



自动控制实践I-10

直流电机与功放线路总结



课程重点回顾

1-绪论:

- *磁场基本定律与磁路分析基础。

2—直流电机:

- *直流电机结构—定子/转子部件

- *直流电机原理—基本方程(动态静态)/电枢反应/换向过程

- *直流电机特性与调速控制—机械特性/调速/四象限运行

- *直流电机选用—电机选择的步骤



课程重点回顾

3-功率放大电路：

*基本知识—常见器件特性/工作区域/防止直通/续流二极管

/损耗/泵升泄放

*基本电路— H桥电路， T型电路

*PWM驱动—基本原理/种类与特点/电流纹波

/微观状态与四象限宏观。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



课程重点

对磁路应掌握：

1) 基本关系/定义：

$$B = \mu H \quad \phi = Bs \quad F = Ni \quad U_m = Hl = \phi R_m \quad R_m = \frac{l}{\mu s}$$

2) 磁场/磁路基本定理：

$$\sum \phi_i = 0 \quad \sum H_i l_i = \sum Ni \quad e = -\frac{d\phi}{dt} = Blv \quad F = qv \times B = Bil$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



课程重点		
对比： 电路和磁路		
电路		磁路
电动势 E	[V]	
电流 I	[A]	
电导率 γ	[S/m]	
电阻 $R(R=L/(\gamma S))$	[Ω]	
电导 $G(1/R)$	[1/S]	
欧姆定律 $U=IR$		
基尔霍夫第一定律 $\sum I=0$		
基尔霍夫第二定律 $\sum E=\sum U$		



课程重点
<p>1. 掌握直流电机工作原理</p> <p>电刷和换向器的作用，反电势和电流的特点；</p> <p>电机极对数、绕组节距</p> <p>2. 熟悉直流电机的结构组成。</p> <p>3. 了解直流电机中的铁磁/永磁材料基本特点，了解直流电机运行中磁场和换向的基本特点。</p>



课程重点

直流电机的基本关系式

- a. 电动势
- b. 电磁力矩
- c. 电压平衡式
- d. 力矩平衡式
- e. 功率平衡式

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



课程重点

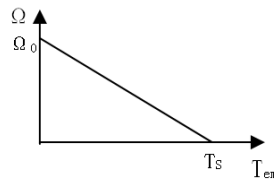
直流电机静态特性

$$\text{转矩平衡: } T_{em} = T_L$$

$$\text{电压平衡: } U = E + IR = K_e \Omega + IR$$

他/并励直流电机机械特性

$$\Omega = \frac{U - \frac{T_{em}}{K_T} R}{K_e}$$



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



课程重点

运动控制/电机驱动控制的内涵

电：

施加电压 u

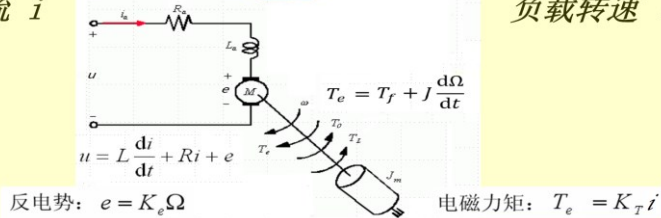
驱动电流 i



机：

输出力矩 T_e

负载转速 Ω



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



课程重点

运动控制/电机驱动控制的内涵

无论速度还是位置控制，运动控制的根本是控制加速度。

运动控制就是调节施加给对象的力/力矩获得期望的加速度。

所有电机的输出力/力矩是其驱动电流的函数， $T_{em}=f(i)$ 。

电机的运动控制，就是调节施加给电机的电压，获得期望的驱动电流，获得期望的力矩，获得期望的加速度，获得期望的运动。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



