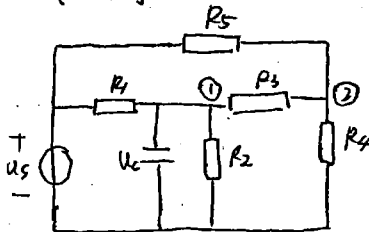




2009

一. 1. $t < 0$ 时

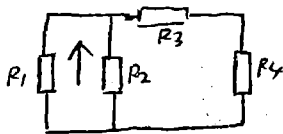


对节点①和节点②应用节点电压法

$$\begin{cases} (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2}) u_1 - \frac{1}{R_3} u_2 = \frac{u_s}{R_1} \\ -\frac{1}{R_3} u_1 + (\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}) u_2 = \frac{u_s}{R_5} \end{cases}$$

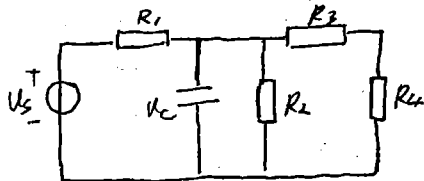
$\therefore u_1 = 4.8V, u_c(0^+) = u_c(0^-) = 4.8V$

从 u_c 看入，等效电阻



$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = 1, \tau = R_{\Sigma} C = 1$$

$t \rightarrow \infty$ 时，等效电路图

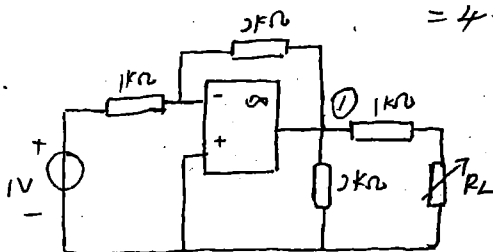


$$u_c(\infty) = \frac{1}{2} u_s = 4V$$

根据三要素公式，得 $u_c = u_p(\infty) + [u_c(0^+) - u_p(\infty)] e^{-t/\tau}$

$$= 4 + 0.8 e^{-t}$$

2.



由运算放大器性质，

①处电压 $u = -2V$

\therefore 当 $R_2 = 1k\Omega$ 时，获得最大功率

$$P_{\max} = \left(\frac{u}{1+R_L} \right)^2 R_L = 1 \times 10^{-3} W$$

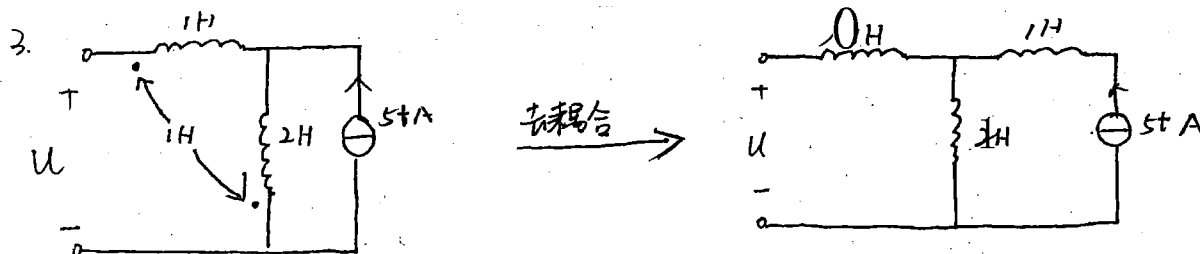


哈尔滨工业大学

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001



$$U = L \frac{di}{dt} = 5V$$

二. 1. (1) ∵ 稳压管稳定电压 $U_Z = 10V$

∴ 直流电压表读数为 $10V$

$$I_{A1} = \frac{U_i - U_Z}{R} = 15mA$$

$$I_{A2} = \frac{U_Z}{R_L} = 5mA$$

(2) 考虑极限工作状态：

① 当 $U_{imax} = 44V$ 时，此时 $I_Z = \frac{U_{imax} - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L} = 12mA$

当 $U_{imin} = 36V$ 时，此时 $I_Z = \frac{U_{imin} - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L} = 8mA$

∴ 能正常工作

(3) $I_Z = \frac{U_i - U_Z}{R} = 15mA$

(4) 不可以，稳压管在正常工作时，内阻为几十欧，为满足 $I_Z \leq I \leq I_{Zmax}$ ，

需要串联一个限流电阻，否则容易将电流表烧坏。



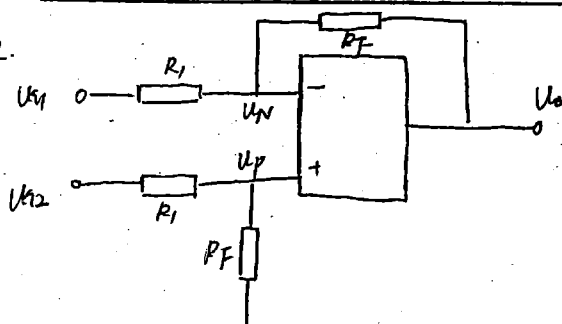
哈尔滨工业大学

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

2.



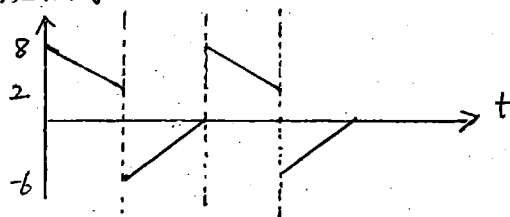
$$U_p = \frac{R_F}{R_1 + R_F} U_{12} = \frac{2}{3} U_{12}$$

根据虚短, $U_N = U_p = \frac{2}{3} U_{12}$

根据虚断, $\frac{U_{11} - U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_o}{R_F}$

得 $U_o = 2(U_{12} - U_{11})$

∴ U_o 的波形为



3. 第一片 T4161 计数器, 当计数到 $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 0101$ 时, 置 1111

∴ $0000 \rightarrow 0001 \rightarrow 0010 \rightarrow 0011 \rightarrow 0100 \rightarrow 0101 \rightarrow 1111 \rightarrow 0000$

七进制

第二片 T4161 计数器, 计数到 $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 0111$ 时置 1111

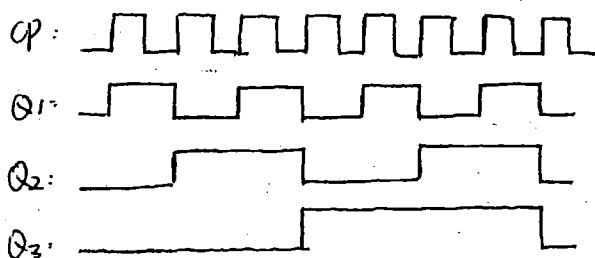
九进制

$7 \times 9 = 63$, 比值为 63



4. 当 CP 上升沿来临时, Q_1 翻转; 当 Q_1 下降沿来临时, Q_2 翻转; 当 Q_2 下降沿来临时, Q_3 翻转.

∴ 输出电压波形为:



$$CP_1 = CP \quad CP_2 = \overline{Q_1} \quad CP_3 = \overline{Q_2}$$

$$P_1 = \overline{Q_1^n} \quad P_2 = \overline{Q_2^n} \quad P_3 = \overline{Q_3^n} \quad Q^{n+1} = 1$$

$$Q_1^{n+1} = \overline{Q_1^n}$$

$$Q_2^{n+1} = \overline{Q_2^n}$$

$$Q_3^{n+1} = \overline{Q_3^n}$$

三、1. 步进电机运行频率增加, 输出转矩减小, 主要原因是定子绕组电感的影响, 电感有阻止电流变化的特性。(P131)

改善办法: 提高步进电机的高频力矩必须减小其时间常数, 即减小电感 L 和增加回路电阻 R .

2. 基本要求: 将一种量按照某种规律转换成容易处理的另一种量.

可以用来测速, 因为永磁直流电机输出电压与转速成正比, 灵敏度较高.

相应的关系式为

$$\begin{cases} U_n = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \\ E_a = k_e \omega \end{cases}$$

3. 转速 $n = \frac{60f}{p}(1-s)$, 频率 f 为 50Hz, 额定状态下 s 在 0.02 ~ 0.06 内,

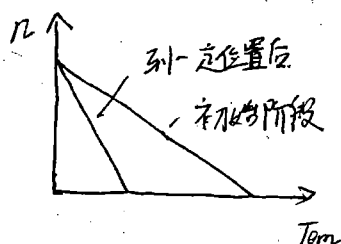
∴ n 和 n_s 几乎相等. 为使 n 在 1600 左右, p 应取 2.



4. 根据
$$\begin{cases} U_a = I_a R_a + E \\ E_a = k_e n \\ T_{em} = k_t I_a \end{cases} \quad \text{得 } n = \frac{U_a}{k_e} - \frac{T_{em} R_a}{k_t k_e}$$

因此直流电机的转速与电枢回路电阻 R 有关。

当电梯在初始阶段时, 电阻最小, 速度很快。当电阻增大, 速度减慢。



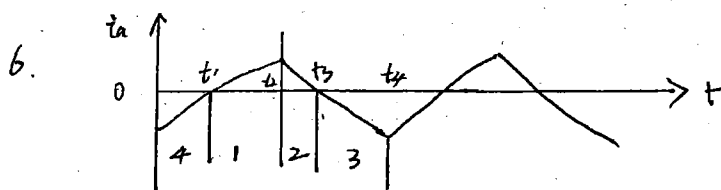
5. P_{83} 调速方法 (4种)

P_{82} 最下面一段为变 s 调速的方法 (3种)。

机械特性 P_{87} 图 3-30, P_{88} 图 3-31

其中改变定子电压调速适用于风机类负载的调速。

转子回路串电阻调速一般用于中小容量绕线型异步电动机。



$0 \sim t_1$ 地 $\rightarrow D_4 \rightarrow$ 负载 $\rightarrow D_1 \rightarrow U_0$

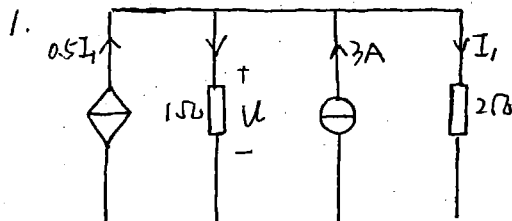
$t_1 \sim t_2$ $U_0 \rightarrow T_1 \rightarrow$ 负载 $\rightarrow T_2 \rightarrow$ 地

$t_2 \sim t_3$ 地 $\rightarrow D_2 \rightarrow$ 负载 $\rightarrow D_3 \rightarrow U_0$

$t_3 \sim t_4$ $U_0 \rightarrow T_3 \rightarrow$ 负载 $\rightarrow T_4 \rightarrow$ 地



2010



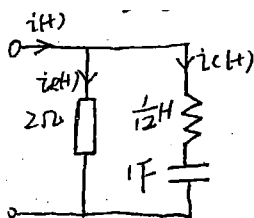
根据 KCL, 得

$$\begin{cases} 0.5I_1 + 3 = I_1 + \frac{U}{1} \\ U = 2I_1 \end{cases}$$

解得 $I_1 = 1.2A$, $U = 2.4V$

∴ 受控源提供的功率 $P = U \times 0.5I_1 = 1.44W$

2.



∴ $u_C(t) = 2e^{-2t} (V)$ ∴ $i_C(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} = -2e^{-2t} (A)$

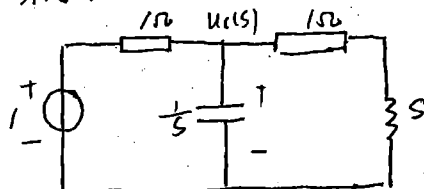
∴ $u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = -\frac{1}{3}e^{-2t} (V)$

$u_R(t) = u_C(t) + u_L(t) = 2 - \frac{4}{3}e^{-2t}$

$i_R(t) = \frac{u_R(t)}{R} = 1 - \frac{2}{3}e^{-2t}$

$i(t) = i_R(t) + i_C(t) = 1 + \frac{4}{3}e^{-2t} (A)$

3. 网孔拉氏变换法



节点电压法:

$u_C(s) \left(1 + s + \frac{1}{s+1} \right) = 1$

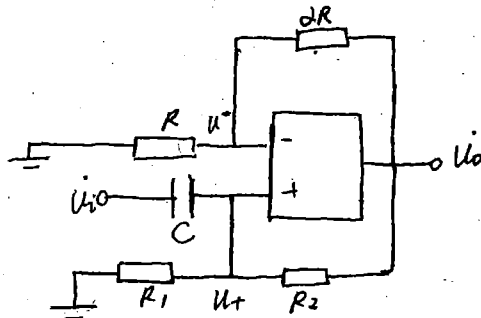
$u_C(s) = \frac{s+1}{s^2+2s+2}$

则 $u_C(\infty) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot \frac{(s+1)}{s^2+2s+2} = 1$

$\frac{du_C(t)}{dt} = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot \frac{s^2(s+1)}{s^2+2s+2} = \infty$



4.



