： 5、 6、



第 21 课时

课 题：放大器的分析方法

教学目的：1、分析方法的种类；
2、分析参数

教学重点：参数

教学内容：

一、分析方法

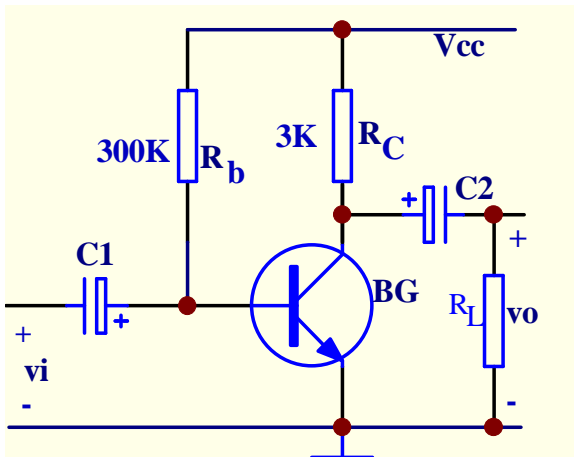
- (一) 估算法
- (二) 图解法
- (二) 微变等效电路分析法

二、估算法

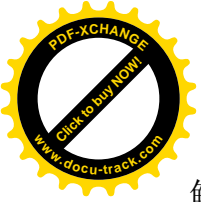
- (一) 静态工作状态
 - 1、静态直流通路
 - 2、静态工作点 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 I_{EQ} 、 V_{BEQ} 、 V_{CEQ} 、 r_{be}
- (二) 动态工作状态
 - 1、交流通路
 - 2、动态等效 r_i 、 r_o 、 A_{VO} 、 A_{VL}

三、例子

eg: $\beta = 50$, $V_{CC} = 12V$, 其它参数如图



- 求
- 1、静态工作点
 - 2、 r_{be}
 - 3、 r_i 、 r_o 、 A_{VO} 、 A_{VL}



解：（一）静态工作点

- 1、画直流通路
- 2、静态工作量

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b} = \frac{12V}{300K} = 40\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 50 \times 40\mu A = 2mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C = 12 - 2mA \times 3K = 6V$$

- 3、 r_{be}

$$\begin{aligned} r_{be} &= 300 + (1 + \beta) \frac{26mA}{I_{EQ}} \\ &= 300 + (1 + 50) \frac{26mV}{2mA} \\ &= 0.963K \end{aligned}$$

（二）动态参数

- 1、交流通路

- 2、 r_i

$$r_i = R_b // r_{be}$$

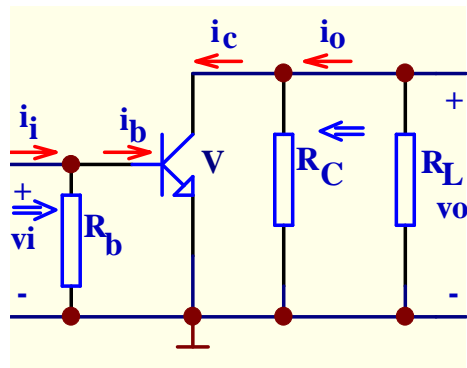
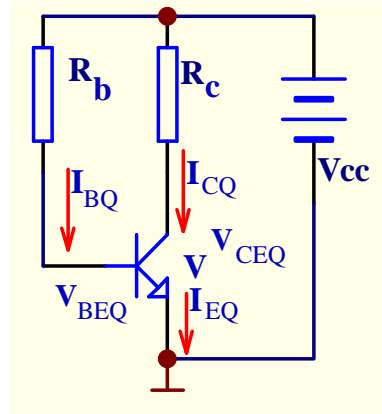
- 3、 r_o

$$r_o = R_C // r_{ce} \approx r_{be} = 0.963K$$

$$4、A_{VO} = \beta \frac{R_L}{r_{be}} = -\beta \frac{R_C}{r_{be}} = -50 \frac{3k}{0.963k} = -155.8 \text{ 倍}$$

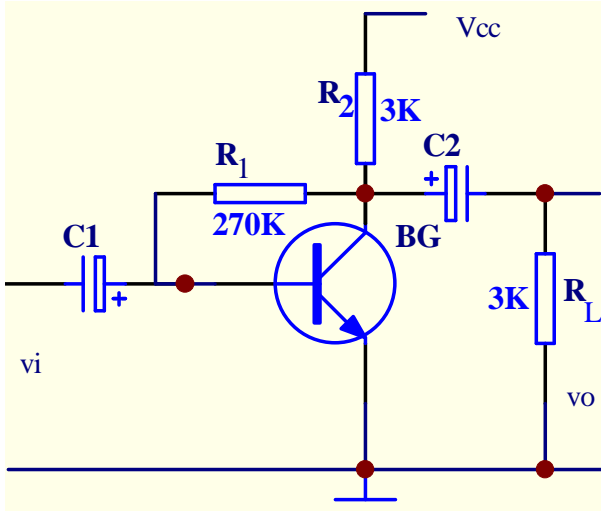
$$A_{VL} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}} = -50 \frac{3K // 3K}{0.936K} = -77.9 \text{ 倍}$$

“ - ” 表输出与输入反相

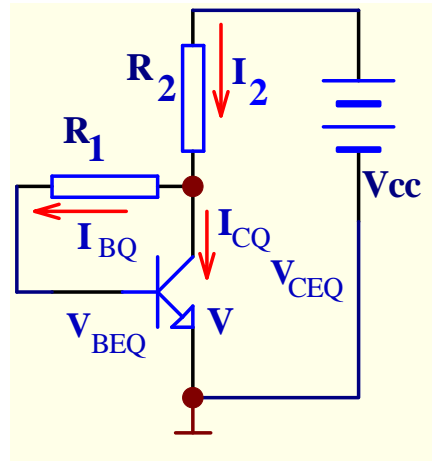




eg: 已知 $\beta = 40$, $V_{CC} = 20V$, 其它参数如图



1、直流通路



2、静态工作点

$$I_2 R_2 + I_{BQ} R_1 + V_{BEQ} = V_{CC}$$

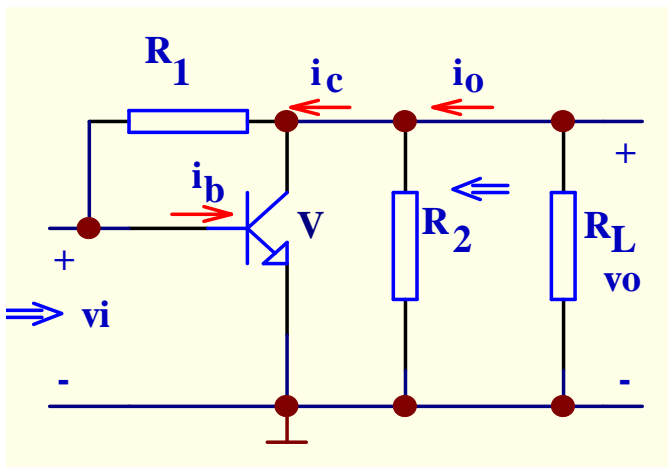
$$(1 + \beta) I_{BQ} R_2 + I_{BQ} R_1 = V_{CC} - V_{BEQ}$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{(1 + \beta) R_2 + R_1} = \frac{20}{123K + 270K} = \frac{20}{393K} \approx 51 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 40 \times 51 = 2 mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_2 = 20V - 2mA \times 3K = 14V$$

3、交流通路



$$r_{be} = 300 (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 0.963K$$



$$r_i = [R_1 + (1 + \beta)(R_C // R_2 // r_{ce})] // r_{be}$$

$$\approx r_{be} = 0.963K$$

$$r_o = R_2 // r_{ce} // \frac{R_1 + r_{be}}{1 + \beta}$$

$$A_{VL} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} = -40 \frac{R_L // R_L}{r_{be}} = -40 \frac{3K // 3K}{0.963K} = -77.9 \text{倍}$$

四、作业：

P₆₁: 10、11

第 22 课时



课 题：图解法分析放大器

教学目的： 1、直流、交流负载线的画法
2、图解法分析放大器

教学重点：图解法定性分析放大器

教学内容：

一、交流负载线的画法

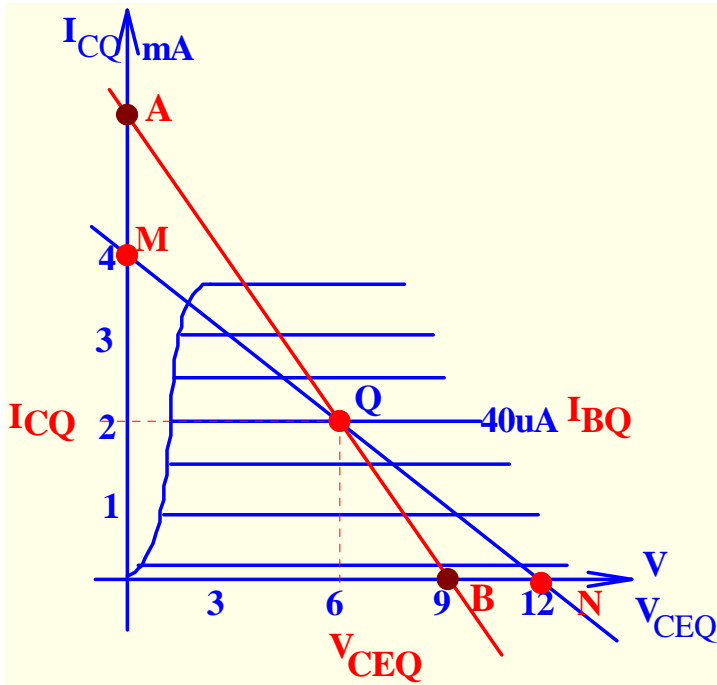
(一) 确定一个点 B (V_{CC}' , 0)

$$V_{CC}' = V_{CEQ} + I_{CQ} R_L'$$

(二) 连接 B Q 点并延长交纵轴于点 A。

(三) A B 就是交流负载线。

二、eg:放大器 $V_{CC}=12V$, $R_b=300k$, $R_C=3K$, $R_L=3K$.



根据直流负载线可知： $V_{CEQ}=6V$, $I_{CQ}=2Ma$

$$V_{CC}' = V_{CEQ} + I_{CQ} R_L' = 6V + 2mA \times 1.5K = 9V$$

即： B (9, 0)

三、交流负载线与直流负载线的区别与联系。

(一) 直流负载线反映静态时电流、电压的变化关系，用来确定静态工作点 Q 。

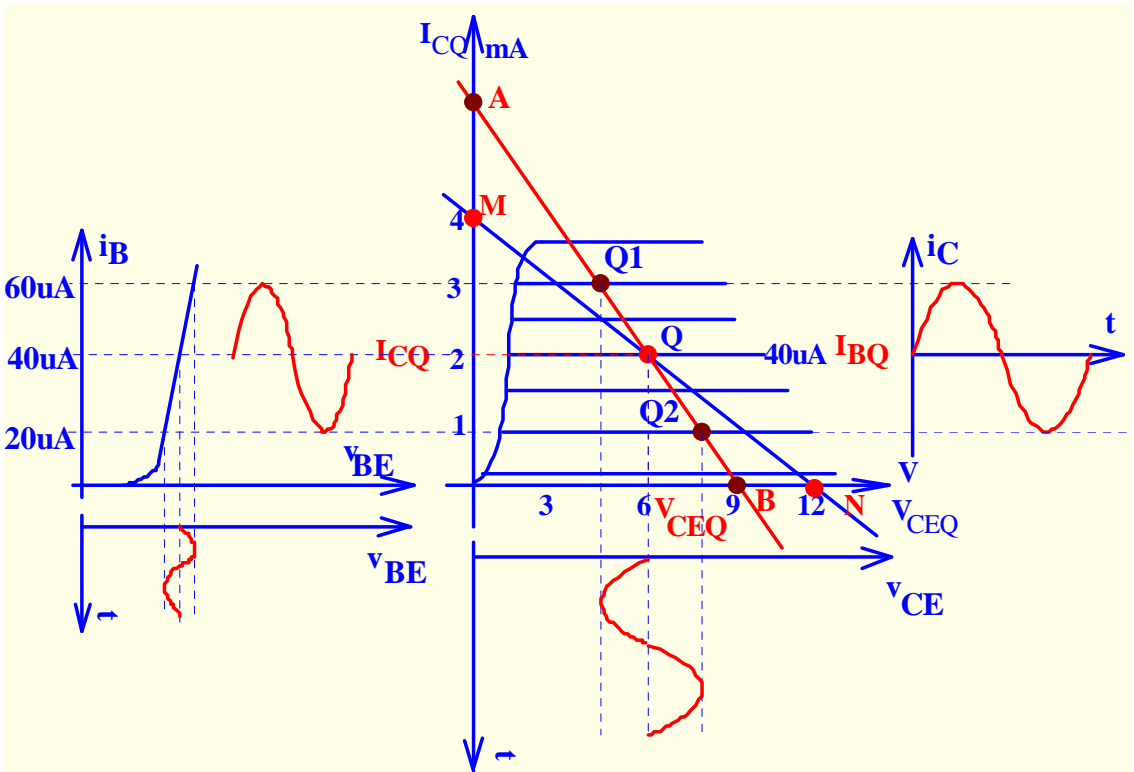
交流负载线反映了动态时电流、电压的变化关系，用来决定动态 i_b 、 i_c 、 v_{ce} 的变化情况。