根据分压, 得 $U_+ = U_o \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U_o \frac{1}{1+2}$

根据虚短, 得 $U_+ = U_- = U_o \frac{1}{1+2}$

根据虚断, 得 $\frac{U_- - U_+}{\frac{1}{j\omega C}} + \frac{U_o - U_+}{R_2} + \frac{0 - U_+}{R_1} = 0$

解得 $\frac{U_o}{U_i} = \frac{j\omega C(1+2)}{j\omega C + \frac{1}{R_1} - \frac{2}{R_2}} = \frac{j\omega C R_1 R_2 C(1+\alpha)}{R_2 - R_1 \alpha + j\omega C R_1 R_2}$

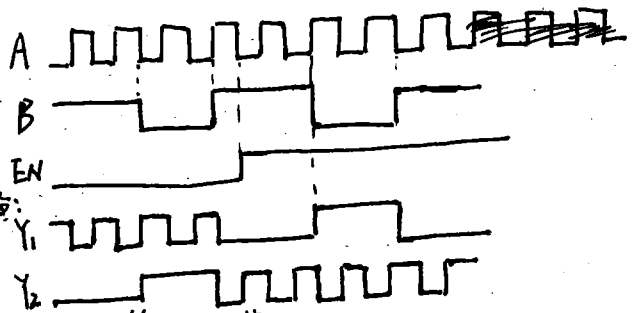
5. 当 $EN=0$ 时, ②、④ 不工作 (②、④ 为第二个和第四个三态门)

此时 $Y_1 = \bar{A}$, $Y_2 = \bar{B}$

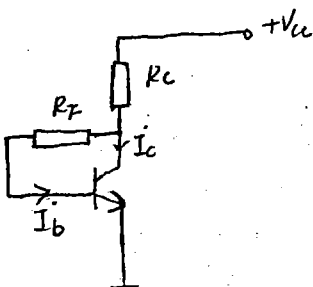
当 $EN=1$ 时, ①、③ 不工作

此时 $Y_1 = \bar{B}$, $Y_2 = \bar{A}$

波形图:



6. 1) 直流通路

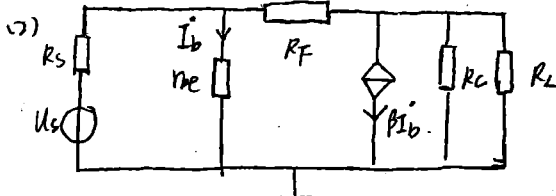


$V_{CC} = (I_b + I_c)R_c + I_b R_F + U_{BEQ}$, 其中 $U_{BEQ} = 0.7V$

解得 $I_b = 0.024mA$

$I_c = \beta I_b = 1.2mA$

$U_{CEQ} = V_{CC} - (I_b + I_c)R_c = 6.708V$

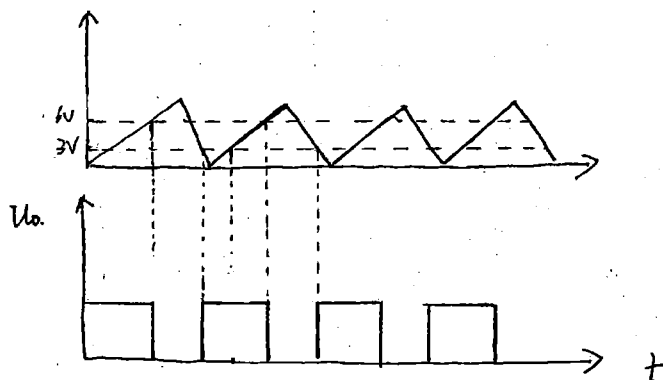




7. 555定时器构成施密特触发器

切换电压 $V_{TH} = U_T = 6V$ $V_{TL} = \frac{1}{2}U_T = 3V$

$\therefore U_o$ 的波形为



8. (1) 当 DAC 输出 1.2V 时, $Y=0$, 停止计数.

$$LSB = \frac{5}{2^5} = \frac{5}{32} \quad \frac{1.2}{LSB} = 7.68$$

\therefore 计数到 8 位以后, 停止计数, 此时 $Q_4 Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 01000$

(2) 转换误差为 $8 \times LSB - 1.2 = 0.05V$

9. (1) B_{4-154} 直流电机的工作状态.

(2) 电机在 I 内, 电压为正, 转速为负, 且转速随电压增大最后变为 0, 为反接制动.

电机在 II 内, 电压和转速都为正, 转速增大, 说明此点, 对应的电磁转矩促进转速增大, 为电动机状态.

电机在 III 内, 同 II 为电动机状态; 电机在 IV 内, 转速上升, 说明 u_e 的电磁转矩大于负载转矩, 为电动机状态, 区间 V 和 VI, 电压转速为正, 且斜率下降, 为发电机状态.

在区间 VII, 为反接制动的状态. 区间 VIII, 电压、转速同为负, 上升趋势, 为电动机

区间 IX 和 X 同理 II, IV, 同为电动机状态 X I 和 XII, 同理 V 和 VI 发电机状态.



哈尔滨工业大学

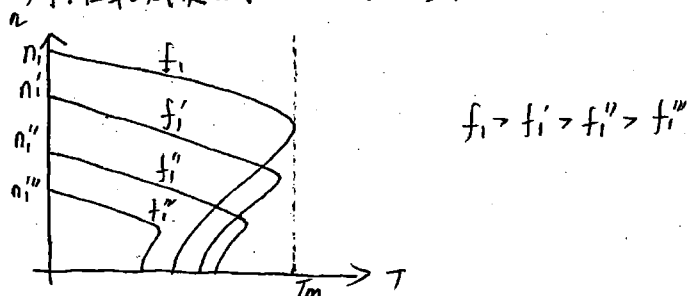
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

10. (1) 见2019年第5题

(2) 对于恒转矩负载，应采用从基频向下调速。

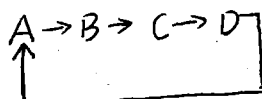


保持 u_1/f_1 等于常数，这时磁通 Φ_m 接近常数，最大转矩 T_m 随 f_1 降低而减小。低频时，容性转矩减小。

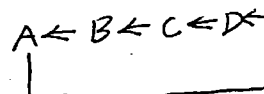
11. (1) $\theta_{b1} = \frac{360}{48 \times 4 \times 1}$ 单拍 $\theta_{b2} = \frac{360}{48 \times 4 \times 2}$ 双拍。

单拍制

正转通电顺序：

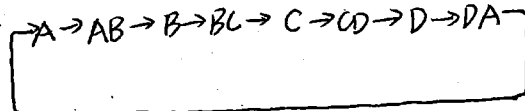


反转：

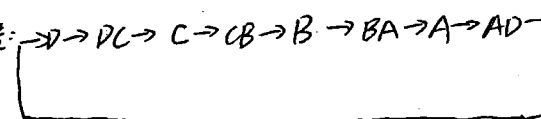


双拍制

正转：



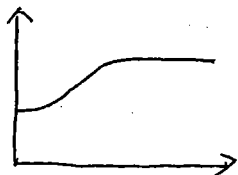
反转：



脉冲数 = $360^\circ / \text{步距角}$

(2) 由于脉冲频率发生突变，步进电机不能立刻实现该频率下的运转，所以会发生失步现象。

改进办法为将其改为平滑曲线过渡。

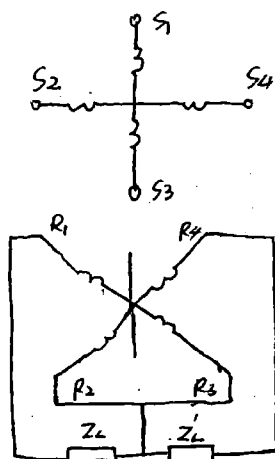




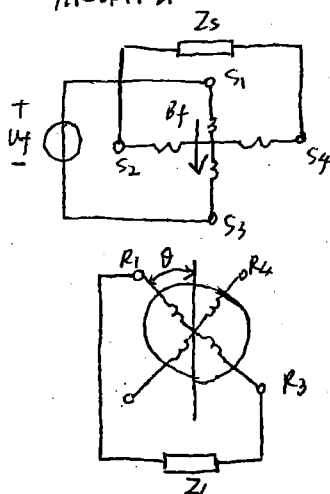
12. 见04年第6题。

13. (1)

副边补偿



原边补偿



$Z_s = Z_L$, Z_L 为激磁电源内阻抗

12) 采用原边补偿的旋转变压器。若激磁电压为 $u = U_m \sin \omega t$, 则有效值 $U_4 = \frac{\sqrt{2}}{2} U_m$

则最大输出电压有效值为 $kU_4 = \frac{\sqrt{2}}{2} kU_m$.

则该绕组输出电压有效值 $U_s = \frac{\sqrt{2}}{2} kU_m \sin \theta$. 该绕组组的输出电压有效值 $U_c = \frac{\sqrt{2}}{2} kU_m \cos \theta$

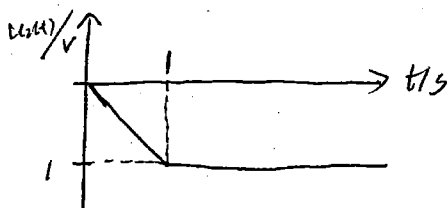


2011

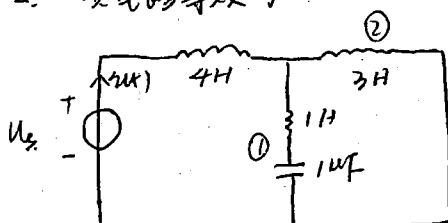
1. $i_C = C \frac{du_C}{dt} = \frac{u_1}{R}$, 而 $u_2 = -u_C$

得 $u_2 = -\int u_1 dt$ 该电路为积分电路

$u_1(t)$ 的波形为



2. 该电路等效为



若 $u_s = 0A$, 则支路①和支路②发生并联谐振.

即 $\frac{1}{j\omega C} + j\omega L_1 + j\omega L_2 = 0$ 得 $\omega = 500 \text{ rad/s}$

3. 叠加定理.

① u_{s1} 单独作用时, $I_1 = \frac{20 \angle -90^\circ}{6 + 9j} = 3 \angle -143.13^\circ$ 有效值为 3V.

② u_{s2} 单独作用时, $I_2 = \frac{24}{6} = 4A$

$I = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5A$, 电流表读数为 5A

$P = UI \cos(\varphi_u - \varphi_i) = 30.3 \cos(-90^\circ + 143.13^\circ) = 54W$



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

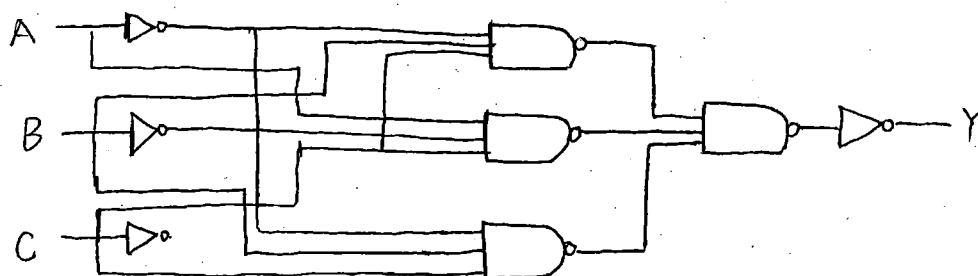
地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

4. 模电教材 P144 5.2.1 集成运放的组成

5. $Y = \overline{ABC} + \overline{A}BC + A\overline{B}C$

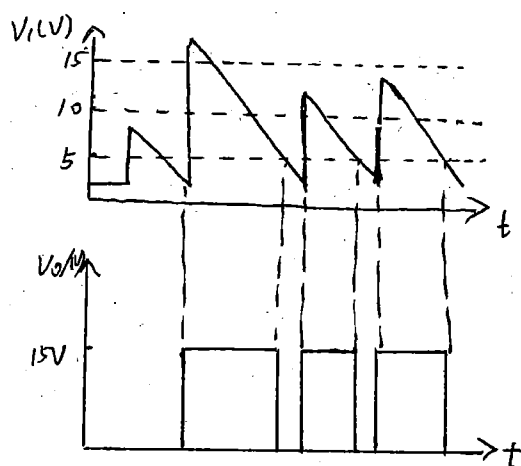
$$= \overline{ABC} \cdot \overline{A}BC \cdot \overline{A}BC = \overline{\overline{ABC} \cdot \overline{A}BC \cdot \overline{A}BC}$$



6. 1) $V_{T+} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times \frac{V_{DD}}{2} = 10V$

$$V_{T-} = \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) \times \frac{V_{DD}}{2} = 5V$$

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = 5V$$





7. 1) 由图可知, $\angle \dot{A}\dot{F} = 60^\circ$, $|\dot{A}\dot{F}| = 1000$

$$\text{则 } |\dot{A}| = \frac{1000}{|\dot{F}|} = 10000$$

$$|\dot{A}_f| = \frac{1}{|\dot{F}|} = 10$$

$$12) \quad \dot{A} = \frac{10^4}{(1+j\frac{f}{10})(1+j\frac{f}{10^3})}$$

$$13) \quad \varphi_A + \varphi_F = -\arctan \frac{f}{10} - \arctan \frac{f}{10^3}$$

$$\text{令 } \varphi_{AF} = -\arctan \frac{f}{10} - \arctan \frac{f}{10^3} = -180^\circ$$

$$\text{解得 } f_c = \infty$$

设图6中, 幅频特性与横坐标的交点为 f_0 , 则 $f_0 < \infty$

即 $f_c > f_0$, 说明这个负反馈放大电路不会产生自激振荡, 能够稳定工作。

$$8. \text{ 单拍: } \theta_{b1} = \frac{360}{50 \times 2} = 36^\circ$$

$$\text{双拍: } \theta_{b2} = \frac{360}{50 \times 2 \times 2} = 18^\circ$$

$$\text{单拍正转: } A \rightarrow B \rightarrow A \quad \text{单拍反转: } B \rightarrow A \rightarrow B$$

$$\text{双拍正转: } A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BA \rightarrow A \quad \text{双拍反转: } A \leftarrow AB \leftarrow B \leftarrow BA \leftarrow A$$

$$9. \quad \begin{cases} i_c = \sqrt{2} I_c \sin \omega t \\ i_f = \sqrt{2} I_f \sin(\omega t - 90^\circ) \end{cases}$$

$$\text{则 } \begin{cases} F_c = K U_c I_c \sin \omega t \cos x = F_{c0} \sin \omega t \cos x \\ F_f = F_{f0} \sin(\omega t - 90^\circ) \cos(x - 90^\circ) \end{cases}$$

进一步解

$$\begin{cases} F_c = \frac{1}{2} F_{c0} \sin(\omega t - x) + \frac{1}{2} F_{c0} \sin(\omega t + x) \\ F_f = \frac{1}{2} F_{f0} \sin(\omega t - x) + \frac{1}{2} F_{f0} \sin(\omega t + x - 180^\circ) \end{cases}$$

第 页

$$\text{若 } F_{c0} = F_{f0}, \text{ 则 } F = F_c + F_f = F_{c0} \sin(\omega t - x), \text{ 即}$$



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

10. 见2009年元件部分第5题

11. 设位置为 $\theta = 0.1 \sin 10\pi t$

$$\text{则 } \dot{\theta} = 0.1 \times 10\pi \cos 10\pi t$$

$$\ddot{\theta} = -0.1 \times 10\pi \times 10\pi \sin 10\pi t$$

\therefore 转速至少为 $\pi \text{ rad/s}$

$$T_{em} = J\ddot{\theta} = 5 \times 10\pi^2 = 50\pi^2, \text{ 为所需电机的转矩}$$

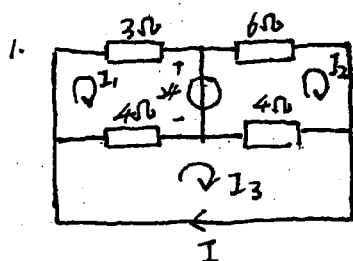
12. ① $T_m \gg T_e = 60 \text{ ms}$. 可以看出 $T_m > \frac{1}{100} \times 1000 = 10 \text{ ms}$

可知电机不能跟踪 10 ms 的位置信号。

② 直流电机最大转矩为 510 Nm , 额定转矩一般为 235 Nm 左右, 在 500 Nm 下运行会发生电机过载, 发热, 损坏电机。



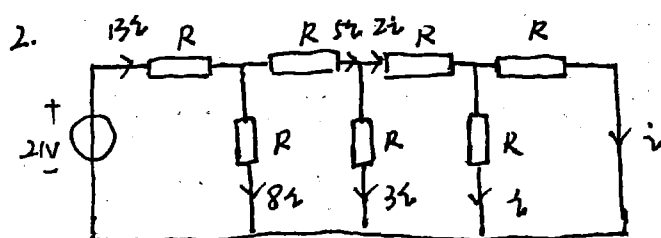
2012年



由回路电流法：

$$\begin{cases} 3I_1 + 24 + (I_1 - I_3) \times 4 = 0 \\ 6I_2 + 4(I_1 - I_3) = 24 \\ 4(I_1 - I_3) + 4(I_2 - I_3) = 0 \end{cases}$$

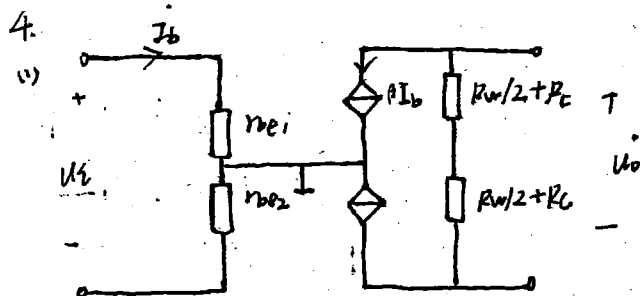
解得， $I_3 = -1A$ ， $I = -1A$



得 $(13\Omega + 8\Omega)R = 21V$ ，得 $I = 1A$

3. 对于负反馈电路， $1 + \dot{A}\dot{F}$ 称为反馈深度，若 $|\dot{A}\dot{F}| \gg 1$ ，则称电路为深度负反馈，此时闭环放大倍数 $\dot{A}_f = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}} \approx \frac{1}{\dot{F}}$

作用：深度负反馈放大电路的放大倍数 A_f 基本与放大网络的放大倍数无关，主要取决于反馈网络的反馈系数 F 。因而，即使因为温度等因素变化导致放大网络放大倍数 A 发生变化，只要 F 的值一定，就能保持闭环放大倍数 A_f 稳定。



$$(2) U_i = I_b \times 2r_{be}$$

$$U_o = -\beta I_b (R_w/2 + R_c)$$

$$\therefore A_d = \frac{U_o}{U_i} = - \frac{\beta (\frac{R_w}{2} + R_c)}{r_{be}}$$

$$(3) R_i = 2r_{be}$$

$$R_o = 2R_c + R_w$$

$$5. (1) Y = A_2 A_1 A_0 D_7 + A_2 A_1 \bar{A}_0 D_6 + A_2 \bar{A}_1 A_0 D_5 + A_2 \bar{A}_1 \bar{A}_0 D_4 \\ + \bar{A}_2 A_1 A_0 D_3 + \bar{A}_2 A_1 \bar{A}_0 D_2 + \bar{A}_2 \bar{A}_1 A_0 D_1 + \bar{A}_2 \bar{A}_1 \bar{A}_0 D_0$$

$$\therefore D_1 = D_4 = D_5 = 0$$

$$\therefore Y = A_2 A_1 A_0 D_7 + A_2 A_1 \bar{A}_0 D_6 + \bar{A}_2 A_1 A_0 D_3 + \bar{A}_2 A_1 \bar{A}_0 D_2 + \bar{A}_2 \bar{A}_1 \bar{A}_0 D_0$$

$$(2) A_2 A_1 A_0 \text{ 从 } 000 \sim 111 \text{ 连续变化时, } Y \text{ 从 } D_0 \text{ 变化到 } D_7, \text{ 为 } 10110011$$





6. (1) S 未按下，电路为单稳态触发器，并且处于稳态。

(2) S 相当于触发信号

$$t_w = 1/RC = 10 \Rightarrow R = 909.1 k\Omega$$

7. (1) 灵敏度是反馈控制系统的一个重要的控制系统指标，表示了闭环传递函数对对象变化的敏感度，定义了系统的灵敏度 S ：

$$S = \frac{d \ln T}{d \ln G} = \frac{dT/T}{dG/G}$$

(2)

① 灵敏度最大值 M_s 作用闭环系统鲁棒性的一个指标，反应了系统的稳定程度。

② 灵敏度表示了系统在输入 r 和干扰 d 作用下的性能，表示了系统跟踪输入信号的能力。

8. (1) 乘性不确定性： $G(j\omega) = [1 + \Delta(j\omega)] G_0(j\omega)$ ，其中 $|\Delta(j\omega)| < |\Delta(j\omega)|$ ， $|\Delta(j\omega)|$ 表示了实际 $G(j\omega)$ 偏离模型的相对值的界限。

$$\text{鲁棒稳定条件：} \left| \frac{G_0 k}{1 + G_0 k} \right| < \frac{1}{|\Delta|}$$

(2) 乘性不确定性降低系统带宽，对控制系统设计特别是高频未建模部分施加了一个严格的约束。



9. 由 $n_s = \frac{60f}{p}$ 可知，当 $p=1, 2, 3, 4$ 时， n_s 分别为 3000、1500、1000、750

∴ 果乙电机都是四对极电机。

$$s_1 = \frac{750 - 720}{750} = 0.04$$

$$s_2 = \frac{750 - 715}{750} = 0.033$$

10. 由图知， $\omega_{max} = 20$ ，减速比为 1:10，驱动电机的最高转速 $\omega_{max} = \omega_{max} \times 10 = 200 \text{ rad/s}$

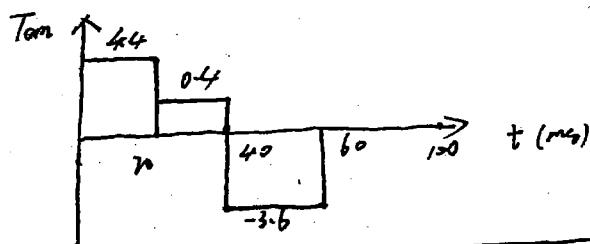
计算峰值力矩要找工件运动加速度最大的时刻。

$$a_{max} = \frac{\omega_{max}}{t} = 10^4$$

$$J = J_m + \frac{J_L}{10^2} \text{ (电机折算的转动惯量)} = 4 \times 10^{-4}$$

$$\text{则 } T_{em} = J a_{max} + T_f = 44 \text{ Nm}$$

求这力矩的计算见书 P29 (1-94)



$$T_{rms} = \sqrt{\frac{44^2 \times 0.02 + 0.4^2 \times 0.02 + 3.6^2 \times 0.02}{0.1}}$$

$$= 2.54 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(一个周期 100ms, 别看错了)



2013

1. 回路电流法:

$$\begin{cases} -5I_1 + 40I_2 - 30I_3 = 20 \\ -20I_1 - 30I_2 + 50I_3 = -5 \\ I_1 = 1A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = 1A \\ I_2 = 2A \\ I_3 = 1.5A \end{cases}$$

$$\therefore I = I_2 - I_3 = 0.5A$$

2. 当 $t=0$ 时, $u(0^+) = 1$, $i(0^+) = 0$

s 由 a 转向 b 时

$$Z = Z_0 \parallel Z_{R+L} = \frac{10s+70}{s^2+7s+10}$$

$$\therefore U(s) = Z(s) \cdot I'(s) = \frac{10s+70}{s^2+7s+10} \times \frac{1}{s}$$

$$\therefore I(s) = \frac{U(s)}{Z(s)} = \frac{\frac{5}{s}}{s+2} - \frac{\frac{2}{3}}{s+5}$$

$$\therefore i(t) = \frac{5}{3} e^{-2t} - \frac{2}{3} e^{-5t} \quad (t \geq 0)$$

3. (1) 发射结正偏, 集电结反偏

(2) 直接耦合、阻容耦合、变压器耦合、光电耦合

(3) 输入阻抗大, 抑制温漂, 抑制共模信号, 差模放大倍数高

(4) 幅值条件: $|AF| = 1$

相位条件: $\varphi_A + \varphi_F = \pm(2n+1)\pi$



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

4. (1) $U_F = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_0$

$F_u = \frac{U_F}{U_0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

(2) $|A_{uf}| = \frac{A_{u1}}{1 + A_{u1} F_u} = 100$

则 $|F_u| = 0.009$, $\frac{R_2}{R_1} = 110.1$

(3) $|A_{uf}| = \frac{0.8 A_{u1}}{1 + 0.8 A_{u1} F_u} = 97.5$, 下降了 2.5%

存储容量 = 字位数 × 位数

5. (1) $2^7 \times 2^4 = 2^{11}$ ~~容量~~ 容量 = $2^{11} \times 8 \text{ (bit)} = 2 \text{ KB}$

字位数 = 2^n (n 为地址位数)

(2) 表格中 $A_3 A_2 A_1 A_0 = 0110$ 时, $D_7 \dots D_0 = B E H = 1011110$

显示 6

(3) 真值表

A_3	A_2	A_1	A_0	Z
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0

则 $Z = \bar{A}_3 \bar{A}_2 \bar{A}_1 \bar{A}_0$
 $= \bar{A} B C D$



哈尔滨工业大学

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

6.10 真值表

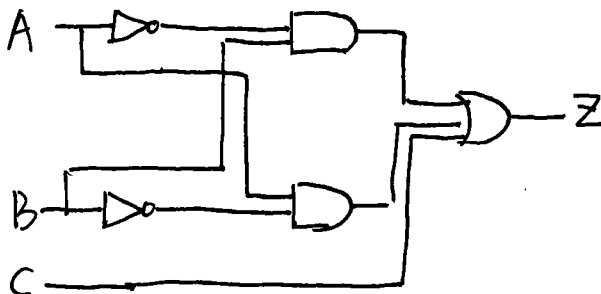
A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0

1. 卡诺图

A \ BC	00	01	11	10
0		1	X	1
1	1	1	X	

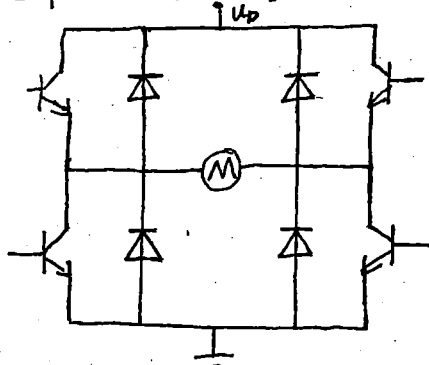
$$Z = A\bar{B} + C + \bar{A}B$$

13)



7. 1) 应选择绝对式编码器，增量式编码器可能达不到要求。

14)



2) 直流电机四象限工作状态通过电机的转速和转矩的方向来判断，

14) 电机有一种工作状态，制动有两种（能耗、反接）

15) 关闭 U_d ，此时电流转矩与转速方向相反，即实现了能耗制动。



8. $v_{max} = 16 \text{ m/s}$ $\omega_{max} = \frac{v}{r} \times 10 (\text{减速比}) = 640 \text{ rad/s}$

上使时 $a_{max} = 0.2 \times 10 = 2 \text{ m/s}^2$ $a_{max} = 2 \text{ m/s}^2$

则拉力 $F_{max} = F_m + F_f = 800 \times 2 + 600 = 2200 \text{ N}$

$T_{max} = \frac{F_{max} \times r}{2 \times 10} = 27.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ (两台伺服电机)

9. (1) 静态误差表示了系统的误差与常值输入(位置、速率、加速度)的值。

$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} e(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1+G(s)}$ 其中:

系统型别	位置	速度	加速度
0	$1/(1+K_p)$	∞	∞
I	0	$1/K_v$	∞
II	0	0	$1/K_a$

动态误差系数 $e(t)$ 看作如下形式:

$e(t) = C_0 r + C_1 \dot{r} + \frac{C_2}{2!} \ddot{r} + \dots$ 其中, $C_0, C_1, C_2 \dots$ 是相应的动态误差系数。