(二) 交、直流负载线必然通过 Q 点。

(三) 交流负载线比直流负载线更陡。 $(\frac{1}{R'_L}, \frac{1}{R_C})$

输入电压相同时，接入 R_L 后输出电压幅度将下降， $R_L = \infty$ 时，交直流负载线重合。

四：图解分析的动态情况





课 题：图解法与非线性失真

教学目的：1、掌握图解法与放大器的工作情况

2、掌握图解法与非线性失真的关系

教学重点：图解法与非线性失真的关系

教学内容：

一、非线性失真

(一) 定义

由于晶体管的非线性所产生的输出信号与输入信号不一致的情况

(二) 原因

- 1、非线性器件
- 2、静态工作点位置选择不合适
- 3、输入信号较大

(三) 类型

{	饱	过
	截	高
	输	输入信号过大

(四) 解决方法

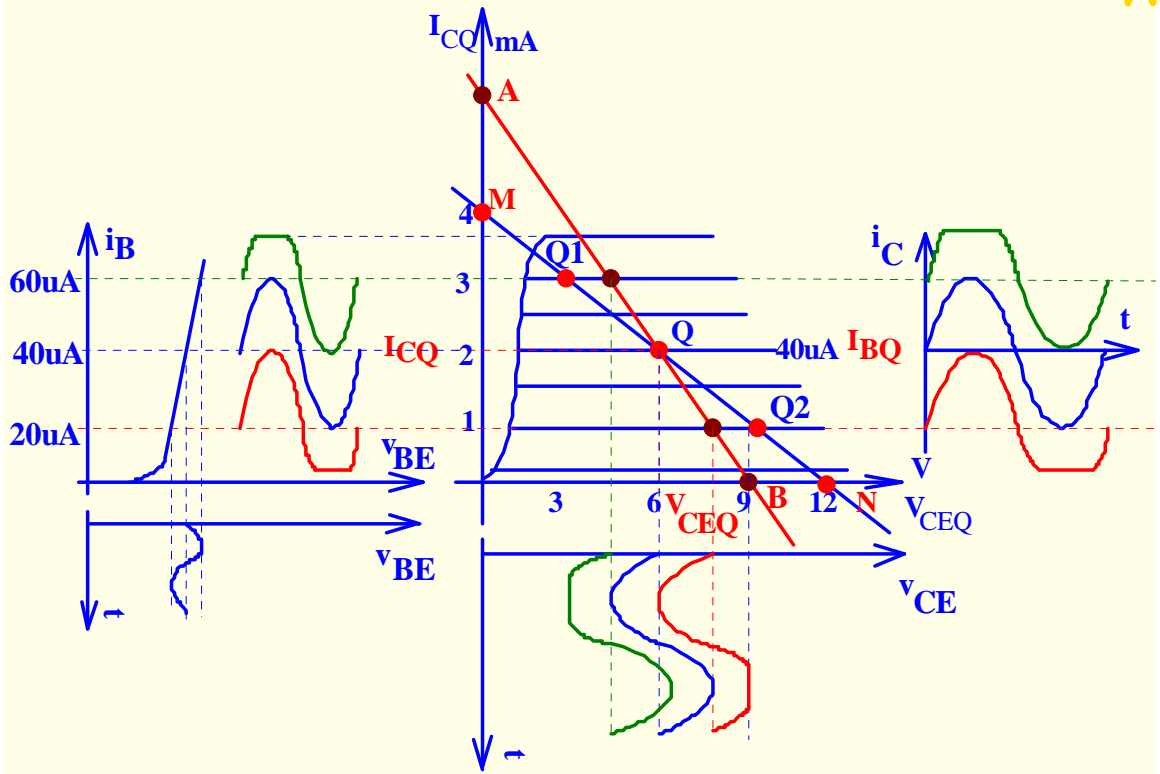
二、图解法与非线性失真的关系

(一) 如果静态工作点选在 Q_2 ，加上输入交流信号后 i_B 、 i_C 的负半周将进入截止区、负半周被削去一部分，由于输出与输入反相，由而 v_{CE} 正半周削去一部分，造成截止失真。

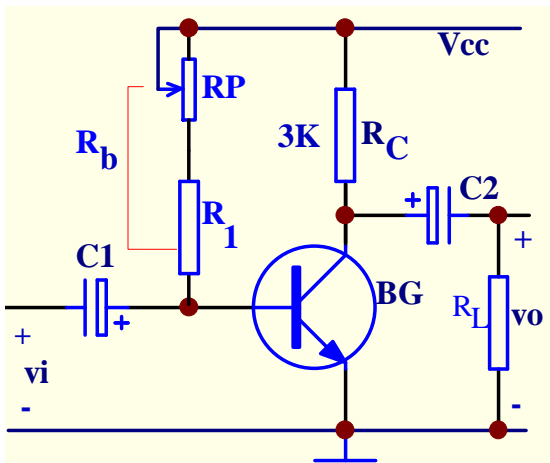
即：静态工作点过低，造成截止失真。

(二) 如果静态工作点选在 Q_1 ，加上输入交流信号后 i_B 、 i_C 的正半周将进入饱和区，正半周被削去一部分，由于输出与输入反相，因而 v_{CE} 的负半周被削去一部分，造成饱和失真。

即：静态工作点过高，造成饱和失真。



三、改变静态工作点的电路图



1、静态工作点过低，调节 RP，减小 R_b ；提高 I_{BQ} 。

2、静态工作点过高，调节 RP，增大 R_b ；减小 I_{BQ} 。



第 24 课时

课 题：分压成偏置电路(一)

教学目的：1、掌握分压式放大电路的结构
2、掌握稳定静态工作点的原理
3、掌握放大电路的分析方法

教学重点：1、分压式放大电路的结构
2、稳定表态工作点的原理
3、分析方法

教学内容：

一、基本放大电路（固定偏置电路）受温度影响情况

$$t \uparrow \rightarrow T^\circ \uparrow \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_{CBO} \uparrow \\ \beta \uparrow \\ V_{BEQ} \downarrow \end{array} \right\} \rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow V_{CEQ} \downarrow \rightarrow v_o \downarrow$$

二、分压式偏置电路的结构及工作原理

(一) 电路结构

(二) 元件作用

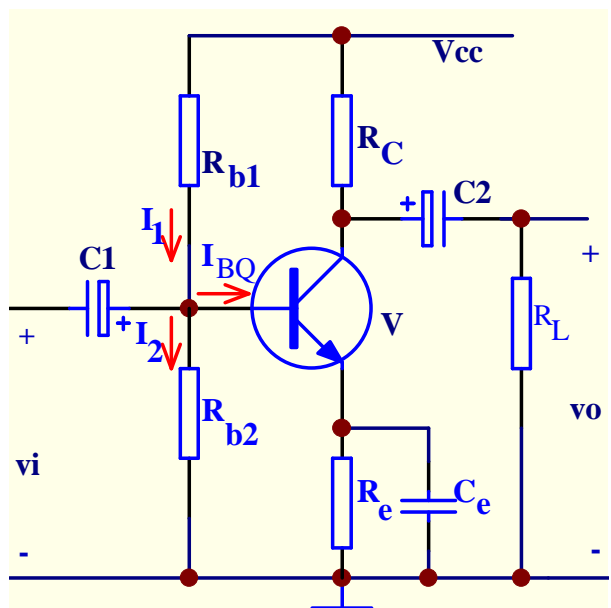
1、 R_{b1} : 上偏流电阻

2、 R_{b2} : 下偏流电阻

R_{b1} 和 R_{b2} 提供一个稳定的基极电压 V_{BQ}

3、 R_e : 发射极电阻，
直流负反馈、稳定静态工作点

4、 C_e : 交流旁路电容，提供交流通路，消除交流信号在 R_e 上能量损耗。





V_{BQ} 的计算:

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = I_2 + I_{BQ} \\ I_{BQ} \ll I_2 \end{array} \right\} \Rightarrow I_1 = I_2$$

$$V_{BQ} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \times V_{CC}$$

上式说明 V_{BQ} 的大小与三极管的参数无关, 只由 V_{CC} 、 R_{b1} 、 R_{b2} 的大小决定。

(三) 静态工作点的稳定过程

1、固定式

$$T^{\circ} \uparrow \rightarrow I_{CBO} \uparrow, B \uparrow, I_{CEQ} \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow V_{CEQ} \downarrow \rightarrow v_O \downarrow$$

2、分压式

$$T^{\circ} \uparrow \rightarrow I_{CBO} \uparrow, \beta \uparrow, I_{CEO} \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow V_{EQ} \uparrow$$

$$V_{BEQ} \downarrow \rightarrow I_{BQ} \downarrow \rightarrow I_{CQ} \downarrow \rightarrow V_{CEQ} \text{不}$$

$$(V_{BEQ} = V_{BQ} - V_{EQ})$$

输出不变、工作稳定

三、作业

P₆₁: 8、12



第 25 课时

课 题：分压式偏置电路(二)

教学目的：1、掌握分压式偏置电路结构

2、掌握分压式放大器稳定表态工作点的原理

3、当析方法

教学重点：掌握分压式放大器稳定静态工作点的原理

教学内容：

一、静态工作点的计算

(一) 固定式：

$$I_{BQ} \rightarrow I_{CQ} \rightarrow V_{CEQ}$$

(二) 分压式

1、直流通路

$$V_{BQ} \rightarrow I_{CQ} \rightarrow I_{BQ} \rightarrow V_{CEQ}$$

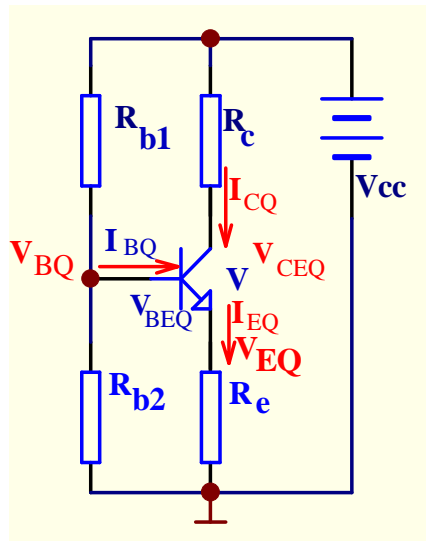
$$(1) V_{BQ} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \times V_{CC}$$

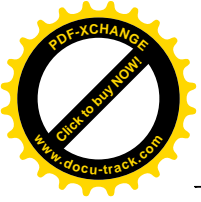
$$V_{EQ} = V_{BQ} - V_{BEQ}$$

$$(2) I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{V_{EQ}}{R_e}$$

$$(3) I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta}$$

$$(4) V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c - I_{EQ}R_e = V_{CC} - I_{CQ} \times (R_c + R_e)$$





二、例子

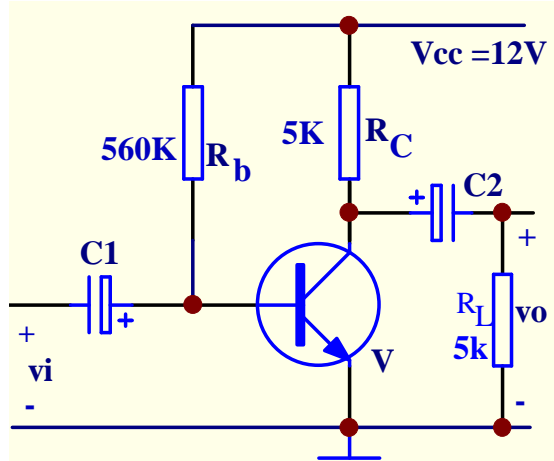
下列两个图中， $\beta = 50$ ， $V_{BEQ} = 0.7$

求：1、两个电路的静态工作点

2、 $\beta = 100$ ，工

?

德

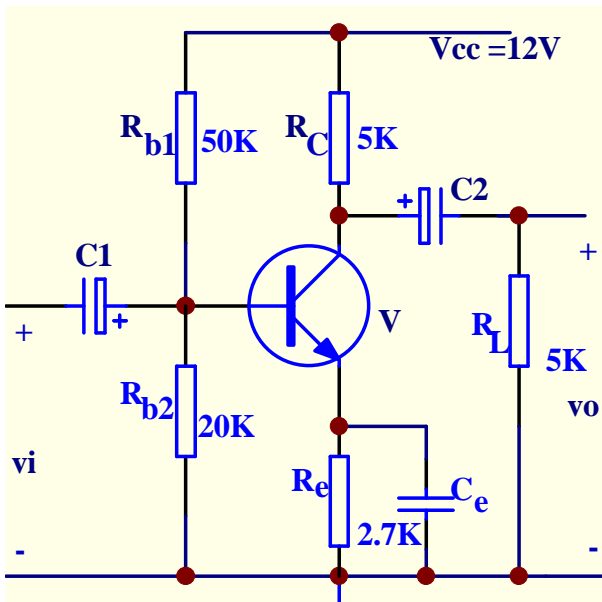


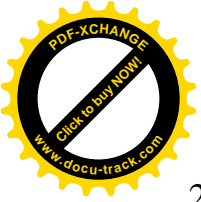
解：1、固定偏置电路

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b} = \frac{12V - 0.7V}{560K} = 0.02mA = 20\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 50 \times 20\mu A = 1mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 12V - 1mA \times 5K = 7V$$





2、分压式偏置电路

$$V_{BQ} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} = \frac{20K}{50K + 20K} \cdot 12V = 3.4V$$

$$V_{EQ} = V_{BQ} - V_{BEQ} = 3.4V - 0.7V = 2.7V$$

$$I_{CQ} = I_{EQ} = \frac{V_{EQ}}{R_c} = \frac{2.7V}{2.7K} = 1mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{1mA}{50} = 20\mu A$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e) = 12V - 1mA(5K + 2.7K) = 4.3V$$

计算结果： I_{BQ} 、 I_{CQ} 相等。

3、 β 由 50 \rightarrow 100 后：

固定偏置电路：

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 2mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c = 12V - 2mA \times 5K = 2V$$

分压式偏置电路：

$$I_{CQ} = 1mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 10\mu A$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e) = 4.3V$$

温度升高 $\rightarrow \beta \uparrow \rightarrow \begin{cases} V_{CEQ1} & \text{下} \\ V_{CEQ2} & \text{不} \end{cases}$

三、作业。



第 26 课时

课 题：分压式偏置电路（三）

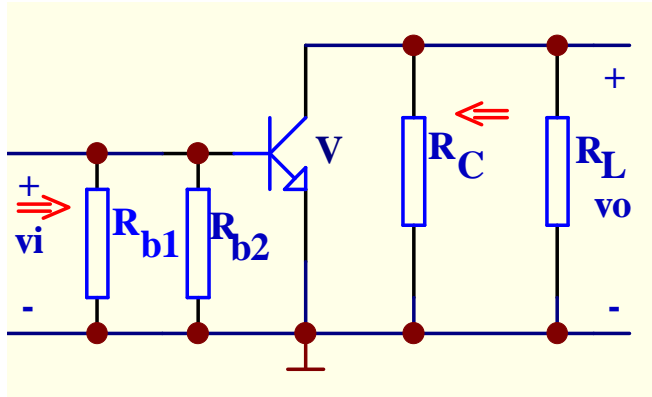
教学目的：掌握分压式偏置电路 r_i 、 r_o 、 A_V 的计算

教学重点： r_i 、 r_o 、 A_V 的计算

教学内容：

一、 r_i 、 r_o 、 A_V 的计算

（一）交流通路



（二） r_i

$$r_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$$

（三） r_o

$$r_o = r_{ce} // R_C \approx R_C$$

（四）空载： $A_V = -\beta \frac{R_L}{r_{be}}$

$$\text{有载：} A_{VL} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} = \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

$$R'_L = R_C // R_L$$

二、eg:

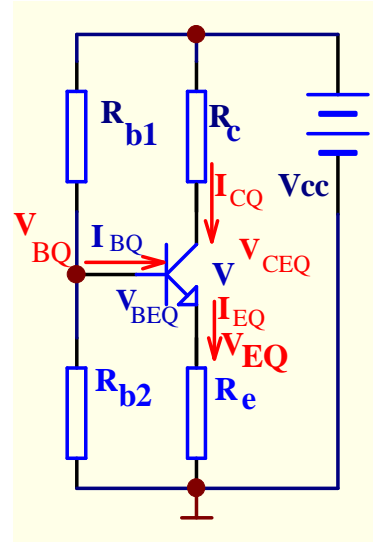
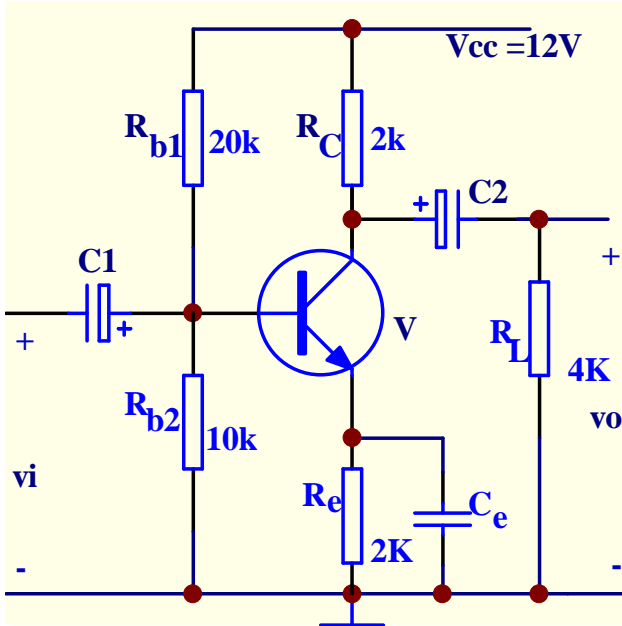
如图所示： $\beta = 50$ ， $V_{CC} = 12V$ ，其它参数如图

求：1、画直流通路

2、静态工作点

3、画交流通路

4、动态参数 r_i ， r_o ， A_{VL}



解： 1、静态工作点

(1) 画直流通路

$$(2) V_{BQ} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} = \frac{10K}{20K + 10K} \times 12V = 4V$$

$$V_{EQ} = V_{BQ} - V_{BEQ} = 4 - 0.7 = 3.3V$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{V_{EQ}}{R_e} = \frac{3.3V}{2K} = 1.65mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{1.65mA}{50} = 33\mu A$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_e + R_c) = 12V - 1.65mA \times 4K = 5.4V$$

2、计算动态参数

(1) 画交流通路

$$(2) r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQmA}}$$

$$= 300 + (1 + 50) \frac{26mV}{1.65mA}$$

$$\approx 1.1K$$



$$R'_L = R_C // R_L = \frac{R_C // R_L}{R_C + R_L} = \frac{2 \times 4}{2 + 4} = \frac{8}{6} = 1.33K$$

$$V_{VL} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} = -50 \times \frac{1.33K}{1.1K} = -60.5$$

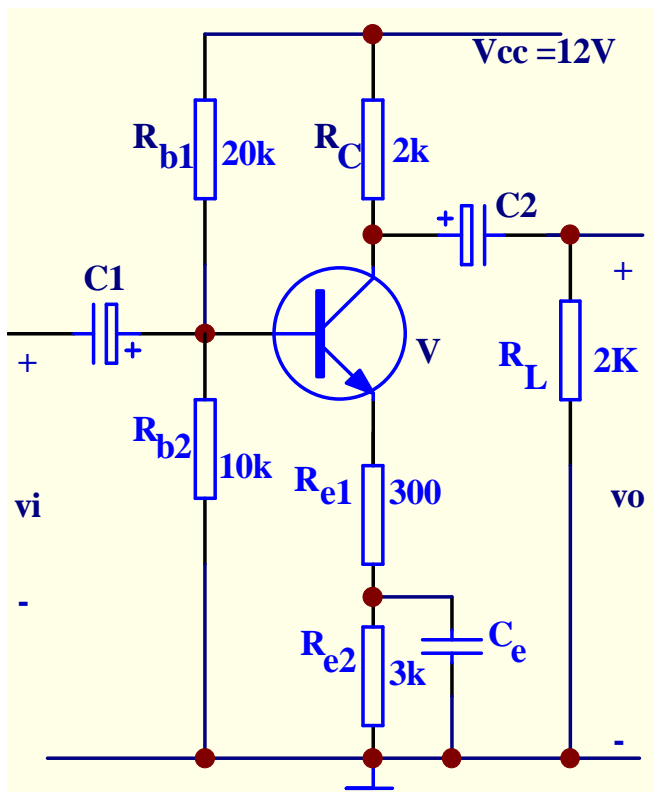
$$r_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} = 20k // 10k // 1.1k \approx 0.94 K$$

$$r_o = R_C = 2K$$

三、eg: 已知 $\beta = 50$

求: 静态工作点, 画直流通路

r_i 、 r_o 、 A_{VL} 、画交流电路



四、作业:

P₆₁: 14



第 27 课

课 题：共集电极放大电路

- 教学目的：
- 1、共集电极电路结构
 - 2、共集电极电路特点及应用
 - 3、共集电极电路的分析

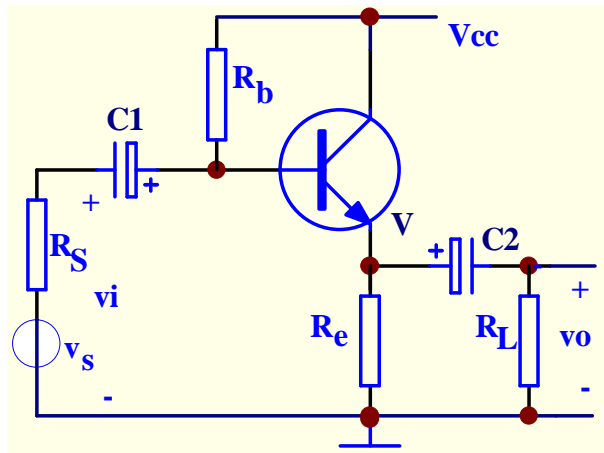
- 教学重点：
- 1、共集电极电路静态、动态分析
 - 2、共集电极电路的特点及应用

教学内容：

一、共集电极电路

(一) 电路图

输入信号加到基极，输出信号从发射极取出，集电极是公共端。



(二) 静态工作点

- 1、直流通路
- 2、静态量

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e}$$

$$I_{EQ} = (1 + \beta)I_{BQ}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_e$$

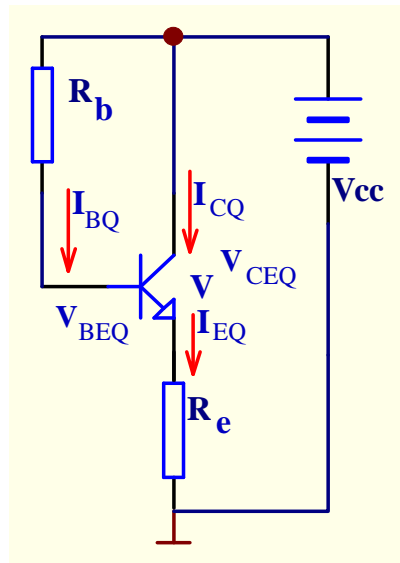
(三) 电路特点

- 1、交流通路
- 2、特点

(1) 输出信号与输入电压同相且略小于输入电压

$$V_i = V_{be} + V_o \quad V_o = V_i - V_{be}$$

即： $A_{v \leq 1}$ ，只有电流、功率放大作用、无电压放大作用

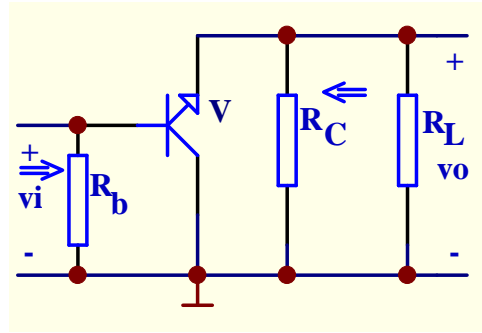


(2) 输入电阻大

$$r_i = R_b // [r_{be} + (1+B)R'_L] \left\{ \begin{array}{l} R_b \gg [r_{be} + (1+B)R'_L] \end{array} \right.$$

$$\approx r_{be} + (1+\beta)R'_L$$

$$R'_L = R_C // R_L$$



(3) 输出电阻小

$$r_o = R_C // \frac{(r_{be} + R_b // R_S)}{1+\beta}$$

$$r_o = \frac{r_{be}}{\beta}$$

(四) 应用:

- 1、 r_i 大 \rightarrow 输 \rightarrow 减
- 2、 r_o 小 \rightarrow 输 \rightarrow 提
- 3、 r_i 大、 r_o 小 \rightarrow 中 \rightarrow 阻

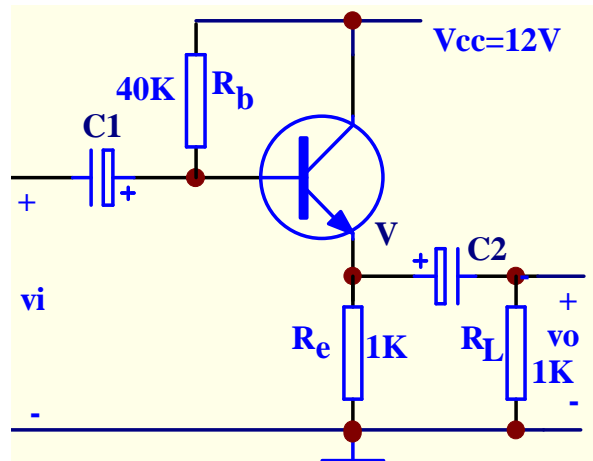
二、eg:

求: 已知 $\beta = 40$, $V_{CC} = 12V$

1、静态工作点

2、求 r_i 、 r_o 。

解: 1、直流通路



2、静态工作点

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b + (1+\beta)R_e} = \frac{12V - 0.7V}{40K + (1+40) \times 1K} \approx 0.14mA$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 40 \times 0.14mA = 5.6mA$$



$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_e = 12V - 5.6mA \times 1K = 6.4V$$

3、交流通路

$$r_i = r_{be} + (1 + \beta)R'_L = 0.49K + (1 + 40) \times 0.5K = 20.99K$$

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{CQ}mA}$$

$$= 300 + (1 + 40) \frac{26}{5.6}$$

$$= 490.2$$

$$R'_L = R_C // R_L$$

$$= 1K // 1K$$

$$= 0.5K$$

$$r_o = \frac{r_{be}}{\beta} = \frac{490}{40} = 12\Omega$$

三、作业：

P₆₁: 15、16



第 29 课时

课 题：共基极放大电路。

教学目的：1、共基极放大电路结构

2、三种组态的判别

3、三种组态的比较

教学重点：1、共基极放大电路

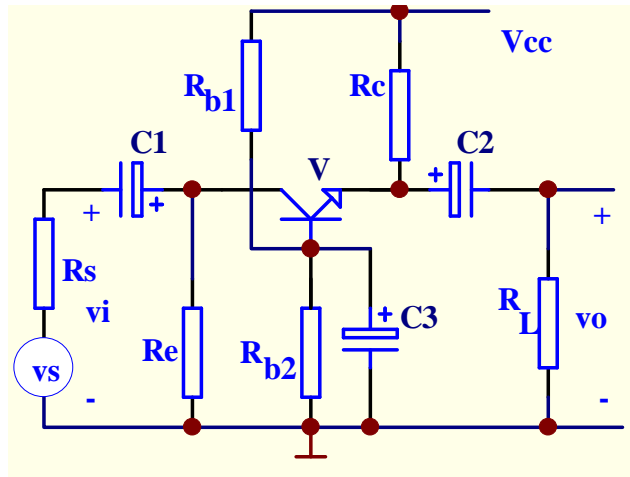
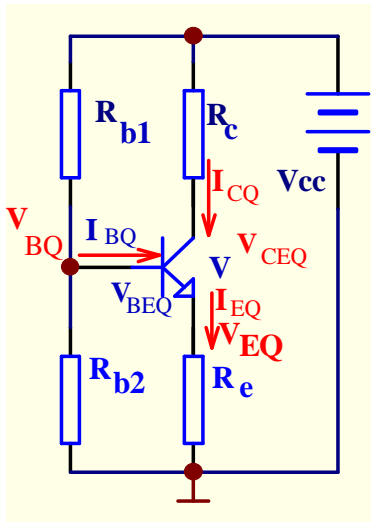
2、三种组态的比较