C_2	I型
C_0	0
C_1	$1/k$
$\frac{C_2}{2!}$	$\frac{a_1 - b_1}{k} + \frac{1}{k^2}$

10. (1) 齿隙描述函数的负倒特性 $-1/N$ 位于第三象限, 而II型系统必然经过第三象限, 两者必然相交, 形成自振荡。

(2) 控制自振荡幅值; 采取措施消除齿隙影响, 如采用两个电机。

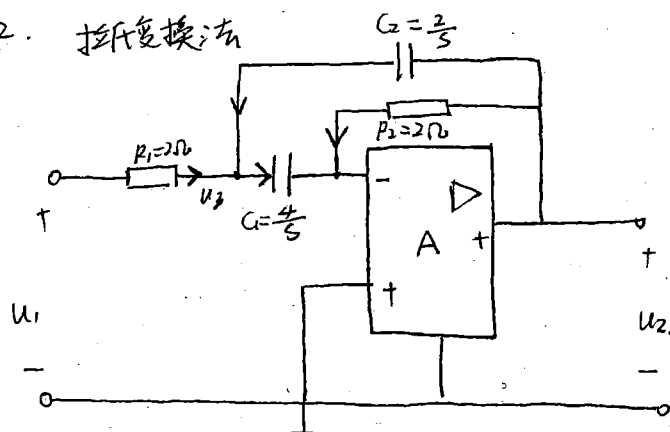


2014

$$1. \begin{cases} -\frac{1}{2}\varphi_1 + (\frac{1}{2} + \frac{1}{2})\varphi_2 - \frac{1}{2}\varphi_3 = -\frac{3}{2}u \\ -\frac{1}{2}\varphi_2 + \frac{1}{2}\varphi_3 = 2 - u \\ \varphi_1 = 4V \\ \varphi_3 = u \\ p = u \cdot i = 2 \end{cases}$$

解得 $\begin{cases} i = 1A \\ u = 2V \end{cases}$ 或 $\begin{cases} i = 2A \\ u = 1V \end{cases}$

2. 拉氏变换法



(1) 根据基尔霍夫电流定律：

$$\begin{cases} \frac{u_1 - u_3}{2} + \frac{u_2 - u_3}{\frac{2}{s}} = \frac{u_3 - 0}{\frac{4}{s}} \\ \frac{u_2 - 0}{\frac{4}{s}} + \frac{u_2 - 0}{2} = 0 \end{cases}$$

解得 $\frac{u_2(s)}{u_1(s)} = -\frac{s}{s^2 + 3s + 2} = \frac{1}{s+1} - \frac{2}{s+2}$

则 $h(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{u_2(s)}{u_1(s)}\right] = e^{-t} - 2e^{-2t}$

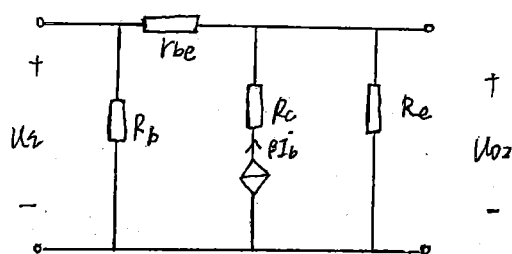
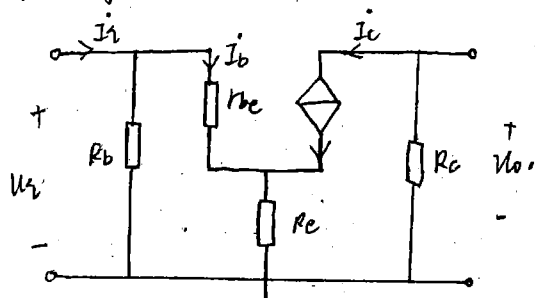


12) $|H(j\omega)| = \left| \frac{j\omega}{(j\omega+1)(j\omega+2)} \right|$, 带通滤波器

13) 将 $\omega=\sqrt{2}$ 代入 $H(j\omega)$ 中, 得 $H(j\sqrt{2}) = -\frac{1}{3}$

则 $u_2(t) = u_1(t) H(j\sqrt{2}) = 10 \cos(\sqrt{2}t - 120^\circ)$

3. 1) 微变等效电路.

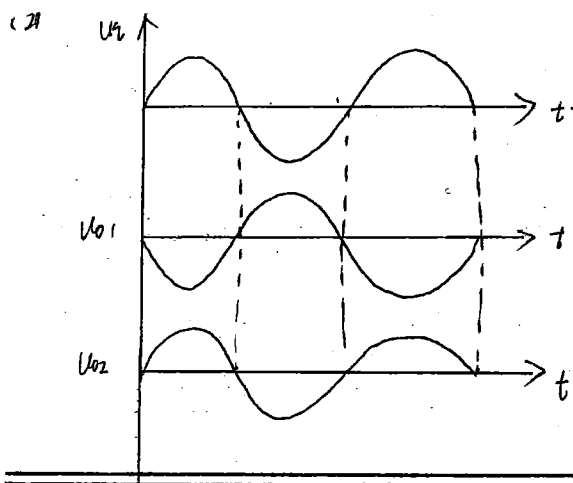


$$U_i = I_b r_{be} + I_e R_e = [r_{be} + (1+\beta)R_e] I_b$$

$$U_o = -\beta I_b R_c$$

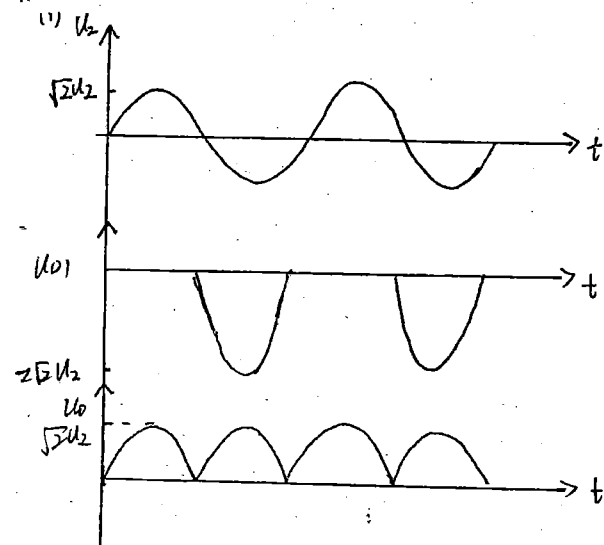
$$A_{u1} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{\beta R_c}{r_{be} + (1+\beta)R_e}$$

$$A_{u2} = \frac{U_{o2}}{U_i} = \frac{(1+\beta)R_e}{r_{be} + (1+\beta)R_e}$$





4.



(2) 整流输出电压平均值 $U_{O(AV)} = 0.9U_2$, 平均电流 $I_{O(AV)} = \frac{0.9U_2}{R_L}$

(3) 二极管平均电流为 $I_{D(AV)} = \frac{I_{O(AV)}}{2} = \frac{0.45U_2}{R_L}$

所承受的最大反向电压为 $2\sqrt{2}U_2$ 。

5.

真值表

CP	R	S	Q^{n+1}	\overline{Q}^{n+1}	
0	X	X	Q^n	\overline{Q}^n	保持
1	0	0	Q^n	\overline{Q}^n	保持
1	0	1	1	0	置1
1	1	0	0	1	置0
1	1	1	0	0	禁团

状态方程: $Q^{n+1} = S + \overline{R}Q^n$



6. 驱动方程 $J_1 = X, K_1 = X, J_2 = \bar{X}Q_1^n \bar{Q}_2^n, K_2 = \bar{X}Q_1^n Q_2^n$

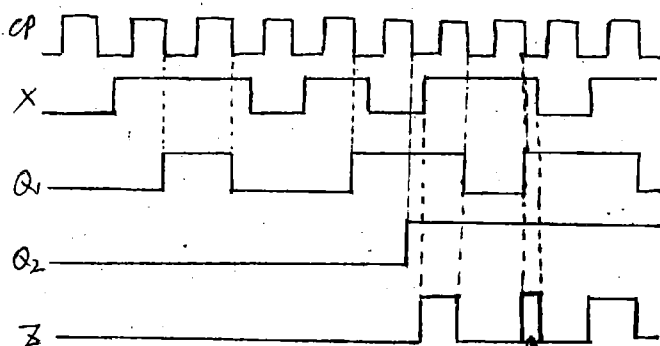
又 $Q^{n+1} = JQ^n + \bar{K}Q^n$

$Q_1^{n+1} = XQ_1^n + \bar{X}Q_1^n$

$Q_2^{n+1} = \bar{X}Q_1^n \bar{Q}_2^n + \overline{\bar{X}Q_1^n Q_2^n} Q_2^n$

$Z = X \cdot Q_1^n \cdot Q_2^n$

则波形图为



7. (1) 占空系数 $\gamma = 0.6, \therefore \gamma = \frac{1}{1+p} \Rightarrow p = 0.6$

$U_0 = E_p = 0.6 \times 100 = 60V$

稳定时 $T_{em} = T_f = 10Nm$ 又 $T_{em} = K_e I_a \Rightarrow I_a = 20A$

$U_0 = K_a I_a + E_a$

$E_a = K_e \omega$ 得 $\omega = 80 rad/s$

(2) 1: $M \rightarrow R \rightarrow L \rightarrow VD_3 \rightarrow E$

电池E输入功率, 电机反电势输出功率, 电感L输出功率

2: $E \rightarrow V_1 \rightarrow L \rightarrow R \rightarrow M \rightarrow E$

电池E输出功率, 电机反电势输入功率, 电感L输入功率

3: $L \rightarrow R \rightarrow M \rightarrow VD_1 \rightarrow L$

电池E无功率输入或输出, 电机反电势输入功率, 电感L输出功率

4: $V_2 \rightarrow M \rightarrow R \rightarrow L \rightarrow V_2$

电池E无功率输入或输出, 电机反电势输出功率, 电感L输入功率



13) 编码器分辨率应在 $0.01 \times \frac{1}{3}$ 至 $0.01 \times \frac{1}{4}$ 之间

即 $0.0025 \sim 0.0033$ 之间

15位: $\Delta\theta = \frac{360^\circ}{2^{15}} = 0.011^\circ$

17位: $\Delta\theta = \frac{360^\circ}{2^{17}} = 0.0027^\circ$

19位: $\Delta\theta = \frac{360^\circ}{2^{19}} = 0.00069^\circ$

8192线 $\Delta\theta = \frac{360}{8192 \times 4} = 0.011$ 不符合

18000线 $\Delta\theta = \frac{360}{18000 \times 4} = 0.005$ 不符合

36000线 $\Delta\theta = \frac{360}{36000 \times 4} = 0.0025$ 符合
 $\therefore 17$ 位符合要求

8) 见 2011年第9题

1) $n_s = \frac{60f}{p} \approx 1460$ 则 $p=2$

$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0.0267$

$f = s \cdot f = 0.0267 \times 50 = 1.33$

3) 幅值控制、相位控制、幅相控制、双相控制

调速范围适合风机类负载。

9. 1) 相关函数就是均值为零的协方差函数有:

$R(\tau) = E[x(t) x(t+\tau)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 p(x_1, x_2; \tau) dx_1 dx_2$ 其中 τ 表示了两个随机变量 $x(t)$ 和 $x(t+\tau)$ 时间间隔。

2) 相关函数: $R(\tau) = a^2 e^{-a|\tau|}$, 其中 a^2 表示信号取平方后的均值。

谱密度: $\phi(\omega) = \frac{a^2}{\pi} \cdot \frac{2}{\omega^2 + a^2}$ 又表示信号单位时间的变化次数。

10. 1) 带宽代表复现系统精度, 反映了系统的响应速度, 是一种反馈系统性能, 带宽越高, 系统的抑制干扰越强。

2) 开环定义带宽的方式即是 bode 图中的穿越频率;

闭环定义是信号的频率衰减到 0.7 时的频率范围。



哈尔滨工业大学

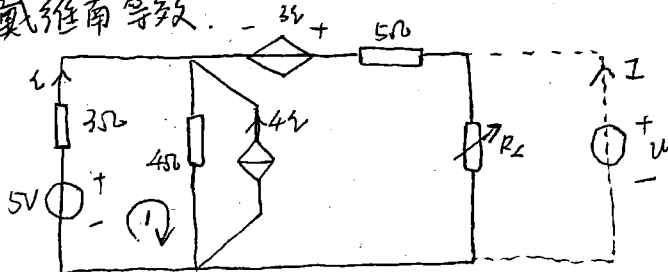
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

2015

1. 戴维南等效



沿回路1列KVL方程

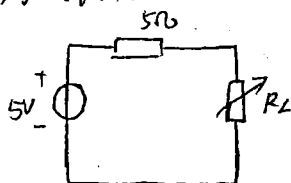
$$3i + 4(5i + I) = 5$$

沿外回路列KVL方程

$$U = 5I + 3i + 5 - 3i$$

$$= 5 + 5I$$

∴ 等效电路为

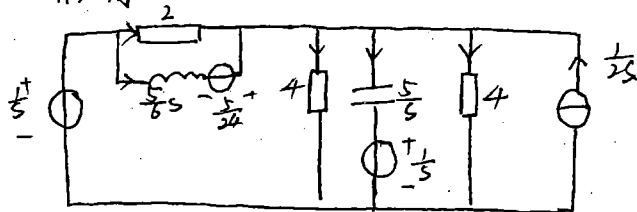


当 $R_L = 5\Omega$ 时, $P_{max} = \frac{U_{oc}^2}{4R} = 1.75W$

2. 拉氏变换

开关闭合前 $i_L(0^-) = 0.75A$, $U_C(0^-) = 1V$

开关闭合后



列KCL方程

$$\frac{1}{s} - \frac{U}{2} - \frac{5}{s}U + \frac{1}{s} + \frac{1}{2s} - \frac{U}{2} + \frac{6}{5s^2} - \frac{6}{5s}U + \frac{1}{4s} = 0$$

解得 $U = \frac{1}{s} + \frac{5}{4} \cdot \frac{1}{s+2} - \frac{5}{4} \cdot \frac{1}{s+3}$

∴ $U(t) = 1 + \frac{5}{4}e^{-2t} - \frac{5}{4}e^{-3t} \quad (t \geq 0)$



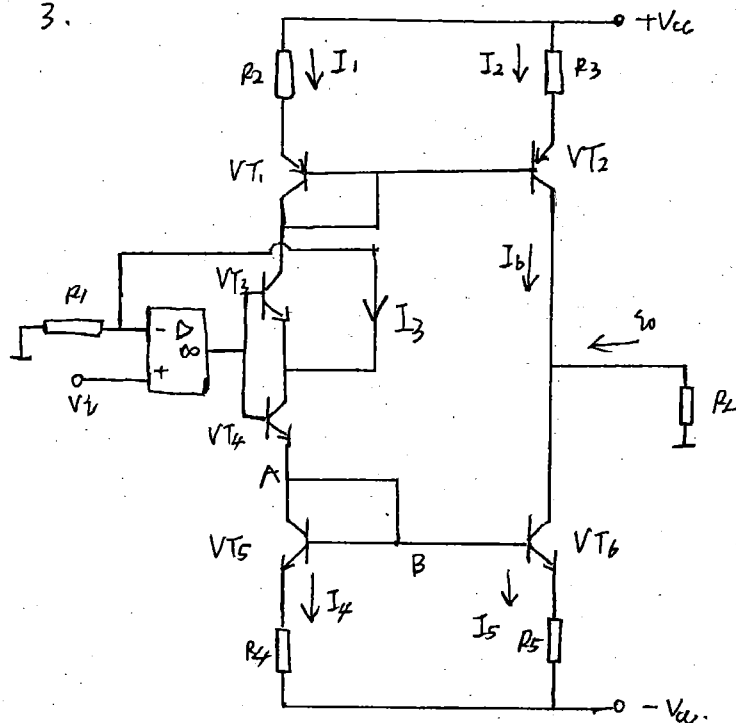
哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

3.