教学内容：

一、共基极放大电路

(一) 电路图

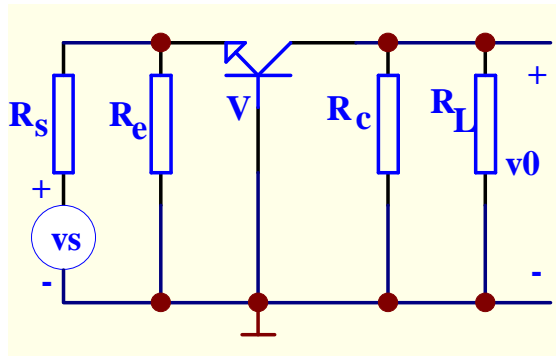
(二) 直流通路：

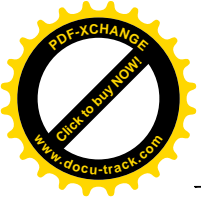


静态工作点的求法与分压式共发射极相同。

(三) 交流电路：

只有电压、功率放大作用，无电流放大作用，应用于放大高频信号。





二、判别三种组态：

- (一) 画出交流通路（交流信号是放大器中的传输途径）
- (三) 分清信号源加在放大器的哪个电极、负载接在放大器的哪个电极。

三、三种放大电路的比较

		共发射极	共集电极	共基极
电路形式				
交、直流通路				
静态工作点的计算				
A_v	大小	$-\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$ (高)	$\frac{(1+\beta)R'_L}{r_{be} + (1+\beta)R'_L} \approx 1$ (低)	$\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$ (高)
	相位	v_o 与 v_i 反相	同相	同相
r_i		r_{be} (中)	$r_{be} + (1+\beta)R'_L$ (高)	$r_{be}/(1+\beta)$ (低)
r_o		R_C (高)	$r_{be}/(1+\beta)$ (低)	R_C (高)
高频特性		差	较好	好
稳定性		较差	较好	较好
用途		多级放大器的输入级、中间级	输入、输出中间	高频、宽频放大

四、作业：

P₆₀: 7



第 30 课时

课 题：多级放大器（一）

- 教学目的：
- 1、了解多级放大器的耦合方式；
 - 2、掌握多级放大器的性能指标；
 - 3、多级放大器分析和计算。

- 教学重点：
- 1、性能指标；
 - 2、多级放大器的分析和计算。

教学内容：

一、多级放大器的耦合方式：

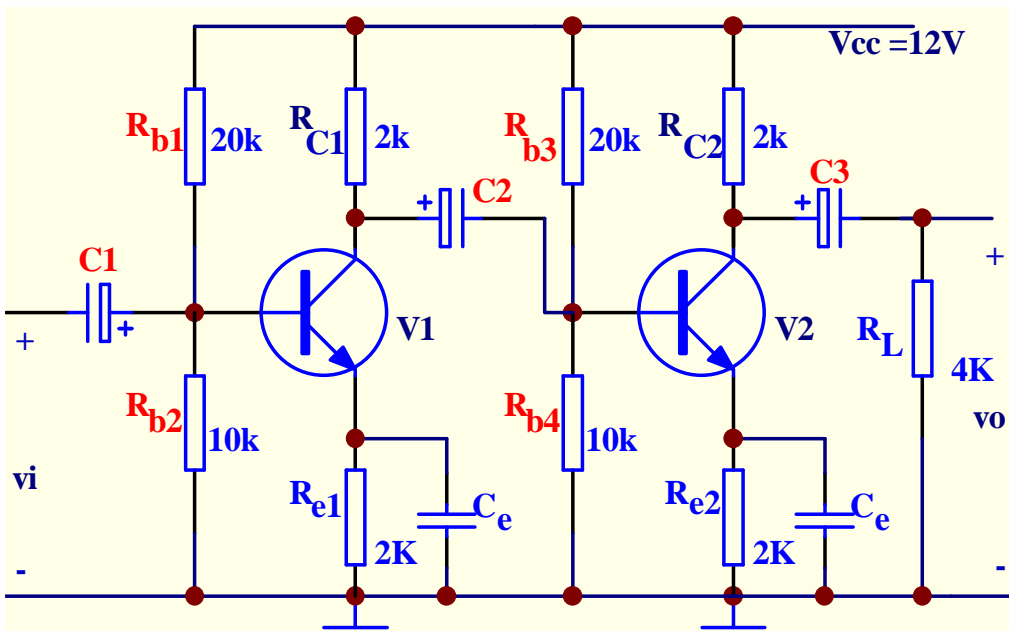
- 阻
- 变
- 直

二、阻容耦合多级放大器：

（一）定义：

利用电容和后一级输入电阻将前级与后级连接起来的耦合方式。

（二）电路图：

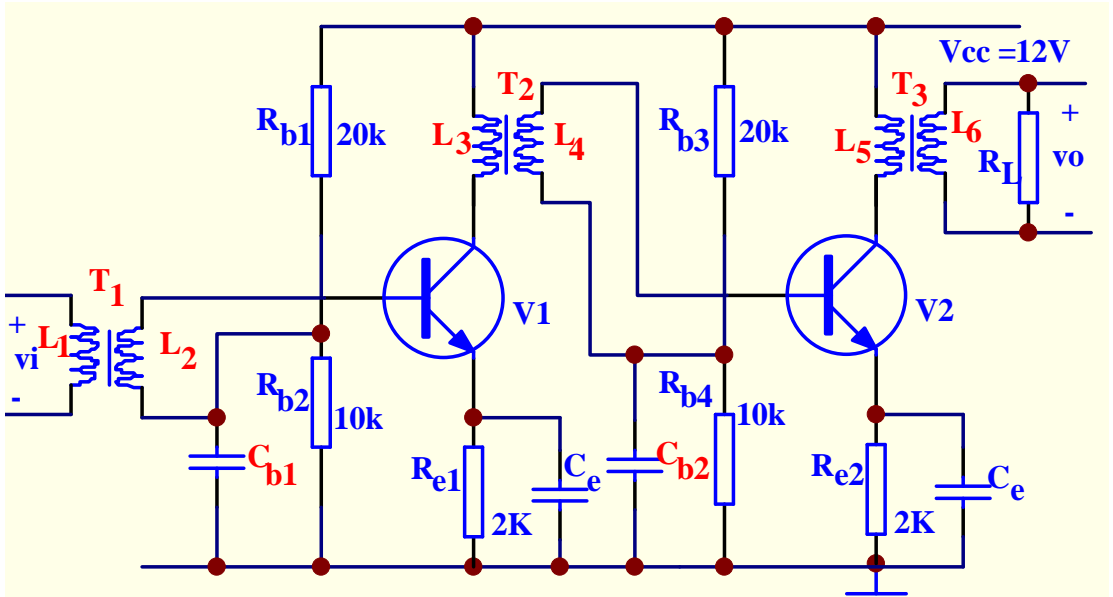


(三) 特点:

- 1、静态工作点互不干扰。
- 2、分析、调整电路带来方便。
- 3、电容有能量损耗。

三、变压器耦合

(一) 电路图:



(二) 特点:

- 1、前后级静态工作点互不影响;
- 2、能实现电路间的阻抗变换, 实现阻抗匹配, 负载获得最大的输出功率;
- 3、体积大、重量重、电磁干扰。

四、直接耦合:

(一) 定义: 前级的输出端与后级的输入端直接相连。

(二) 电路图:

(三) 特点:

- 1、无交流能量损耗;
- 2、静态工作点彼此影响, 相互制约。



第 31 课时

课 题：多级放大器（二）

教学目的：1、了解掌握多级放大器的性能指标；
2、多级放大器的分析与计算。

教学重点：1、性能指标；
2、计算、分析。

教学内容：

一、电压放大倍数。

$$A_V = A_{V1} \cdot A_{V2} \cdots A_{Vn}$$

多级放大器总的放大倍数等于各个单级放大器放大倍数的乘积。

$$G_V = G_{V1}(\text{dB}) + G_{V2}(\text{dB}) + \cdots + G_{Vn}(\text{dB})$$

多级放大器总的增益等于各个单级放大器的增益之和。

二、输入电阻和输出电阻：

输入电阻就是**第一级**的输入电阻，

输出电阻就是**最后一级**的输出电阻。

三、频率特性与通频带：

多级放大器总的通频带比任何一级放大器的通频带都要窄，放大倍数的增加是以**牺牲通频带**为代价。

四、失真：

(一) 种类	{	频	{	幅	(不)
			相			
	{	非	{	饱	(产)
			截	饱		

(二) 原因：

- 1、输入、输出特性曲线均不是直线。
- 2、死区电压的影响。



(三) 措施:

1、采用负反馈

2、克服每一级的失真程度，特别是第一级。

五、作业:

P_{60} : 9



第 32 课时

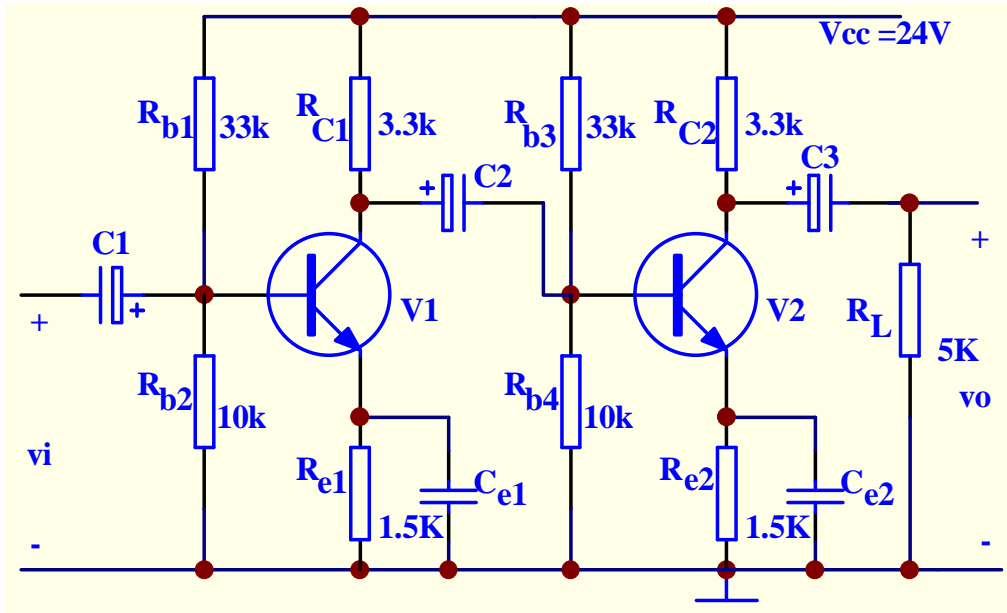
课 题：多级放大器（三）

教学目的：掌握多级放大器的分析、计算。

教学重点：分析、计算

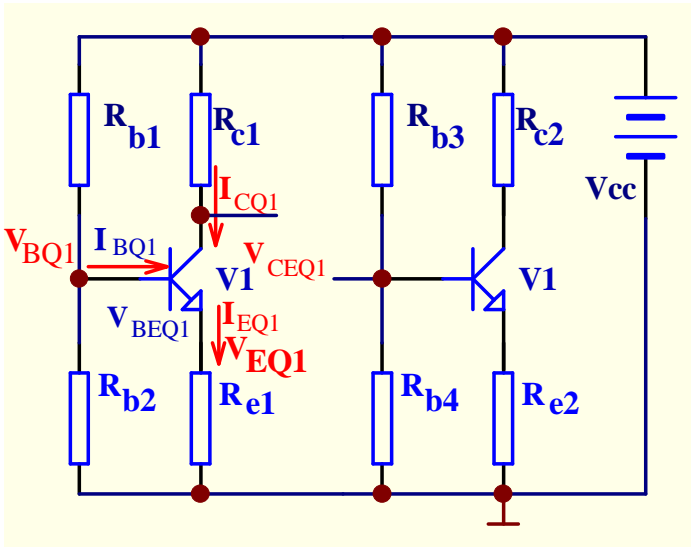
教学内容：

一、电路如图所示： $\beta_1 = \beta_2 = 60$, 参 。



- 求：
- 1、画出直流、交流通路；
 - 2、求各级的静态工作点；
 - 3、求 r_i 、 r_{i2} 、 r_o ；
 - 4、空载放大倍数；
 - 5、有载放大倍数；
 - 6、 C_{e2} 开路对电路有什么影响。

解：1、直流通路：



2、静态工作点的计算：

$$V_{BQ1} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \times V_{CC} = \frac{10K}{33K + 10K} \times 24V = 5.6V$$

$$I_{CQ1} \approx I_{EQ1} = \frac{V_{BQ1} - V_{BEQ1}}{R_{e1}} = \frac{5.6V - 0.7V}{1.5K} \approx 3.3mA$$

$$I_{BQ1} = \frac{I_{CQ1}}{\beta} = \frac{3.3}{60} = 55\mu A$$

$$V_{CEQ1} = V_{CC} - I_{CQ1}R_{C1} = 24V - 3.3mA \times 3.3K = 12V$$

$$r_{be1} = 300 + (1 + \beta_1) \frac{26mV}{I_{EQ1}} = 300 + (1 + 60) \frac{26mV}{3.3mA} = 0.79K$$

由于两级电路参数完全对标

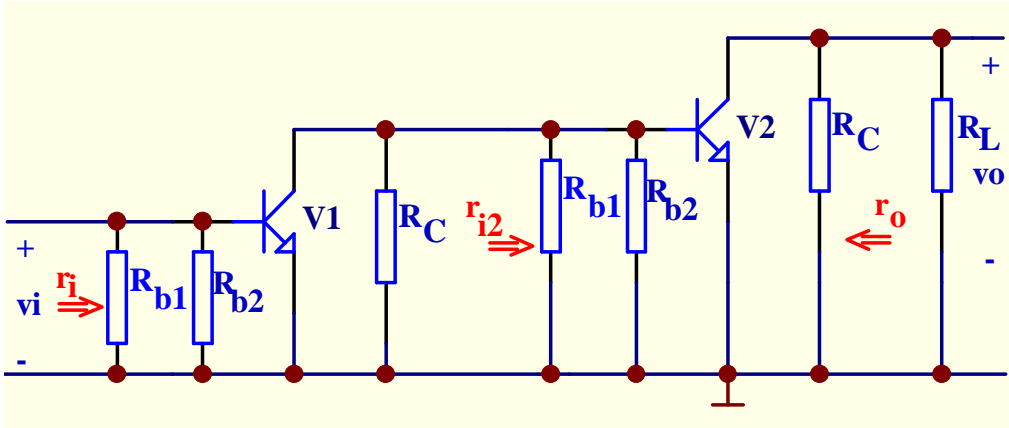
$$\therefore I_{CQ2} = I_{CQ1} = 3.3mA$$

$$I_{BQ2} = I_{BQ1} = 55\mu A$$

$$V_{CEQ2} = V_{CEQ1} = 12V$$

$$r_{be2} = r_{be1} = 0.79K$$

3、交流电路：



4、 r_i

$$r_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be1}$$

$$= 33k // 10k // 0.79k \approx 0.7K$$

$$r_{i2} = R_{b3} // R_{b4} // r_{be2} \approx 0.7K$$

$$r_o = R_{C2} = 3.3K$$

5、空载放大倍数 A_v

$$R'_{L1} = R_{C1} // r_{i2} = 3.3k // 0.7k = 0.64k$$

$$A_{V1} = -\beta_1 \times \frac{R'_{L1}}{r_{be1}} = -60 \times \frac{0.64}{0.79} = -49$$

$$A_{V2} = -\beta_2 \frac{R_{C2}}{r_{be2}} = -60 \times \frac{3.3K}{0.79K} = -251$$

$$A_V = A_{V1} \cdot A_{V2} = (-49) \times (-251) = 12299$$

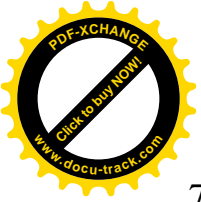
A_V 为正值，表示 V_{v_o} 与 v_i 同相。

6、有载放大倍数

$$R'_{L2} = R_{C2} // R_L = 3.3K // 15K \approx 2K$$

$$A_{V2} = -\beta_2 \frac{R'_{L2}}{r_{be2}} = -60 \times \frac{2}{0.79} = -152$$

$$A_{VL} = A_{V1} \cdot A_{V2} = (-49) \times (-152) = 7448$$



7、如果 C_{e2} 开路

$$\begin{aligned} R'_{L1} &= R_{C1} // r_{i2} \\ &= R_{C1} // R_{b3} // R_{b4} // [r_{be2} + (1 + \beta)R_{e2}] \\ &= 3.3K // 33k // 10k // 92.29k \\ &\approx 2.2K \end{aligned}$$

$$A_{V1} = -\beta \frac{R'_{L1}}{r_{be1}} = -60 \times \frac{2.2K}{0.79K} = -167 \quad \text{增大}$$

$$A_{V2} = -\beta \frac{R'_{L2}}{r_{be2} + (1 + \beta)R_{e2}} = -60 \times \frac{2K}{0.79 + 91.5} \approx -1.3$$

$$\begin{aligned} A_V &= A_{V1} \cdot A_{V2} \\ &= (-167) \times (-1.3) \\ &= 217.1 \text{ 倍} \end{aligned}$$



第 33 课时

课 题：多级放大器（四）

教学目标：多级放大器分析与计算

教学重点：计算

教学过程：

eg2: 图为某扩音机的前置级电路，其中第一级为射级跟随器， $A_{V1}=1$ ，话筒阻抗为 $R_S=10K\Omega$ 、设两管均为硅管， $B_1=B_2=100$ ， $V_{CC}=8V$ ， $r_{be1}=5.1K$ ， $r_{be2}=3.6K$

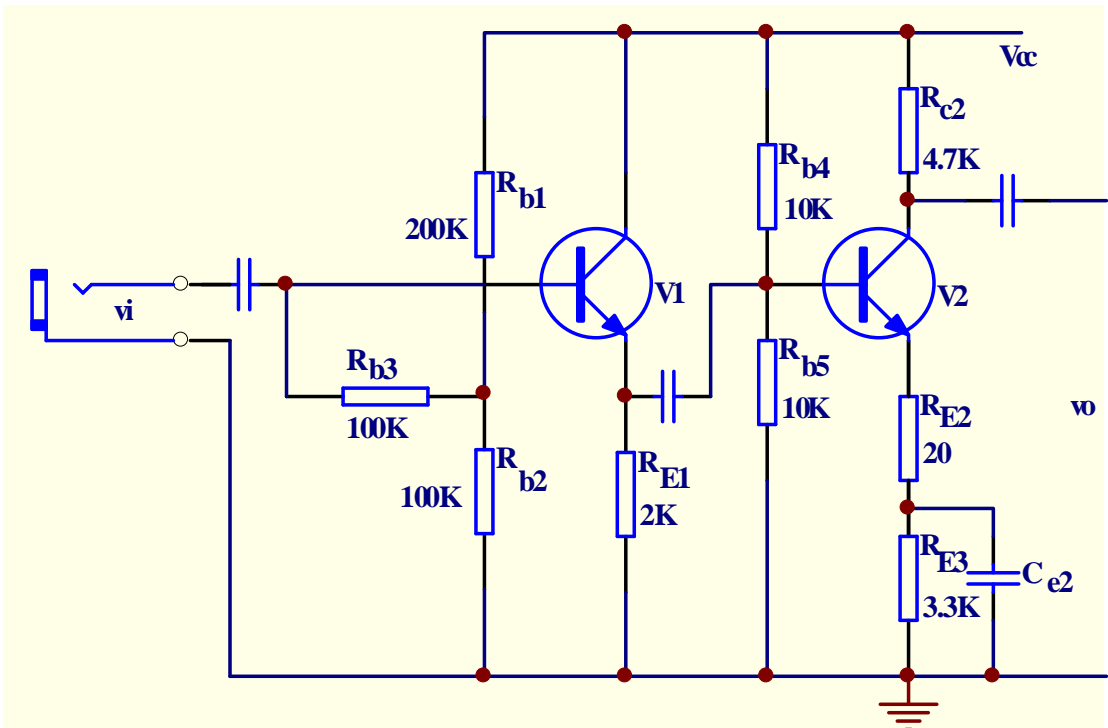
求：1、交流通路

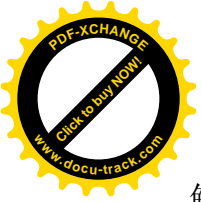
2、 γ_i 、 γ_o 、 A_v

3、若话筒的信号源信号为 $v_i=10\sin\omega t(mv)$ 、求输出电压、及有效值。

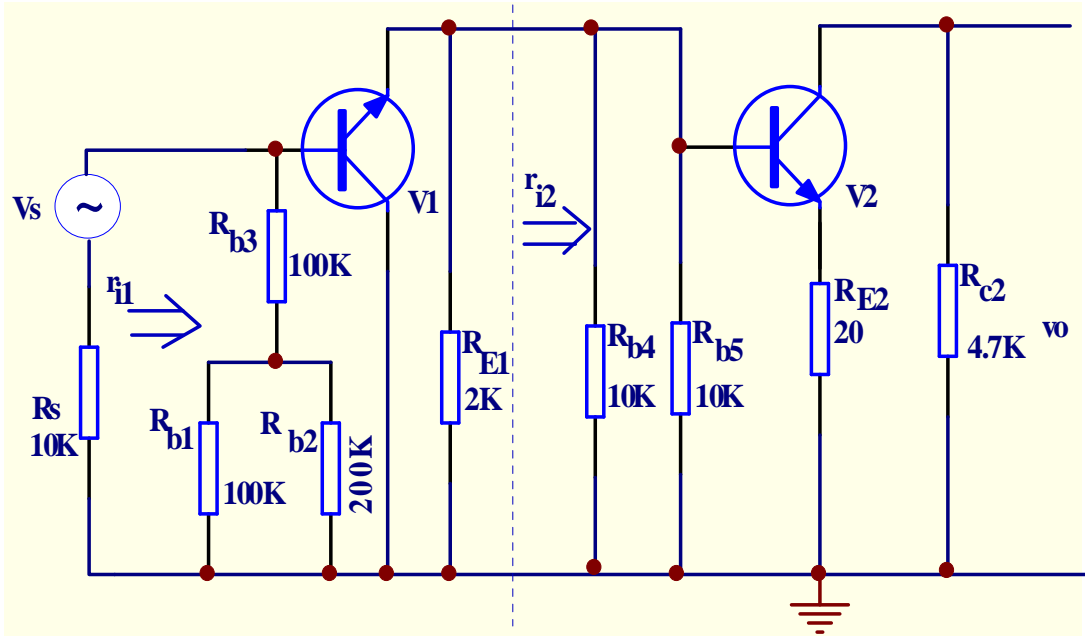
4、电容 C_{e2} 的作用是什么，它开路后对扩音机有什么影响。

5、简述射极跟随器的主要作用。





解：1、交流通路：



2、 r_i

$$\begin{aligned} r_{i2} &= R_{b4} // R_{b5} // [r_{be2} + (1 + \beta_2) \times R_{E2}] \\ &= 10K // 10K // [3.6K + (1 + 100) \times 20] \\ &= 5K // 5.6K \\ &= 2.6K \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_i &= [R_{b3} + (R_{b1} // R_{b2})] // \{r_{be1} + [(1 + \beta_1) \times R_{E1} // r_{i2}]\} \\ &= [100K + (200K // 100K)] // \{5.1K + [(1 + 100) \times (2K // 2.6)]\} \\ &= 166.7K // \{5.1K + 101 \times 1.13K\} \\ &= 166.7 // 119.3K \\ &= 69.52K \end{aligned}$$

$$r_o = R_{c2} = 4.7k$$

$$\begin{aligned} A_{V2} &= -\beta_2 \frac{R'_L}{r_{be2} + (1 + \beta)R_{E2}} \\ &= -100 \frac{4.7K}{3.6K + (1 + 100) * 20} \end{aligned}$$



$$=-100 \frac{4.7K}{5.6K} = -83.9$$

$$A_V = A_{V1} \times A_{V2} = A_{V2} = -83.9$$

3、 $v_i = 10 \sin \omega t$ mV

$$v_o = A_V \times v_i = -83.9 \times 10 \sin \omega t \text{ mV}$$

$$= -0.839 \sin \omega t \text{ (V)}$$

$$V_0 = \frac{V_{Om}}{\sqrt{2}} = \frac{-0.839}{\sqrt{2}} = -0.59V$$

" - " 号表示输出与输入反相。

4、 C_{E2} 是交流旁路电容， C_{E2} 开路后，放大倍数下降造成扩音机音轻故障。

$$\ominus A_{V2} = -\beta_2 \frac{R'_L}{r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_{E2} + R_{E3})}$$

$$= -100 \frac{4.7K}{3.6K + 332K}$$

$$= -1.4 \text{ 倍}$$

5、射随器用在第一级：主要利用输入电阻大与高阻抗的话筒相匹配



第 34 课时

课 题：多级放大器（五）

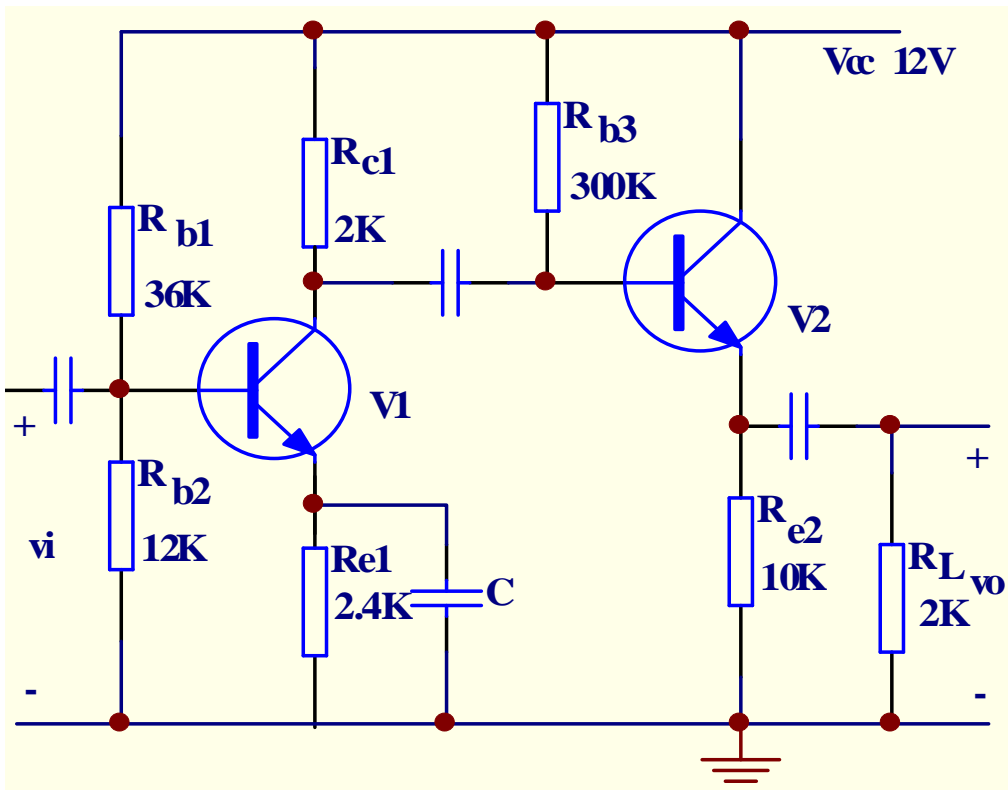
教学目标：多级放大器的分析与计算

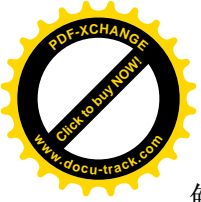
教学重点：分析与计算

教学内容

eg3: 如图所示的两级放大器，设 $V_{CC}=12V$ ， $V_{BE1}=V_{BE2}=0.6V$
 $\beta_1=\beta_2=40$ ， $\gamma_{be1}=1.4K$ 、 $\gamma_{be2}=0.9K$ 、 $A_{v2}=1$