注意看我在图中的标注

$$I_3 = \frac{0 - v_i}{R_1} = -\frac{v_i}{2R}$$

$$I_4 \approx I_1 + I_3 = I_1 - \frac{v_i}{2R}$$

$$I_b \approx I_2 \approx \frac{1}{2} I_1$$

$$I_5 \approx \frac{1}{2} I_4 = \frac{1}{2} I_1 - \frac{v_i}{4R} \quad (\text{因为A, B电位相同})$$

$$\therefore i_o + I_b = I_5 \quad \text{得}$$

$$i_o = -\frac{v_i}{10R} = -\frac{1}{10R} U_m \cos \omega t$$



4.

(1) 设 A_1 的同相输入端电压为 u_1^+ ，反相输入端电压为 u_1^- ， A_2 同理设为 u_2^+ ， u_2^-

VT 导通时 $u_1^+ = \frac{R_4}{R_3+R_4} V_2 = \frac{1}{3} V_2$ ，根据虚短 $u_1^- = u_1^+ = \frac{1}{3} V_2$

∴ 电容 C 和电阻 R_2 上的电流从右向左，即

$$C \frac{d(u_{o1} - u_1^-)}{dt} = \frac{u_1^- - 0}{R_2} \quad (R_1, R_2 \text{ 中点电位为零, 因为 VT 接地})$$

得 $v_{o1} = \frac{100}{3} V_2 (t_1 - t_0) + v_{o1}(t_0)$

VT 截止时，

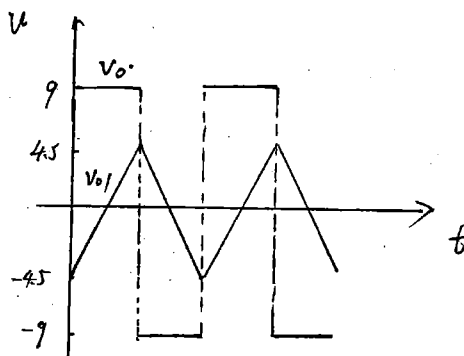
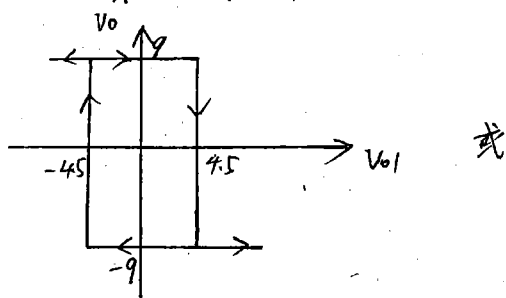
同理可得，根据虚断，

$$\frac{V_2 - u_1^-}{R_1 + R_2} + C \frac{d(u_{o1} - u_1^-)}{dt} = 0$$

得 $v_{o1} = -\frac{100}{3} V_2 (t_2 - t_1) + v_{o1}(t_1)$

根据 A_2 ，得 v_{o1} 的最大最小值为 $\pm \frac{R_6}{R_6+R_7} V_2 = \pm 4.5V$

∴ V_o 和 v_{o1} 的波形为 (两种新波形)



(2) v_{o1} 的半个周期内变化 9V

即 $\frac{100}{3} \times V_2 \times \frac{T}{2} = 9 \quad T = \frac{27}{50 V_2}$

$f = 185 - V_2$



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

5.

11) 该逻辑函数的真值表为：

A_0	A_1	A_2	A_3	Y
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0

12)

$$Y = \sum m(0, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 14)$$

13)

$A_0 A_1$	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	0	0	1
11	0	0	0	1
10	1	1	1	1

$$Y = \bar{A}_1 + A_0 \bar{A}_3 + \bar{A}_0 \bar{A}_3$$

6. 设 $A \rightarrow A_0$, $B \rightarrow A_1$, $C \rightarrow A_2$

$A_0(A)$	$A_1(B)$	$A_2(C)$	灯亮	Y_i
0	0	0	G	Y_0
0	0	1	G·Y	Y_1
0	1	0	G·Y	Y_2
0	1	1	Y	Y_3
1	0	0	G·Y	Y_4
1	0	1	Y	Y_5
1	1	0	Y	Y_6
1	1	1	R	Y_7

$$R = \bar{Y}_7 \quad G = Y_0 + Y_1 + Y_2 + Y_4 = \bar{Y}_0 \cdot \bar{Y}_1 \cdot \bar{Y}_2 \cdot \bar{Y}_4$$

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 = \bar{Y}_0 + Y_7 = \bar{Y}_0 \cdot \bar{Y}_7 \quad \text{, 接线图略}$$



7. (1) 所需时间最短, 加速度最大, 转矩最大

$$T_{em} = k_t \cdot I_{amax} = 0.05 \times 0.5 = 0.025 \text{ N.m}$$

$$\text{则输出转矩 } T_2 = T_{em} - T_f = 0.025 - 0.005 = 0.02 \text{ N.m}$$

$$\alpha = \frac{T_2}{J} = 0.5 \text{ rad/s}^2, \text{ 则 } t = \frac{\omega}{\alpha} = 900 \text{ s}$$

$$\text{若稳速运行, 则 } T_{em} = k_t \cdot I = T_f, I = 0.1 \text{ A}$$

$$(2) E = k_e \omega = 22.5 + 55 \sin(2\pi t)$$

$$\because U_{av} = U_0 \left(\frac{2b_m}{T} - 1 \right) = 28(2D - 1), D \text{ 为占空比}$$

若不考虑电阻和电感压降

$$U_{av} = E, \text{ 即 } 28(2D - 1) = 22.5 + 55 \sin(2\pi t)$$

$$\therefore D = 0.9 + 0.089 \sin(2\pi t)$$

$$(3) \text{ 该脉冲信号的频率 } f = 500 \times 20 \times 4 / 2\pi = 81487 \text{ Hz}$$

$$\text{传感器每转产生的脉冲数 } p = 256 \times 4 = 1024 \text{ (个)}$$

设在检测时间段 $T_g(s)$ 内测得的脉冲数为 m , 则

$$\text{转速 } n \text{ 为 } n = \frac{2\pi n_1}{1024 T_g}$$

$$8. (1) E = k_e \omega, T_{em} = k_t I_a$$

$$U_a = L \frac{dI_a}{dt} + R I_a + E_a$$

$$T_{em} = T_0 + T_L + J \frac{d\omega}{dt}$$

(2) 见 图 1-42, 推导过程见 (1-66), (1-67)

(3) 电机的传递函数可以等效为一阶传递函数

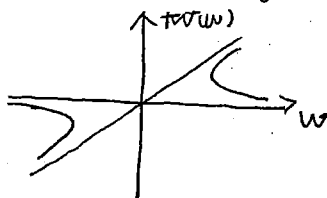
则时间常数等于绕组电流上升到稳态值的 63.2%

所需的时间。



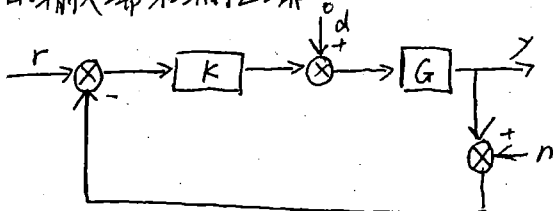
7. (1) 傅里叶积分将一非周期函数 $f(t)$ 分解为各次谐波，每一个谐波的幅值由式 $\frac{1}{2\pi} F(j\omega) d\omega$ 表示，一般用相对幅值 $F(j\omega)$ 来表示频谱，表示的是该非周期信号谐波的分布特性，故 $F(j\omega)$ 称为信号的频谱特性，也就是频谱。

(2) $F(j\omega) = \pi\sigma(\omega) + \frac{1}{j\omega}$



高频时衰减很快。

10. (1) 噪声一般是由测量带来，常和有用信号在一起，并且无法分离，干扰是作用在系统上的外加信号，一般是可以测量的或者能观测的，所以常作用于系统的输入端和输出端。



(2) 均方误差 $\bar{\epsilon}^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \epsilon^2(t) dt$

(3) 先求取相关函数：

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) x(t+\tau) dt;$$

由相关函数求取谱密度：

$$\phi_s(\omega) = |G_s(j\omega) \phi_r(\omega)|^2 = |H(j\omega)|^2 \text{ 其中}$$

$$\phi_{\epsilon}(\omega) = |G_s(j\omega)|^2 \phi_r(\omega); \phi_r(\omega) = \phi_l(\omega) \phi_l^*(\omega)$$

均方误差公式：

$$\bar{\epsilon}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |H(j\omega)|^2 d\omega$$



哈尔滨工业大学

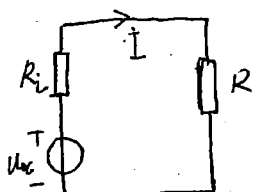
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

2016

1. 将线性含源电阻网络进行戴维南等效



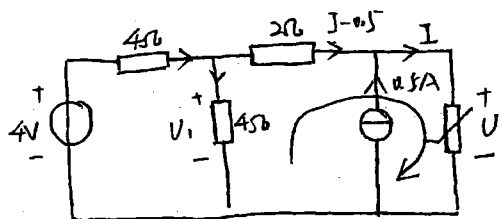
当 $R=1\Omega$ 时 $I = \frac{U_{oc}}{R_1 + R} = 4A$

当 $R=2\Omega$ 时 $I = \frac{U_{oc}}{R_1 + R} = 3A$

当 $R=10\Omega$ 时, $I = 1A$

$$\Rightarrow \begin{cases} U_{oc} = 12V \\ R_1 = 2\Omega \end{cases}$$

2.



列KVL方程, 得 $U_1 - 2(I - 0.5) = U$

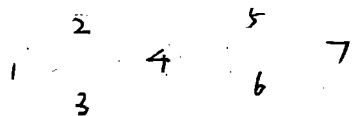
列大回路的KVL方程, 得 $4(\frac{U_1}{4} + I - 0.5) + U_1 = 4$

$I = \pm 2A$

当 $I = 2A$ 时, $U = -4V, U_1 = -1V$

当 $I = -2A$ 时, $U = 12V, U_1 = 7V$

3. (1)



$F_1 = \overline{A}\overline{B}, F_2 = \overline{A \cdot \overline{A}\overline{B}} = \overline{A} + \overline{A}B = \overline{A} + B, F_3 = A + \overline{B}$

$F_4 = \overline{F_2 F_3 C} = \overline{AB + \overline{A}\overline{B}} + \overline{C}, F_5 = \overline{AB + \overline{A}\overline{B}} + C, F_6 = \overline{F_4 C} = \overline{AB + \overline{A}\overline{B} \cdot C} = AB + \overline{A}\overline{B} + \overline{C}$

$Y = \overline{F_5 F_6} = \overline{AB + \overline{A}\overline{B} \cdot \overline{C} + (AB + \overline{A}\overline{B}) \cdot C} = \overline{(A \oplus B) \cdot \overline{C} + (A \oplus B) \cdot C} = \overline{A \oplus B \oplus C} = A \oplus B \oplus C$

第 页



(12) 真值表为

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

功能：奇偶校验器，当ABC中1的个数为

奇数时Y为0；偶数时Y为1。

4. (1) 驱动方程： $J_1 = \bar{Q}_3^n$, $K_1 = Q_3^n$; $J_2 = Q_1^n$, $K_2 = Q_1^n$; $J_3 = Q_1^n Q_2^n$, $K_3 = Q_3^n$

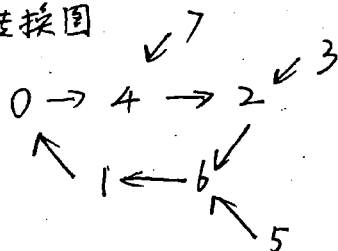
状态方程： $Q_1^{n+1} = J_1 \bar{Q}_1^n + \bar{K}_1 Q_1^n = Q_1^n Q_3^n + \bar{Q}_1^n \bar{Q}_3^n = Q_1^n \oplus Q_3^n$

$Q_2^{n+1} = J_2 \bar{Q}_2^n + \bar{K}_2 Q_2^n = Q_1^n \bar{Q}_2^n + \bar{Q}_1^n Q_2^n = Q_1^n \oplus Q_2^n$

$Q_3^{n+1} = J_3 \bar{Q}_3^n + \bar{K}_3 Q_3^n = Q_1^n Q_2^n \bar{Q}_3^n$

输出方程： $Y = Q_3^n$

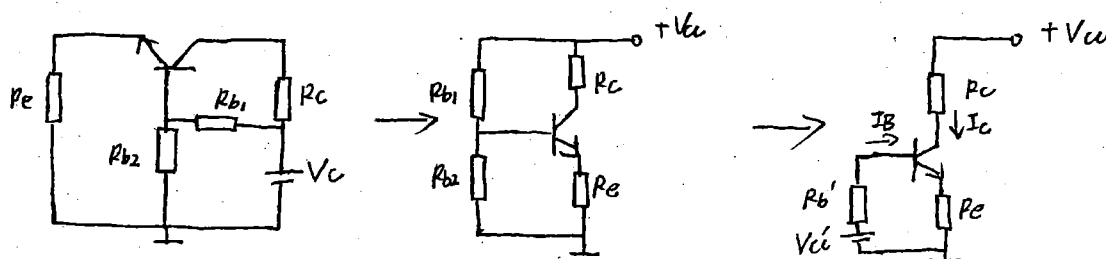
(2) 状态转换图



可以自启动。



5. 1) 直流通路



$$\text{变换后开路电压 } V_{cc}' = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{cc} = 3.175V$$