- 求：1、第一级静态工作点， V_{BQ1} 、 I_{CQ1} 、 V_{CEQ1}
2、第二级的输入电阻 γ_{i2}
3、总电压放大倍数 A_v
4、输出电阻 γ_o
5、说明电路中的交流负反馈元件和负反馈类型，采用这种电路的主要作用是什么。



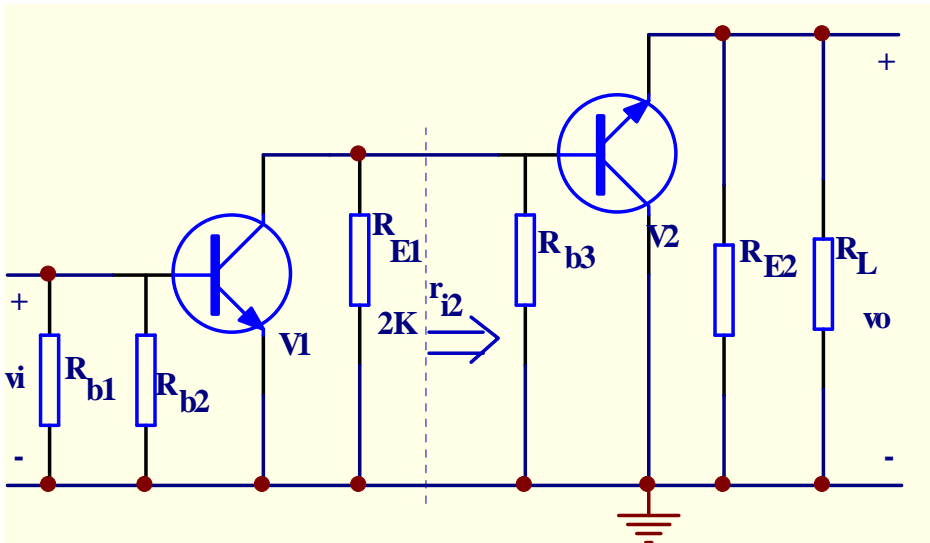


解： 1、 $V_{BQ1} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \times V_{CC} = \frac{12}{36 + 12} \times 12 = 3V$

$$I_{CQ1} = I_{EQ1} = \frac{V_{BQ1} - V_{BEQ1}}{R_{e1}} = \frac{3 - 0.6}{2.4k} = 1mA$$

$$\begin{aligned} V_{CEQ1} &= V_{CC} - I_{CQ1} (R_{C1} + R_{e1}) \\ &= 12V - 1mA(2k + 2.4k) \\ &= 7.6V \end{aligned}$$

2、 交流通路



3、 r_{i2}

$$\begin{aligned} r_{i2} &= R_{b3} // \{ r_{be2} + [(1 + \beta)(R_{E2} // R_L)] \} \\ &= R_{b3} // \{ r_{be} + 41 \times 1.6 \} \\ &= 300k // \{ 0.9k + 66.4 \} \\ &= 300k // 67.3k \\ &= 55k \end{aligned}$$

4、 $A_{V1} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be1}}$

$$= -40 \times \frac{R_{C1} // r_{i2}}{1.4K}$$



$$=-40 \times \frac{R_{i1}}{1.4}$$

$$=-57$$

$$A_V = A_{V1} * A_{V2} = -57$$

$$5、r_0 = \frac{r_{be2}}{1 + \beta} \approx \frac{0.9k}{41} = 22.5\Omega$$

6、 R_{e2} 、电压串联负反馈稳定输出电压、提高带负载能力。



第 35 课时

教学题目：调谐放大器（一）

教学目的：1、调谐放大器的种类、电路形式
2、调谐放大器选频原理、及其作用

教学重点：1、电路图、形式
2、作用

教学内容：

概念：

宽频带放大器：

能够放大一定范围频率信号的放大器

选频<窄>放大器：

能够对某一个频率点及其附近的信号进行放大，而其它信号将得到有效的衰减。

用一个 LC 回路代替集电极负载电阻 R_c

一、LC 回路的选频特性

（一）LC 回路的阻抗特性，相位频率特性

1、电路图

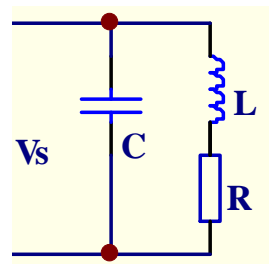
LC 并联回路

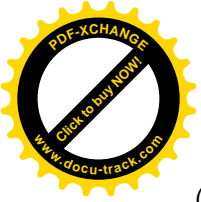
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ 固有频率}$$

R 电感的损耗电阻

$$X_L = 2\pi fL \quad f \uparrow \rightarrow X_L \uparrow$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad f \uparrow \rightarrow X_C \downarrow$$





(二) 回路特点:

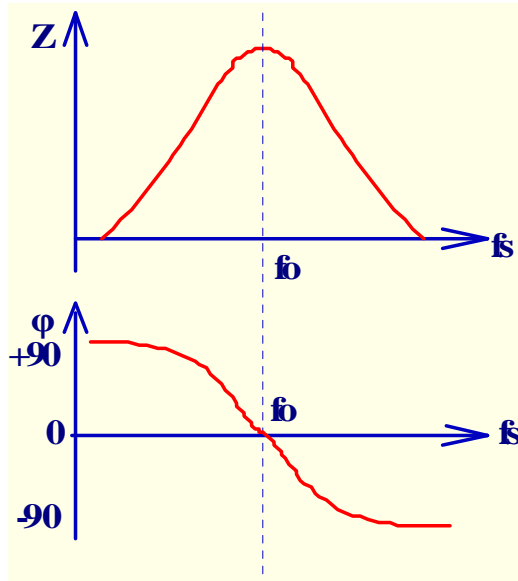
(1) $f_s = f_0$ 时 $\rightarrow X_L = X_C \rightarrow Z$ 最大而呈纯电阻性 $\rightarrow v$ 与 i 相同
 $\rightarrow \phi = 0$

(2) $f_s > f_0$ 时 $\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} X_L \uparrow \\ X_C \downarrow \end{array} \right\} \rightarrow Z \downarrow \rightarrow$ 电路呈容性 \rightarrow 电流超前电压

一个角度 $\rightarrow \phi > 0$

(3) $f_s < f_0$ 时 $\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} X_L \downarrow \\ X_C \uparrow \end{array} \right\} \rightarrow Z \downarrow \rightarrow$ 电路呈电感性 \rightarrow 电流滞后电压

角度 $\rightarrow \phi < 0$



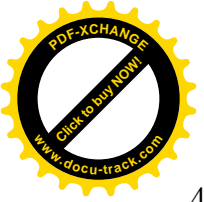
3、品质因数

定义:

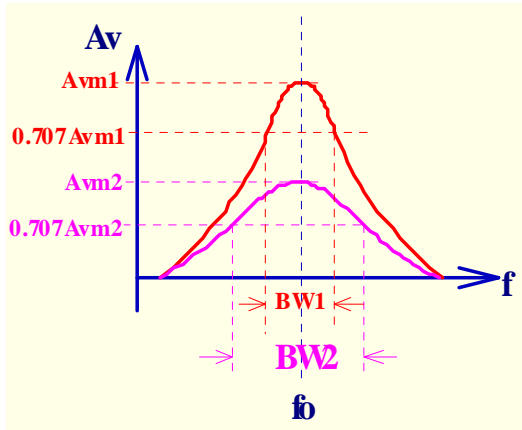
电路发生谐振时, 感抗 X_L 或感抗 X_C 与回路损耗电阻 R 之比, 用“ Q ”表示

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R}$$

$\left. \begin{array}{l} R \downarrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow \text{尖} \rightarrow \text{选} \\ R \uparrow \rightarrow Q \downarrow \rightarrow \text{平} \rightarrow \text{选} \end{array} \right\}$



4、Q 值、选择性、通频带三者之间的关系



Q 高 → 选择性越好 → BW 窄

Q 低 → 选择性越差 → BW 宽



第 36 课时

题目：调谐放大器（二）

教学目标：1、调谐放大器的种类，电路形式。

2、工作原理及其作用

教学重点：1、电路图，形式

2、作用。

一、调谐放大器的种类

单调谐

双调谐

（一）单调谐

1、电路图

2、元件作用

（1）LC 并联电路代替了 R_c

（2）中心轴头的作用

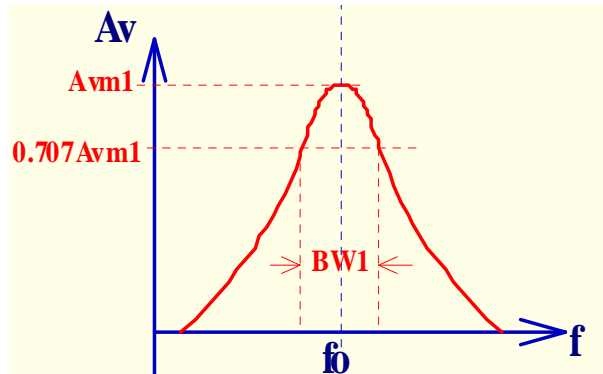
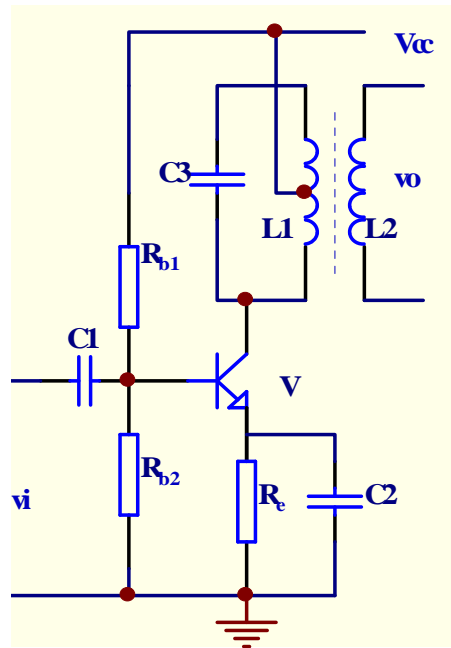
（阻抗匹配）

实现放大电路输出端与负载之间的阻抗匹配，提高传输效率。

3、工作原理

4、调谐曲线

谐振曲线成单峰，不能解决选择性和通频带的矛盾

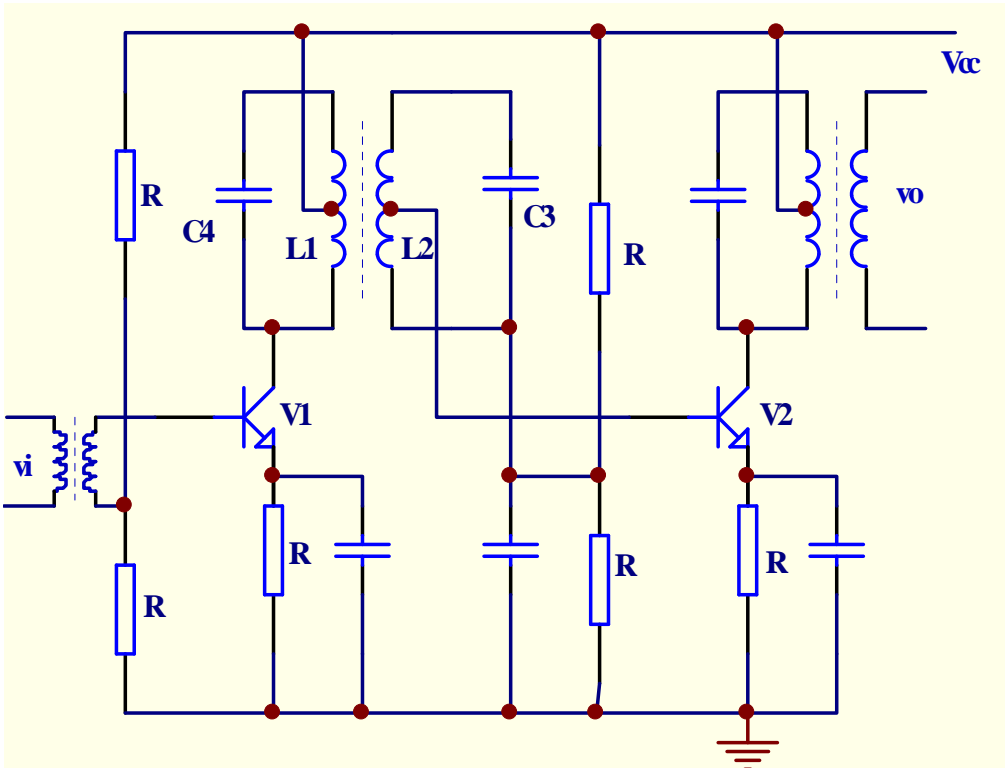


(二)、双调谐放大器

互感耦合

电容耦合

1、电路图



2、元件作用

$L_1 C_4$ 、 $L_2 C_3$ 组成两个谐振回路

改变 $L_1 L_2$ 的相对距离，或磁芯位置可改变耦合程度

3、工作原理

利用原边 $L_1 C_4$ 的并联谐振和副边 $L_2 C_3$ 的串联谐振来实现选频。

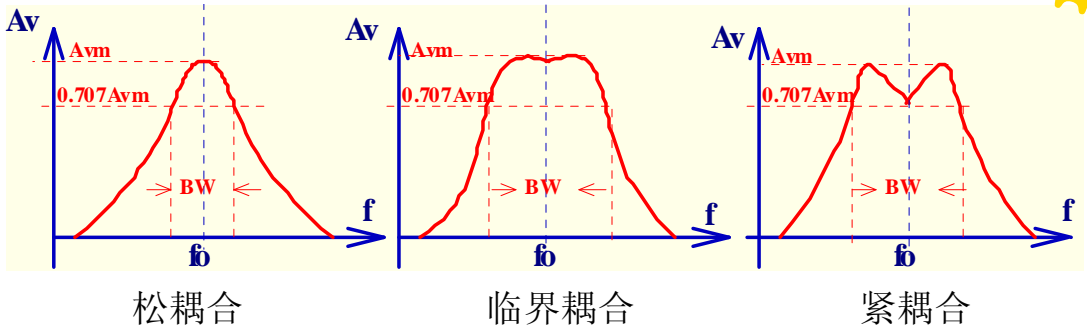
4、谐振曲线

调节 $L_1 L_2$ 之间的距离

磁芯的位置

耦合电容的大小

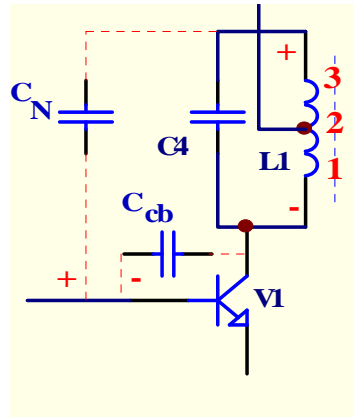
临界耦合：解决了选择性与通频带之间的矛盾。



(二) 调谐放大器的中和与稳定

1、中和

原理：L 的 1.3 端相位相反， C_N 的反馈作用正好与 C_{cb} 的反馈作用抵消，防止电路自激，稳定工作。



(三) 措施

- 1、中和电寄
- 2、LC 回路并联电阻 $\rightarrow Q \downarrow$
- 3、引入负反馈（射极加电阻）
- 4、降低工作点
- 5、阻抗失配

二：作业.



第 37 课时

题 目：反馈的基本概念

教学目标：1、了解反馈的基本概念、分类及其形式
2、分类的类别
3、掌握几种基本负反馈电路

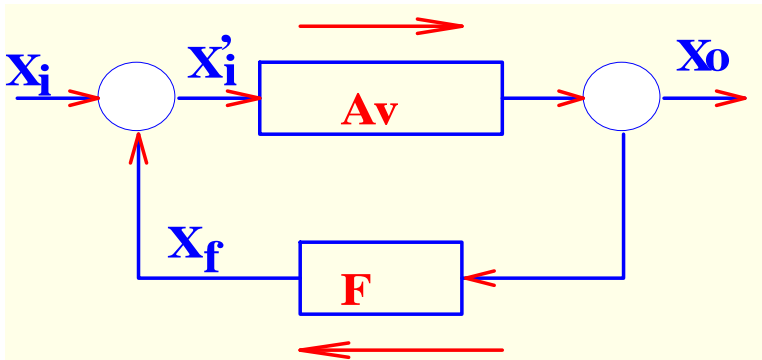
教学重点：1、反馈的方框图、类型
2、四种基本负反馈电路、判别

教学内容：

一、反馈概念

从输出端取出已放大信号的部分或全部选到输入端。

二、反馈放大器方框图



- 1、反馈网络：用于反向传输信号的电路。
- 2、反馈放大器：常有反馈网络的放大电器。
- 3、正向传输：信号源 → 放大器 → 负载。
- 4、反向传输：放大器输出 → 反传网络 → 放大器的输入端。
- 5、取样点：放大器的输出端，反馈网络的输入端。负载三者相联结点。
- 6、比较处：基本放大器的输入端，反馈网络的输出端和信号源三者相联结点。



7、净输入信号： X_i'

$$X_i' = X_i - X_f$$

8、反馈系数 F

$$F = \frac{X_f}{X_o}$$

9、开环放大器倍数 A_v

$$A_v = \frac{X_o}{X_i'}$$

10、闭环放大倍数 A_{vf}

$$\begin{aligned} A_{vf} &= \frac{X_o}{X_i} = \frac{X_o}{X_i' + X_f} = \frac{1}{\frac{X_i'}{X_o} + \frac{X_f}{X_o}} = \frac{1}{\frac{1}{A_v} + F} \\ &= \frac{A_v}{1 + A_v F} \end{aligned}$$

11、反馈深度

$$D = 1 + A_v F$$

三、反馈的基本类型

(一) 反馈信号

$\left\{ \begin{array}{l} \text{直} \\ \text{交} \\ \text{交、直} \end{array} \right.$

(二) 联样点 (输出端)

$\left\{ \begin{array}{l} \text{电} \\ \text{电} \end{array} \right.$

(三) 比较外 (输入端)

$\left\{ \begin{array}{l} \text{串} \\ \text{并} \end{array} \right.$



(四) 性质

正
负

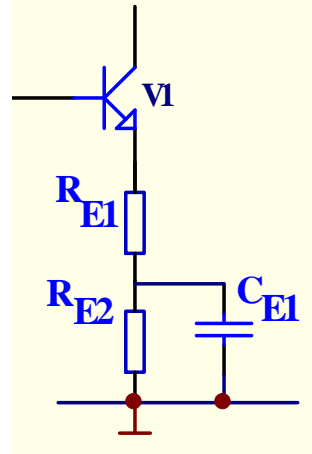
1、交、直流反馈

左图中： R_{E1} 构成交、直流反馈

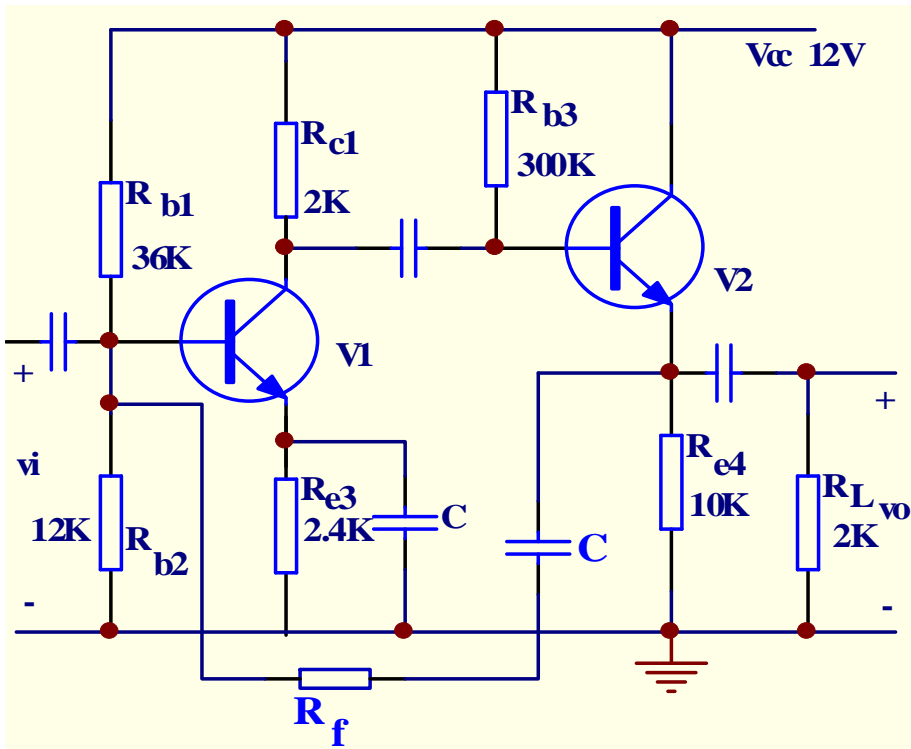
R_{E2} 构成直流反馈

下图中： C 、 R_f 构成交流反馈

R_{e3} 构成直流反馈



反馈



小结：

反馈元件两端并联电容→直流反馈

反馈网络中串联电容→交流反馈

反馈电流无并联电容→交、直流反馈

作用： 直流反馈： 稳定静态工作点

交流反馈： 改善动态参数 A_v 、 r_i 、 r_o 、BW、非线性



第 38 课时

题 目：负反馈（一）

教学目标：1、负反馈的分类

2、负反馈的判别

3、负反馈的电路形式

教学重点：判别反馈类型

教学内容：

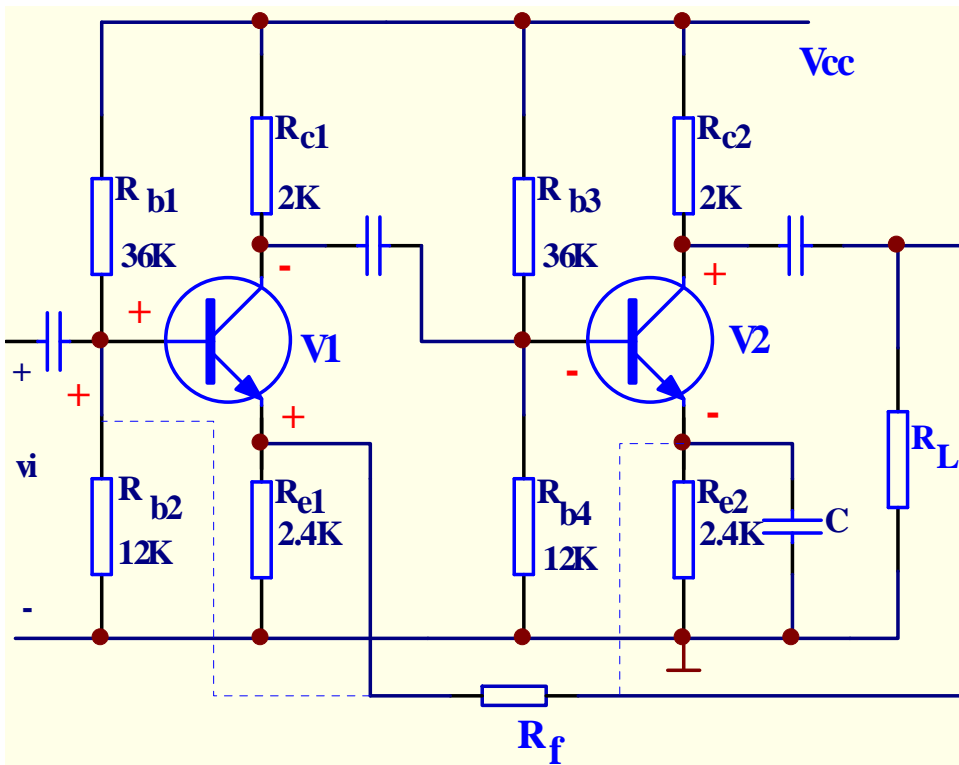
一、正、负反馈

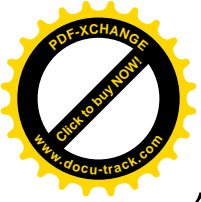
（一）定义：

正反馈：使净输入信号加强的反馈；

负反馈：使净输入信号减弱的反馈；

（二）判别方法：瞬时极性法



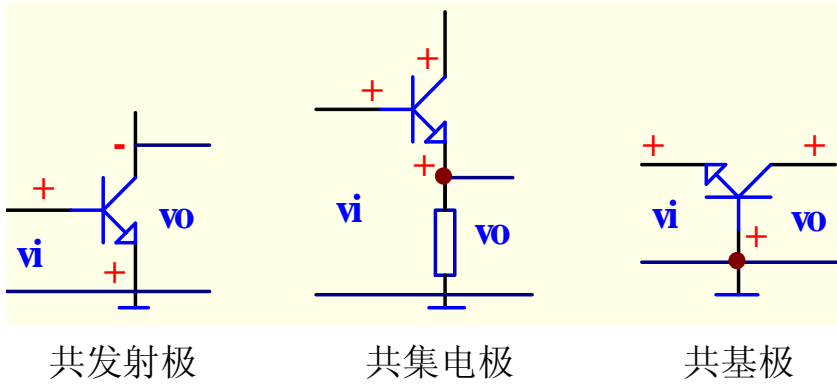


小结:

反馈信号与输入信号同相为正反馈

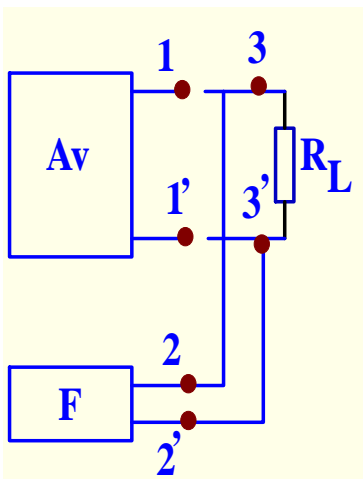
反馈信号与输入信号反相为反反馈

- 1、区分组态：共发射极输入与输出反相，
共集、共基输入与输出同相
- 2、区分管型：NPN、PNP
- 3、注意反馈信号比较点：（基极、发射极、集电极）



二、电压反馈与电流反馈

(一) 电压



- 1、反馈信号取自输出电压、
并与输出电压成正比

- 2、判别方法

将输出端短路

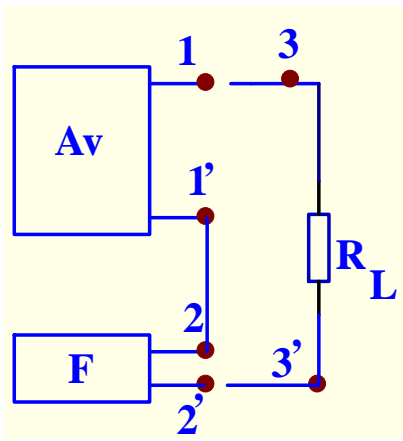
如果 $X_o = 0$, $X_F = 0$ \rightarrow 电压反馈