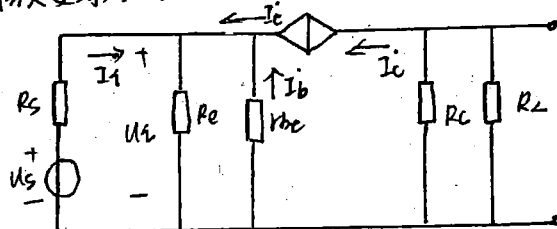
$$\text{等效电阻 } R_{b}' = R_{b1} \parallel R_{b2} = 6.875k\Omega$$

$$\text{又: } I_{BQ} R_{b}' + U_{BE} + I_{EQ} \cdot R_e = V_{cc}'$$

$$\therefore I_{BQ} = \frac{V_{cc}' - U_{BE}}{R_{b}' + (1 + \beta) R_e} = 22.3\mu A$$

$$I_{EQ} = \beta I_{BQ} = 1.11mA \quad U_{CEQ} = V_{cc} - I_{EQ}(R_c + R_e) = 4.45V$$

2) 微变等效电路: (R_{b1}, R_{b2} 被短路)



$$\text{输入电阻 } R_i = \frac{U_i}{I_i} = R_e \parallel R_{i}'$$

$$R_i' = \frac{U_i}{I_e} = \frac{U_i}{(1 + \beta) \frac{U_i}{r_{be}}} = \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

$$r_{be} = r_{bb}' + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} = 1.294k\Omega$$

$$\text{则 } R_i = R_e \parallel R_i' = 25\Omega$$

$$\text{输出电阻 } R_o = R_c = 3k\Omega$$

(3)

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{-I_c(R_c \parallel R_L)}{-I_b r_{be}} = \frac{\beta R_L'}{r_{be}} = \frac{50 \times 2.7}{1.294} = 104.33$$

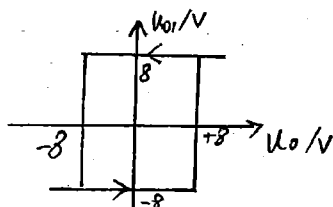
$$A_{us} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \times A_u = \frac{25}{20 + 25} \times 104.33 = 57.96$$



6. (1) A₁构成矩形波发生电路, A₂构成三角波发生电路.

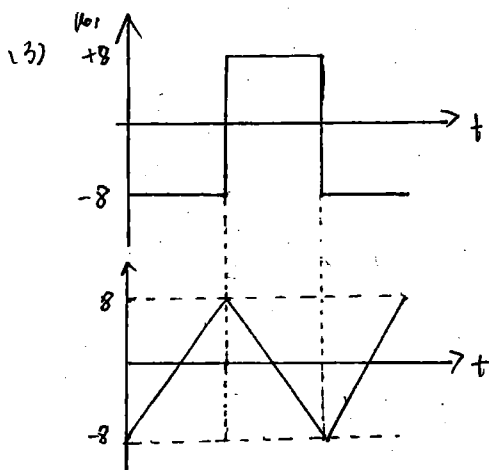
(2) 当 $U_{o1} = +8V$ 时, 电容器充电, U_o 下降, 当 U_o 下降到 $-U_{om}$ 时, U_{o1} 变为 $-8V$, 电容器放电, U_o 上升, 一直上升到 $+U_{om}$, 放电结束.

∴ U_{o1} 和 U_o 的关系曲线为:



$$U_{I+} = \frac{R_2}{R_1+R_2} U_o + \frac{R_1}{R_1+R_2} U_{o1}$$

令 $U_{I+} = U_{I-} = 0$, 得 输出电压的峰值 $\pm U_{om} = \pm 8V$



$$(4) -\frac{1}{C} \int_0^{T_1} \frac{U_z}{R_4} dt = -2U_{om}$$

$$T = 2T_1 = \frac{4R_4C}{P_2} \quad f = \frac{1}{4R_4C}$$

∴ 减小 R_4C , 使得振荡频率得以提高.



7. (1)

由 $U_N = k_e n_N + I_N R_a$ 得，当 $I_N = 68.5A$, $R_a = 0.22\Omega$, $n_N = 1500r/min$ 时 $U_N = 220V$

解得 $k_e = 0.1364$

$\therefore R_a' = \frac{U_N - k_e n}{I_N}$, n 代入 $1000r/min$, 得 $R_a' = 1.22\Omega$

$\therefore R_p = R_a' - R_a \approx 1\Omega$

(2) 根据电压平衡方程式 $U_a = I_a R_a + k_e n = 151.8V$

(3) $\phi = 0.85\phi_N$, 根据 $T_{em} = Ct\phi I_a$, 得 $I_a = \frac{1}{0.85} I_N = 80.59A$

又 $U_a = I_a R_a + C_e \phi n$

且 $C_e \phi = 0.85 \times 13.64 = 0.1159$

$\therefore n = \frac{U_a - I_a R_a}{C_e \phi} = 1742r/min$

(4) 全压启动会造成启动电流过大，可能烧毁电机。

若限制启动电流为 $2I_N$, 可以采用串电阻调速

$I_a = \frac{U}{R_a + R_p} = 2I_N$ (启动时 $E = k_e \omega = 0$)

解得 $R_p = 1.38\Omega$

8. (1) 设三相电流分别为 $i_A = \sqrt{2}I_a \sin \omega t$, $i_B = \sqrt{2}I_a \sin(\omega t - 120^\circ)$, $i_C = \sqrt{2}I_a \sin(\omega t + 120^\circ)$

则磁势 $F_A = F_{A0} \sin \omega t \cos x$, $F_B = F_{B0} \sin(\omega t - 120^\circ) \cos(x - 120^\circ)$, $F_C = F_{C0} \sin(\omega t + 120^\circ) \cos(x + 120^\circ)$

根据三角展开公式，有

$$F_A = \frac{1}{2} F_{A0} [\sin(\omega t - x) + \sin(\omega t + x)]$$

$$F_B = \frac{1}{2} F_{B0} [\sin(\omega t - x) + \sin(\omega t + x - 240^\circ)]$$

$$, F_{A0} = F_{B0} = F_{C0} = F_0$$

$$F_C = \frac{1}{2} F_{C0} [\sin(\omega t - x) + \sin(\omega t + x + 240^\circ)]$$

第 页

则合成的磁势 $F_{\Sigma} = F_A + F_B + F_C = \frac{3}{2} F_0 \sin(\omega t - x)$



(2) 线数 $n = \frac{360^\circ}{\Delta\theta} = 36000$

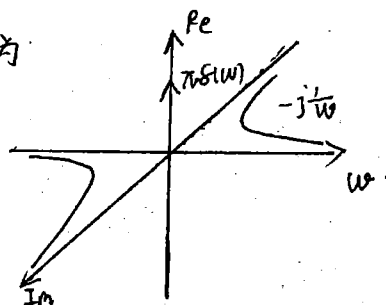
当电机转速在 $10r/min$ 时，输出信号的频率 $f = 36000 \times 10 \div 60 = 6000 \text{ Hz}$

当电机转速在 $3000r/min$ 时，输出信号的频率 $f = 3000 \times 36000 \div 60 = 1.8 \times 10^6 \text{ Hz}$

(3) 本题超纲，考试不考这部分内容。

9. (1) 阶跃信号 $1(t)$ 的频谱为 $F(j\omega) = \pi\delta(\omega) + \frac{1}{j\omega}$

频谱图为



(2) 阶跃信号的频谱高频衰减很快，只能反映系统的低频特性。

(3) ① 阶跃信号容易获取，其频谱特性分析简单。

② 其在分析系统稳定性和快速响应方面能很直观地反映出来。

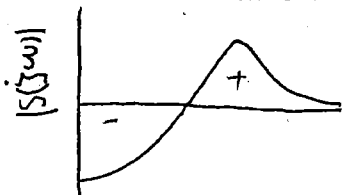
10. (1) $S = \frac{1}{1+KG}$

(2) 灵敏度表示闭环系统传递函数 T 对对象参数变化的敏感程度。

灵敏度小好。

(3) Bode 积分定理说明了对数灵敏度的积分是一个常数，如果对象是稳定的，那么这个积分等于零，即

$$\int_0^\infty \ln|S(j\omega)| d\omega = 0$$



正负面积相等。

在某一段上灵敏度压下去，在另一段上它就会冒出来，所以设计时，不可一味地将灵敏度往下压。



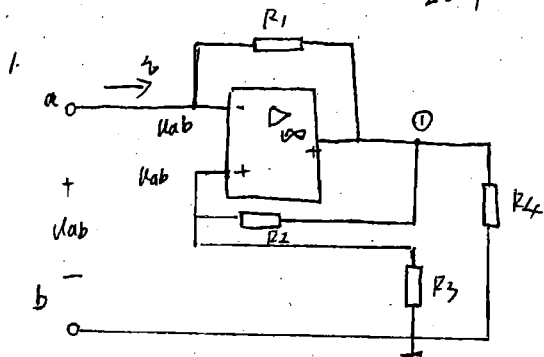
哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

2017



$u_+ = u_- = u_{ab}$ ，设节点①的电压为 u_1

则通过分压可知， $u_{ab} = u_1 \times \frac{R_3}{R_2 + R_3}$

且 $u_1 = u_{ab} - R_1 i$ ，整理得 $\frac{u_{ab}}{i} = -\frac{R_1 R_3}{R_2}$

\therefore 输入电阻 $R_{ab} = -\frac{R_1 R_3}{R_2}$

2. 设开关接通时刻为 $t=0$ ，则 u_s 的表达式为 $u_s = 90 \cos(50t) \text{ V}$

且 $u(0_+) = u(0_-) = 10 \text{ V}$

当 $t \rightarrow \infty$ 时，达到正弦稳态，列节点电压方程

$$\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{60} + j0.05\right) u_c = \frac{90 \angle 0^\circ}{30 \Omega}$$

$$u_c = 30\sqrt{2} \angle -45^\circ \text{ V}$$

\therefore 正弦稳态电压 $u_p(t) = 30\sqrt{2} \cos(50t - 45^\circ) \text{ V}$ ，时间常数 $\tau = RC = \frac{30 \times 60}{30 + 60} \times 0.001 = 0.02 \text{ s}$

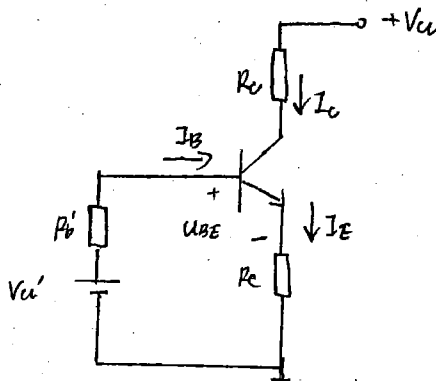
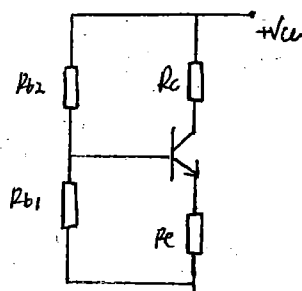
$$\therefore u(t) = u_p(t) + [u(0_+) - u_p(0_+)] e^{-t/\tau}$$

$$= 30\sqrt{2} \cos(50t - 45^\circ) + [10 - 30\sqrt{2} \cos(-45^\circ)] e^{-50t}$$

$$= 30\sqrt{2} \cos(50t - 45^\circ) - 20e^{-50t} \text{ V} \quad (t \geq 0)$$



3. 画出直流通路



$$V_{cc}' = V_{cc} \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} = 12 \times \frac{25}{10} = 3V, \quad R_{b}' = \frac{R_{b1} R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} = 1.875k\Omega$$

$$\text{则 } V_{cc}' = I_{BQ} R_{b}' + U_{BEQ} + I_{EQ} R_e$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{cc}' - U_{BEQ}}{R_{b}' + (1 + \beta) R_e} = 31.56 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 2.21 \text{ mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{cc} - I_{CQ} R_c - I_{EQ} R_e = 5.37 \text{ V}$$

若 β 减小，通过 I_{BQ} 的表达式可以看出 I_{BQ} 增大。

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = \frac{\beta (V_{cc}' - U_{BEQ})}{R_{b}' + (1 + \beta) R_e} = \frac{V_{cc}' - U_{BEQ}}{\frac{R_{b}'}{\beta} + \left(\frac{1 + \beta}{\beta}\right) R_e}$$

$\therefore \frac{1 + \beta}{\beta} \gg 1, \therefore \beta$ 减小，分母增大， I_{CQ} 减小。

$U_{CEQ} = V_{cc} - I_{CQ} (R_c + R_e)$ ，增大。



4. $\because V_{or} = 0V, \therefore$ 运算放大器反相输入端电压 $U_- = -I_1 R_1$

又 $\because U_- = -R_1 I_1$

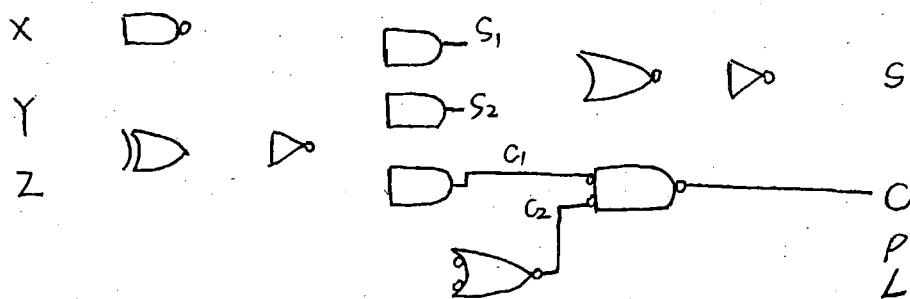
$\therefore R_1 I_1 = R_4 I_4 \quad \therefore I_4 = \frac{1}{3} I_1$

又 $\because I_1 + I_4 = 110nA \quad \therefore I_1 = 82.5nA$

\therefore 根据 $U^+ = -R_2 I_{B+} = U^- = -I_1 R_1$ 得

$R_2 = 117.86k\Omega$

5.



画图省略了接线引脚。

$S_1 = (Y \oplus Z) \bar{X}, S_2 = X(\bar{Y} \oplus \bar{Z})$

$S = S_1 + S_2 = \bar{X}(Y \oplus Z) + X(\bar{Y} \oplus \bar{Z}) = X \oplus Y \oplus Z$

$C_1 = X(Y \oplus Z) \quad C_2 = \overline{\bar{Y} + \bar{Z}} = Y \cdot Z$

$C = \overline{C_1 \cdot C_2} = C_1 + C_2 = X\bar{Y}\bar{Z} + X\bar{Y}Z + YZ$

$P = Y \oplus Z, L = YZ$

列出真值表，可知此电路的逻辑功能为全加器。



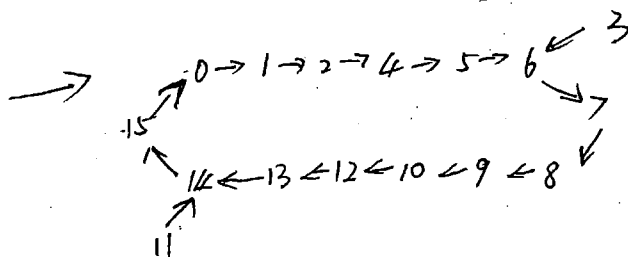
6. (1) 当 $Q_c = 0$ 时, 实现同步置数

其中 $A = \overline{Q_a + Q_b}$, $B = Q_a$, $C = Q_b$, $D = Q_d$

状态转换表

Q_d	Q_c	Q_b	Q_a	
0	0	0	0	置数
0	0	0	1	置数
0	0	1	0	置数
0	1	0	0	计数
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	置数
1	0	0	1	置数
1	0	1	0	置数
1	1	0	0	计数
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

状态转换图



1) 驱动方程 $J_1 = Q_c^n Q_f^n$, $K_1 = 1$; $J_2 = K_2 = 1$; $J_3 = \overline{Q_d^n}$, $K_3 = 1$

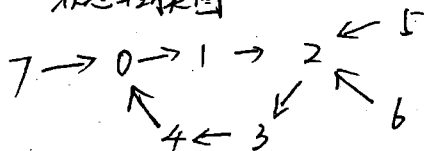
状态方程 $Q_g^{n+1} = Q_c^n Q_f^n \overline{Q_g^n}$, $Q_f^{n+1} = \overline{Q_f^n}$, $Q_e^{n+1} = \overline{Q_g^n} \overline{Q_e^n}$

Q_c 作为 FF_f 的脉冲, FF_e , FF_g 共用同一个时钟信号

∴ 状态转换表为:

Q_g	Q_f	Q_e
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
0	0	0

状态转换图



6进制计数器

第 页

(3) ∴ 时钟 CP 的频率为 14Hz , Q_d 的频率 $f_{Qd} = \frac{1}{4} CP = 1\text{Hz}$, 占空比为 50%.

Q_g 的频率 $f_{Qg} = \frac{1}{5} f_{Qd} = 0.2\text{Hz}$, 占空比为 20%.



哈尔滨工业大学

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

7. (1) $f = 2\text{Hz}$ 永磁的位置 $\gamma = \frac{\pi}{30} \sin 4\pi t$

转速 $\gamma' = \frac{\pi}{30} \cdot 4\pi \cos 4\pi t = \frac{2}{15}\pi^2$ 最大转速 $n = \frac{2}{15}\pi^2 \div (2\pi) \times 60 = 4\pi \text{ rpm}$

$\gamma'' = -\frac{\pi}{30} \cdot 16\pi^2 \sin 4\pi t \therefore$ 最大角加速度 $\alpha_{\max} = \frac{8}{15}\pi^3$

\therefore 最大转矩 $T_{\max} = J\alpha_{\max} = 80\pi^3 \text{ N}\cdot\text{m}$

12) 电路图见 2013 年第 7 题.

$$I_a = \frac{T_{\max}}{k_t} = \frac{80\pi^3}{60} = 16\pi^3 \text{ A}$$

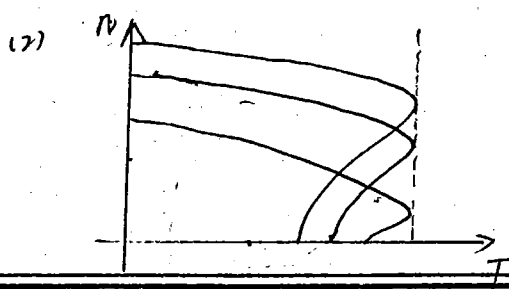
$$U_p = R_a I_a + E + 1.5 \times 2 = R_a I_a + k_e n + 3$$

$$= 4.96 + 65.34 + 3 = 73.3 \text{ V}$$

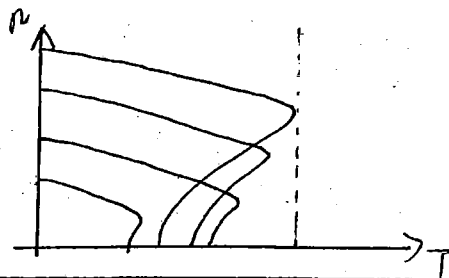
13) $\frac{360^\circ}{p \cdot 212} < 0.01^\circ$ 解得 $p > 8.78$

\therefore 极对数为 9 对.

8. (1) 当电机定子端电压 U_1 一定时, 如果降低频率 f_1 , 则气隙磁通 Φ_m 要增大. 励磁回路就会过饱和, 使励磁电流猛增, 这将使电机带负载能力降低, 功率因数变坏, 铁耗增加, 电机过热. 因此要降低电压, 保持气隙磁通不变.



保持 Φ_m 不变



保持 s 不变 第 页

(3) $n_s = \frac{60f}{p} = 800 \text{ r/min}$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 0.025$$



9. (1) 输入信号从零频率衰减到0.707时的频率范围是系统的带宽

bode图上，通常把剪切频率 ω_c 称作带宽。

$$(2) \dot{x} = -200x + 2000u + 2000d$$

则 $u \rightarrow x$ 的传递函数 $G_{ux} = \frac{2000}{s+200}$

设计合适的 $D(s)$ ，使得 $G_{ux} = \frac{k}{s(s+200)}$

若要保证系统的剪切频率 $\omega_c = 10$ ，则 $k = 2000$

$$\therefore D(s) = \frac{G_{ux}}{G_{dux}} = \frac{1}{s}$$

10. (1) 信号的平方

$$(2) \varphi(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} |X_T(j\omega)|^2$$

$X_T(j\omega)$ 为 $x_T(t)$ 的傅里叶变换，量纲为 度/(rad/s)

$\therefore \varphi(\omega)$ 的量纲为 度²/(rad/s)

面积代表方差。

(3) 谱密度是相关函数的傅里叶变换。

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega$$

$$\varphi(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$



哈尔滨工业大学

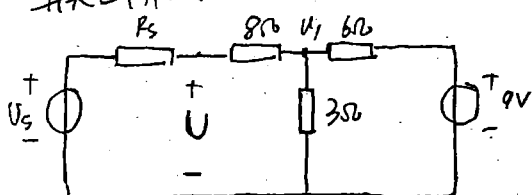
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

2018

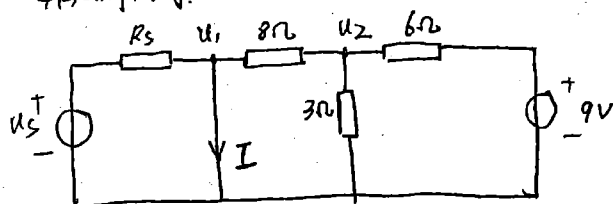
1. 开关断开时



采用节点电压法： $(\frac{1}{8+R_s} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3})U_1 = \frac{U_s}{R_s+8} + \frac{9}{6}$

$$U = U_s \times \frac{8}{8+R_s} + U_1 \times \frac{R_s}{8+R_s} = 13V \quad (1)$$

开关闭合时



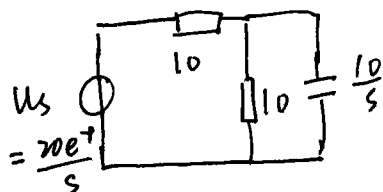
$$(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{8})u_1 - \frac{1}{8}u_2 = \frac{U_s}{R_s}$$

$$(\frac{1}{8} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3})u_2 - \frac{1}{8}u_1 = \frac{9}{6}$$

$$I = \frac{U_s - u_1}{R_s} - \frac{u_1 - u_2}{8} = 3.9A \quad (2)$$

通过式①、②，得 $U_s = 18V$ ， $R_s = 5\Omega$

2. 拉氏变换，得



$$U_0(s) = U_s \times \frac{10 \parallel \frac{10}{s}}{10 + (10 \parallel \frac{10}{s})}$$

$$= \frac{U_s}{s+2} = \frac{20e^{-t}}{s(s+2)} = 10e^{-t}(\frac{1}{s} - \frac{1}{s+2})$$

$$U_0(t) = \frac{10}{e} - 10e^{-(2t+1)}$$



3. (1) 思路：将 I_0 写成 $kI_1 + b$ 的形式， $b=0$ 即为平衡条件。

$$U_{p+} = U_2 \times \frac{R_2}{R_1+R_2} + U_2 \times \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$U_{p-} = U_1 \times \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$$\text{令 } U_{p+} = U_{p-}, \text{ 得 } U_1 = \frac{R_2(R_3+R_4)}{R_3(R_1+R_2)} U_2 + \frac{R_1(R_3+R_4)}{R_3(R_1+R_2)} U_2 \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{U_1 - U_2}{R_1+R_2} + \frac{U_1 - U_2}{R_5} \quad (2)$$

将①代入②中，得

$$I_0 = \underbrace{\left[\frac{1}{R_1+R_2} + \frac{R_2(R_3+R_4)}{R_3 R_5 (R_1+R_2)} \right]}_A U_2 + \underbrace{\left[\frac{R_1(R_3+R_4)}{R_3 R_5 (R_1+R_2)} - \frac{1}{R_5} - \frac{1}{R_1+R_2} \right]}_B U_2$$

$\because U_2 = -I_1 R$ \therefore 只要当 $B=0$ ， $-AR$ 即为放大倍数

$$\text{即 } R_1(R_3+R_4) = R_3(R_1+R_2) + R_3 R_5 \quad \text{即 } R_1 R_4 - R_3 R_5 - R_2 R_3 = 0$$

$$(2) \quad A = \frac{1}{2R} + \frac{3R^2}{2R^3} = \frac{2}{R} \quad -AR = -2$$

\therefore 电流放大倍数为 -2 倍。

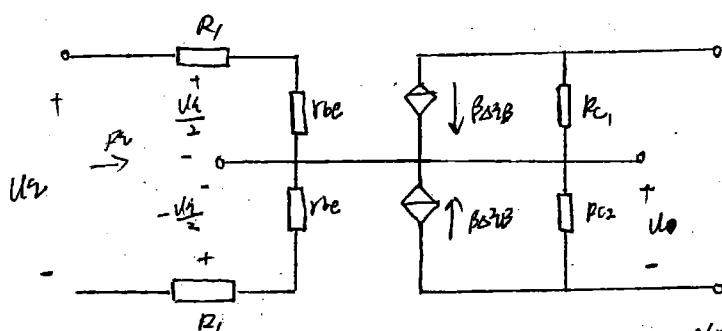


4.

1) 当 $R_W = 0$ 时，恒流源提供电流， V_{CC} 输出电流为零

1. T_2 管的静态集电极电位 $U_c = 15V - 1mA \times 5k\Omega = 10V$

差模双管等效电路 (将单端输入等效成双端输入)



输入电阻 $R_i = 2(R_1 + r_{be}) = 2(2k\Omega + 100\Omega \times \frac{26mV}{1mA}) = 4.252k\Omega$

差模放大倍数 (同相)

$$A_{ud} = \frac{\beta R_{c2}}{2(R_1 + r_{be})} = 17.59$$

当 $U_i = 2V$, $U_o = U_i \times A_{ud} = 235.18V$

12) 差模电压放大倍数基本不变

$$K_{CMR} = \frac{\beta R_W}{R_S + r_{be}}, \text{ 能提高共模抑制比.}$$



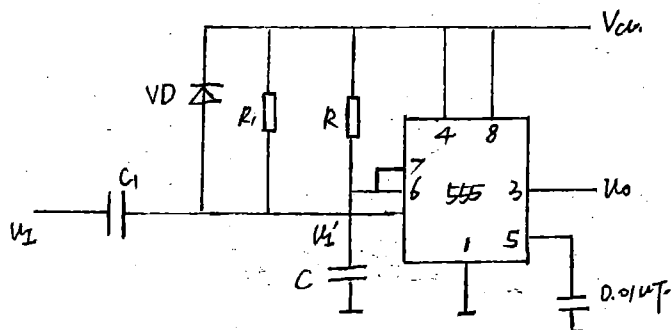
哈尔滨工业大学

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

地址：哈尔滨市南岗区西大直街92号

邮编：150001

5. 该电路为不可重触发单稳态触发器且单稳态触发器的脉冲宽度大于暂稳态时间，需要在555定时器输入端增加一个RC微分电路。



暂稳态时间为 $t_w = 1.1RC$ ，∴ 调节 R, C 可以调节 t_w 。

6. (1) 容量大于 $\frac{2}{0.1 \times 10^3} = 20000$ $2^{15} = 32768 > 20000$

需用15位二进制计数器

- (2) 采样频率 $f_p = 200\text{kHz}$ ，则采样周期 $T_s = 2^{15} \times \frac{1}{200k} = 163.8\text{ms}$