凡反馈网络输入端接在放大器输出电极上为电压反馈，电压反馈使输出电阻减小，提高放大器的带负载能力。



(二)、电流反馈

1、方框图



2、判别方法：将输出端短路

如果 $X_0=0$, $X_f \neq 0 \rightarrow$ 电流反馈

凡反馈网络接在放大器的公共端电极上为电流反馈, 电流反馈使输出电阻增大。

三、串联反馈与并联反馈

看放大器的输入端

(一)、串联反馈

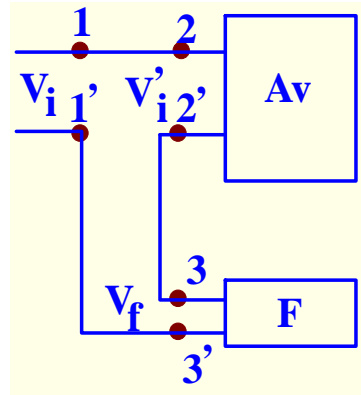
1、方框图

2、串联反馈总是以电压的形式作用于输入端、

3、判别方法：将输入端短路

如果 $X_i = 0$ $X_f \neq 0 \rightarrow$ 串 反馈，

凡反馈信号反馈到放大器公共端为串联反馈，串联反馈使输入电阻增大，可减轻信号源的负担。



(二)、并联

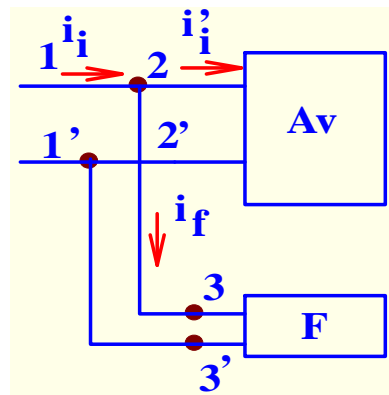
1、方框图

2、并联反馈总是以电流的形式作用于输入端，

3、判别方法：将输入端短路

$X_i = 0$, $X_f = 0 \rightarrow$ 并联反馈。

反馈信号反馈到放大器输入端为并联反馈，减小了输入电阻。



三、作业： P88 1、2、3、4、



第 39 课时

题 目：负反馈（二）

教学目标：1、掌握四种典型的负反馈电路

2、判别方法

3、电路特点

教学重点：1、判别方法

2、电路特点

教学内容

一、四种基本的反馈类型

电压串联 }
电压并联 } ⇒ 正、负、交、直
电流串联 }
电流并联 }

二、电流串联负反馈

(一) 电路图：

(二) 判别思路（方法）

是否有反馈网络存在 →

正、负 → 电流、电压 →

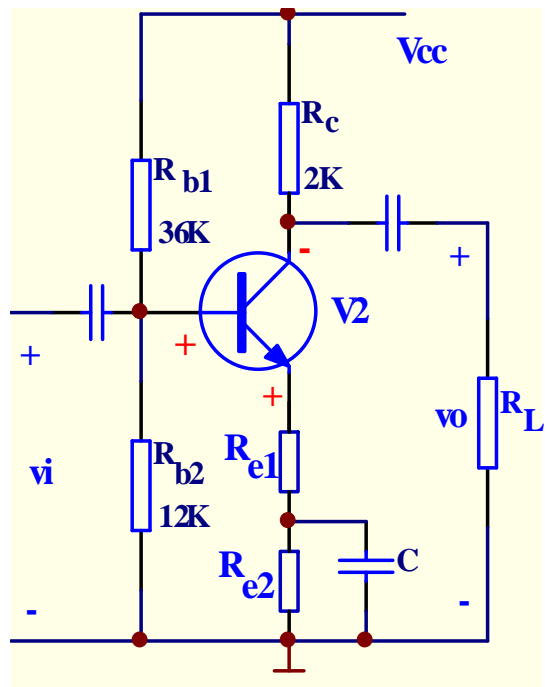
串联、并联 → 交、直

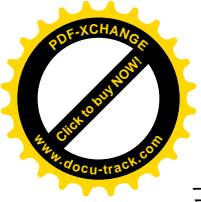
(三) 特点

1、稳定输出电流，

2、输入电阻增大，

3、减轻信号负担。





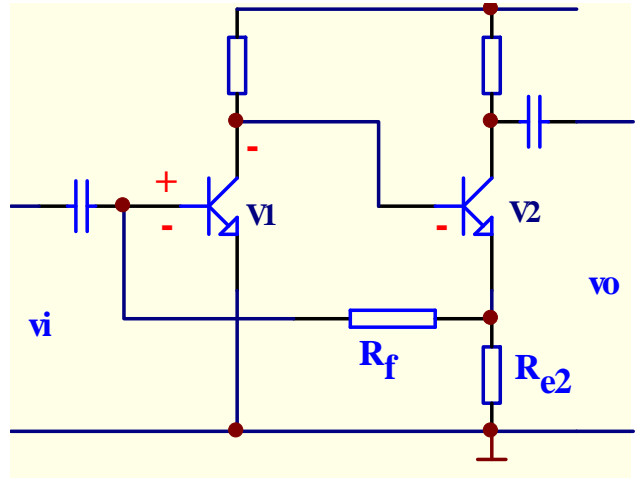
三、电流并联负反馈

(一) 电路图

(二) 判别

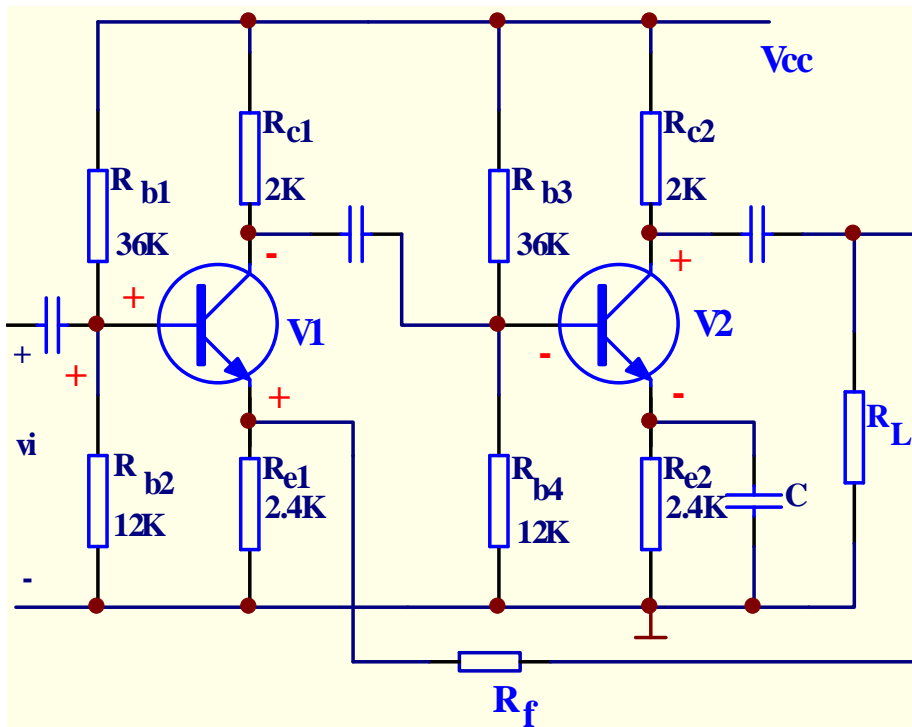
(三) 特点

- 1、稳定输出电流
- 2、输出电阻电阻增大
- 3、输入电阻减小
- 4、同时具有直流反馈作用（稳定静态工作点）



四、电压串联负反馈

(一) 电路图



(二) 判别

(三) 特点

- 1、稳定输出电压
- 2、输出电阻下降→提高带负载能力
- 3、输入电阻增高→减轻信号的负担

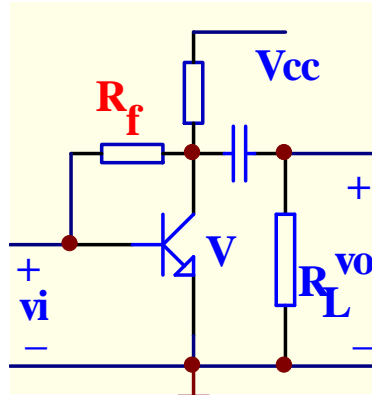
五、电压并联负反馈

(一) 电路图

(二)、判别

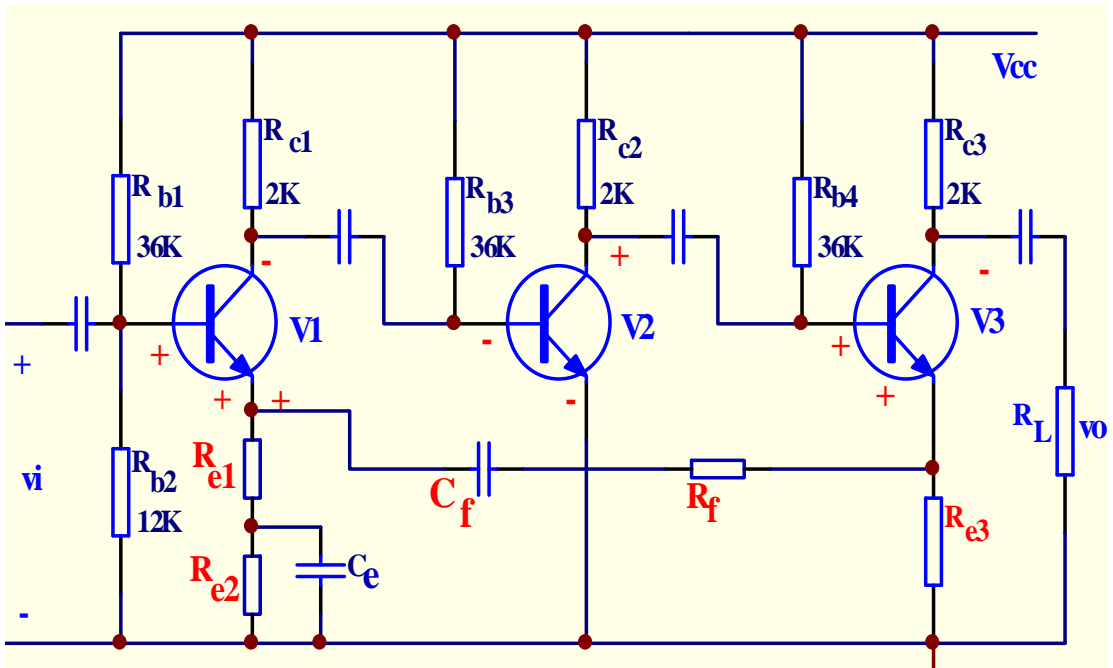
(三) 特点

- 1、稳定输出电压。
- 2、输出电阻减小，
提高带负载能力。
- 3、输入电阻减小。



六、例子

eg: 判断下图反馈类型，指出反馈元件，反馈支路，





- (一) R_{e1} : 电流串联负反馈 (交、直) <本级反馈>
- 1、稳定本级静态作点
 - 2、稳定输出电流
 - 3、增大了输入电阻, 减轻了信号源的负担
 - 4、改善了动态参数
- (二) R_{e2} : 电流串联负反馈<直> <本级>
- 1、稳定了本级的静态作点
- (三) R_{e3} : 电流串联负反馈 → 同 R_{e1} 一样
- (四) R_f C_f : 电流串联负反馈 <负> <级间>
- 1、稳定了输出电流
 - 2、增了输入电阻, 减轻了信号源的负担
 - 3、改善了动态参数

七、作业:

P_{88} : 5、6、7、8、



第 40 课时

题目：负反馈对放大器性能的影响

教学目标：1、掌握反馈对放大器性能有哪些影响
2、负反馈的应用

教学重点：1、负反馈的应用

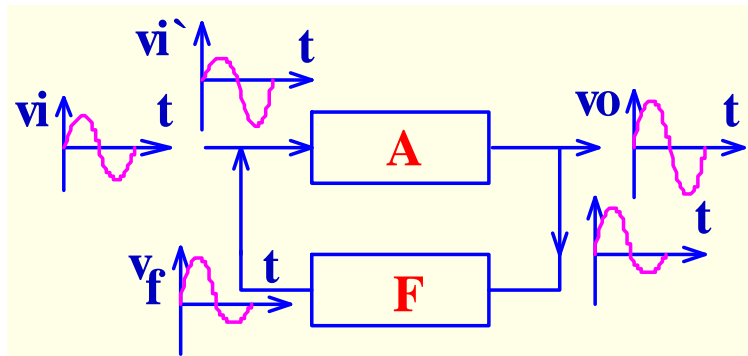
教学内容：

一、降低放大倍数，提高了放大倍数的稳定性

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 + A_v F} \approx \frac{1}{F}$$

只取决于反馈网路，而与基本放大器无关

二、减小性失真

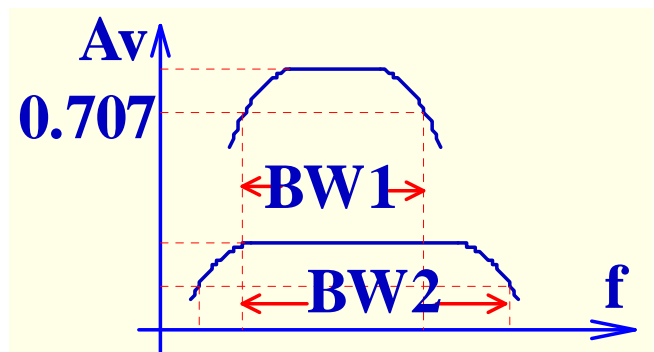


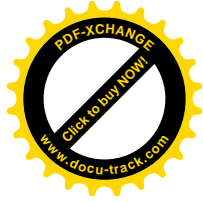
注：只对放大器内部的非线性失真具有一定的改善作用而对输入信号的失真无能为力，也不能根除。

三、展宽频带

中频区 $\rightarrow A_v$ 大 $\rightarrow V_f$ 大 $\rightarrow A_{vf}$
下降大

高、低 $\rightarrow A_v$ 小 $\rightarrow V_f$ 小 $\rightarrow A_{vf}$
下降小





四、减小噪声（内部）

五：改变输入输出电阻

串联：增大输入电阻 并联：减小了输入电阻

电流：增大了输出电阻 电压：减小了输出电阻

六、作业：

P₈₈、9、10、11