- (3) $\frac{T_s}{RC} \times 2V = 5V$ $RC = 409.5\text{ms}$

7. $U_a = R_a I_a + K_e \omega$ ，根据额定数据，得 $K_e = \frac{28 - 2.5 \times 0.5}{3000} = 8.92 \times 10^{-3}$

电机的额定转矩是额定转矩一半，则 $I = \frac{1}{2} I_N = 1.25\text{A}$

电机的反电势 $E = K_e \omega = 17.833\text{V}$

$U_{av} = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E = 0.5 \times 1.25 + E = 18.458\text{V}$

$U_{av} = U_d (2 \frac{t_{on}}{T} - 1)$ ∴ 占空比 $\frac{t_{on}}{T} = 82.96\%$



8. (1) $n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 65}{4} = 975 \text{ r/min}$

$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{975 - 960}{975} \approx 1.54\%$

(2) $n = \frac{60f}{p} (1-s)$

采用恒磁通运行， $\frac{u}{f}$ 保持不变

$f = \frac{n \cdot p}{60(1-s)} = \frac{3 \times 590}{60 \times (1-s)} \approx 38.7$

$\frac{380}{50} = \frac{u}{40} \quad u = 294.33 \text{ V}$

9. (1) $F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$

$f(t) = \frac{1}{j2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$

(2) $F(j\omega) = \pi \delta(\omega - \omega_0) + \pi \delta(\omega + \omega_0)$

$f(t) = \frac{1}{j2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [\pi \delta(\omega - \omega_0) + \pi \delta(\omega + \omega_0)] e^{j\omega t} d\omega$

$= \cos \omega_0 t$

10. (1) 对象的不确定性是指设计所用的数学模型 $G(s)$ 与实际物理系统之间的差别。

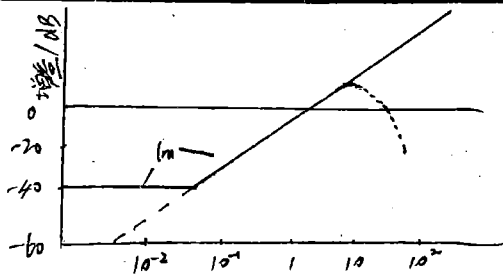
加法不确定性: $G(j\omega) = G_0(j\omega) + \Delta G(j\omega) \quad |\Delta G(j\omega)| < |G(j\omega)|$

乘法不确定性: $G(j\omega) = [1 + L(j\omega)] G_0(j\omega) \quad |L(j\omega)| < |G(j\omega)|$

含义在上图

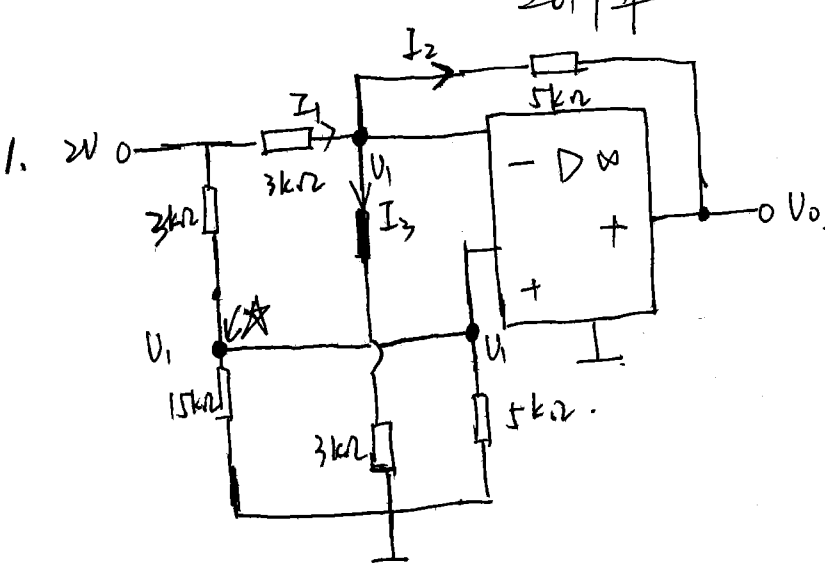
(2) $G(j\omega) = [1 + L(j\omega)] G_0(j\omega) \quad L(j\omega) = e^{-j\omega\tau} - 1$

取 τ 的最大值，即 0.5，这时 $L(j\omega)$ 如图虚线所示。



第 页

$\ln(w)$ 要将虚线全部覆盖。
实线为 $\ln(w)$ 的大致图形



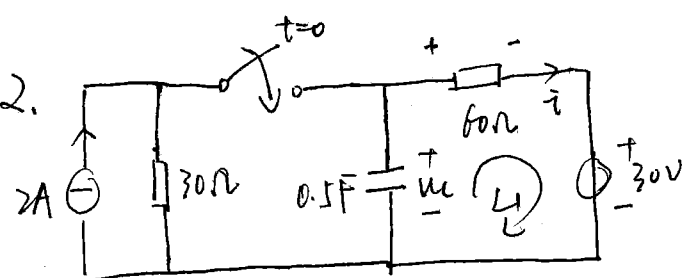
以节点 V_1 列节点电压方程

$$\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)V_1 = \frac{2}{3} \Rightarrow V_1 = \frac{10}{9}$$

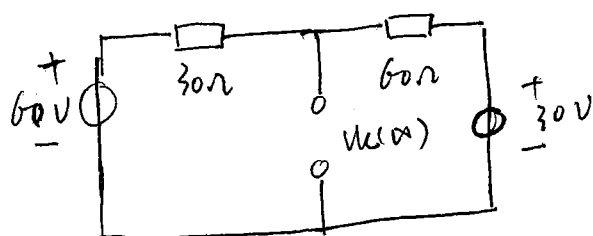
由 $I_1 = I_2 + I_3$

$$\text{即 } \frac{2 - \frac{10}{9}}{3} = \frac{\frac{10}{9} - V_0}{5} + \frac{\frac{10}{9} - 0}{5}$$

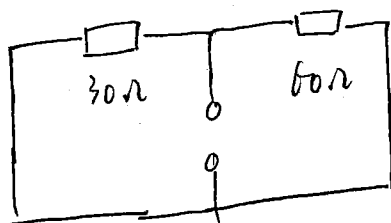
$$\Rightarrow V_0 = \frac{40}{27} V \approx 1.48V$$



$$U_C(0+) = U_C(0-) = 30V$$



$$U_C(\infty) = 50V$$



$$R_{eq} = \frac{30 \times 60}{30 + 60} = 20\Omega \quad \tau = R_{eq}C = 20 \times 0.5 = 10$$

$$U_C(t) = U_C(\infty) + [U_C(0+) - U_C(\infty)]e^{-t/\tau} = 50 + [30 - 50]e^{-t/10} = 50 - 20e^{-t/10}$$

由 $L \bar{C}$ | KCL: $-U_C + 60i + 30 = 0$

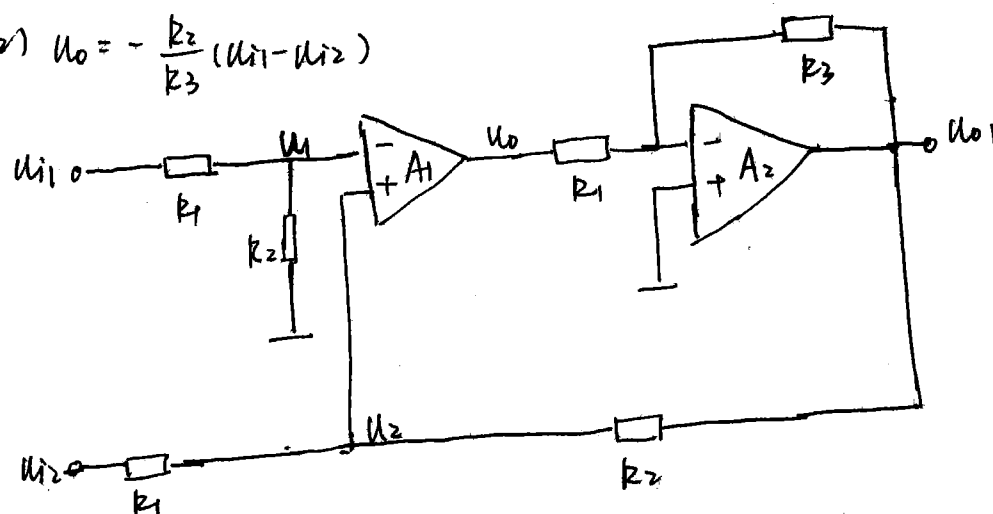
$$i = \frac{U_C - 30}{60} = \frac{1}{3} - \frac{1}{3}e^{-t/10}$$

3. 1) $u_o = |u_i|$

$u_o = 0$ 时, V_D 导通, $u_o = -u_i$.

$u_i > 0$ 时, V_D 截止, $u_o = u_i$

(2) $u_o = -\frac{R_2}{R_3}(u_{i1} - u_{i2})$



$$\begin{cases} \frac{u_{i1} - u_1}{R_1} = \frac{u_1}{R_2} \\ u_1 = u_2 \\ \frac{u_{i2} - u_2}{R_1} = \frac{u_2 - u_{o1}}{R_2} \\ \frac{u_o - 0}{R_1} = \frac{0 - u_{o1}}{R_3} \end{cases}$$

$$\Rightarrow u_o = -\frac{R_2}{R_3}(u_{i1} - u_{i2})$$

(3) (a) 图 为绝对值电路.

(b) 图 为差分比例运算电路.

4. 1) 上正下负

(2) $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 16 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}} \approx 1 \text{ kHz}$

(3) $A = 1 + \frac{R_1}{R_2} \geq 3 \Rightarrow R_1 \geq 2 \text{ k}\Omega$

5. 当 $Q_7 \dots Q_0$ 为 11000100 时, 异步清零

11000100 为十进制的 196, 计数器为 196 进制

$$(2) U_{om} = \frac{5.1V}{2^8 - 1} \times 195 = 3.9V \quad \text{周期为 } 196 \times \frac{1}{1 \times 10^3} = 196ms$$

6. 中多谐振荡器

$$T_1 = 0.7(R_{A1} + 2R_{B1})C_1 = 0.7 \times (33 + 2 \times 27) \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} = 60.9ms$$

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = 16.42Hz$$

$$T_2 = 0.7(R_{A2} + 2R_{B2})C_2 = 0.7 \times (3.3 + 2 \times 2.7) \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} = 0.609ms$$

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = 1.642kHz$$

(2) 当开关 S 闭合时, 振荡器 2 的工作状态受控于振荡器 1 的输出, u_{o1} 为高电平, $\sim D$ 截止,

振荡器 2 工作, u_{o1} 为低电平, $\sim D$ 导通, 振荡器 2 停振, u_{o2} 输出高电平

(3) C_2 作用是定时, C_5 的作用是滤波, 滤除高频干扰


7. ~~需要~~ 需要 A、B 两路信号来判断正反转, A、B 波形之间的相位相差 90° ,

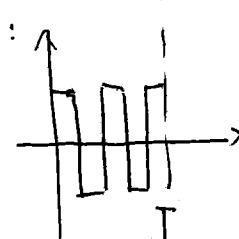
$$\Delta\theta = \frac{360^\circ}{2500} = 0.144^\circ$$

$$(2) \text{单极性占空比为 } r_1 = \frac{140}{200} = 70\%$$

$$\text{双极性占空比为 } r_2, \text{ 则 } 200 \times r_2 - 200 \times (1 - r_2) = 140.$$

$$\Rightarrow r_2 = 85\%$$

13) 单相性输出:  可以调节占空比来控制发热, 单相性可以控制.

双极性输出:  无论是正向还是反向, 持续工作发热, 双极性不可以控制

8. $4500 \text{ r/min} = 75 \text{ r/s}$

$\omega = 2\pi n = 150\pi \text{ rad/s}$

首先计算电机参数 k_e, k_t $E_{a1} = U_{m1} - R_a I_{m1} = 110 - 75 \times 0.12 = 10 \text{ V}$

$$k_e = \frac{E_{a1}}{\omega_1} = \frac{10}{150\pi} \approx 0.214 \text{ (V/(rad/s))}$$

$$k_t = k_e = 0.214 \text{ (N·m/A)}$$

此时 $I_{q1} = 0, U_{g1} = E_{a1} = 10 \text{ V}, \quad \tau T_f = k_t I_{m1} = 0.214 \times 0.12 = 0.02568 \text{ (N·m)}$

$$\begin{cases} E_{a2} + R_a I_{m2} = U_{m2} \\ (R_a + R_L) I_{g2} = E_{a2} \\ \tau T_f + k_t I_{g2} = k_t I_{m2} \\ E_{a2} = k_e \omega_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} E_{a2} + 75 I_{m2} = 110 \\ (75 + 500) I_{g2} = E_{a2} \\ 0.02568 + 0.214 I_{g2} = 0.214 I_{m2} \\ E_{a2} = 0.214 \omega_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{m2} = 0.275 \\ I_{g2} = 0.155 \\ E_{a2} = 89.125 \\ \omega_2 = 416.47 \end{cases}$$

$$n' = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{2\pi}{416.47}$$

$$n' = \frac{\omega_2}{2\pi} = \frac{416.47}{2\pi} \text{ r/s} = 66.32 \text{ r/s}$$

所求 $n_2 = 60 n' = 3979 \text{ r/min}$

$$1. \quad 1/s = 1 + KG$$

(2) 灵敏度定量表示了闭环的T对对象参数变化的敏感程度。

灵敏度的最大值 M_s 才真正反映了系统的稳定程度

(3) 灵敏度的最大值 M_s 的值一般应在1.2~2.0之间

$$10. \quad D(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i/s + K_d s$$

模拟PID调节器的数学模型 $u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t)$

$$\text{增量算式为 } u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) T + K_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

$$\text{对应的z传递函数为 } D(z) = K_p + K_i \frac{T}{1-z^{-1}} + K_d \frac{1-z^{-1}}{T}$$