课程重点

直流电机的调速运行

- 串电阻调速
- 弱磁调速
- 调压调速



课程重点

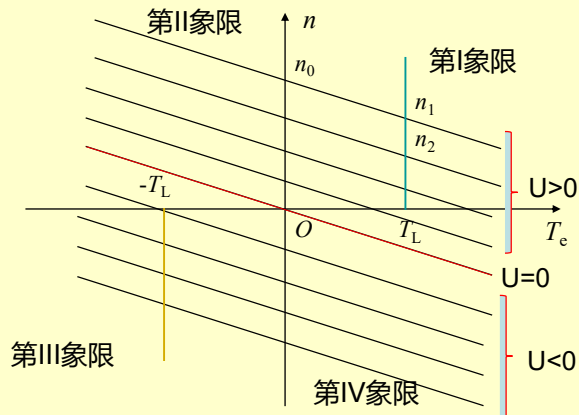
直流电机的四象限运行

- 电动运行
- 能耗制动
- 再生制动
- 反接制动



课程重点

直流电机的四象限调压控制：



直流电机的四象限调压特性

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



课程重点

电机的选用

- (1) 峰值力矩—加速度/惯性力矩+阻力矩

$$T_p = (J_m + J_L)a + T_f$$

- (2) 额定力矩--电机长时间运行允许的最大电流

- (3) 额定转速—转矩*转速=功率

- (4) 力矩常数 K_t —电流, 电势常数 K_e —电压;

- (5) 尺寸、质量与接口形式

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



课程重点

我们需要掌握的功率器件:

- 功率二极管/快恢复二极管(续流)
- MOSFET
- IGBT
- IPM



课程重点

1. 脉冲调宽(PWM)驱动原理
2. H桥/推挽电路与PWM信号
3. 双极性PWM驱动
4. 单极性PWM与受限PWM驱动
5. 功放线路使用基本常识
 - 死区/续流/损耗/泵升/电流纹波



课程重点

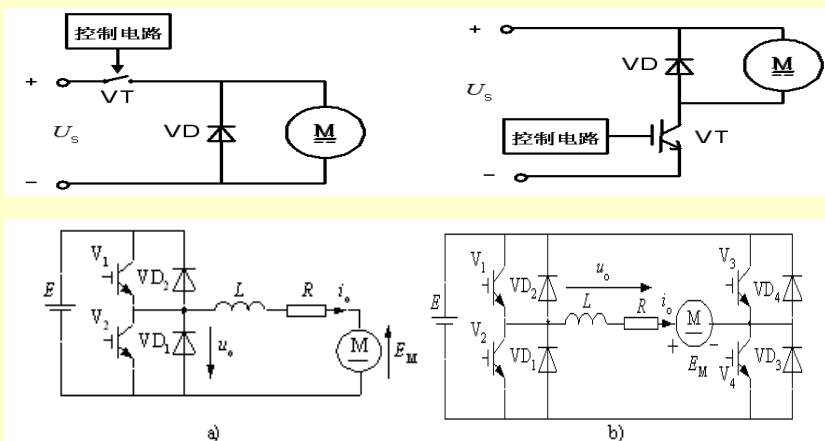
脉宽调制 (PWM) 式功放在伺服应用中得到广泛应用:

- (1) 功耗低, PWM功放中的功率元件处于开关状态;
- (2) 体积小, 维护方便, 工作可靠;
- (3) 要采取一定的电磁兼容措施以保证系统性能;
- (4) 有电流纹波现象。在低速驱动有润滑作用, PWM功放输出除有用的控制分量外, 还包含一个高频分量, 在高频分量作用下, 伺服电机处于微振状态, 有利于克服执行轴上的静摩擦, 改善伺服系统的低速运行特性;



课程重点

直流电机的调压控制电路:



2. 直流电机的动态特性

--直流电机动态框图

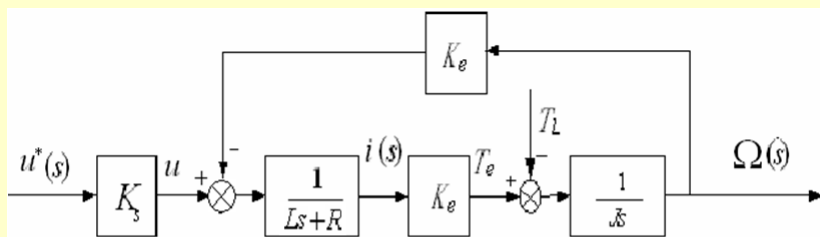
--直流电机的基本传递函数

--直流电机动态特性的讨论

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



2. 直流电机的动态特性



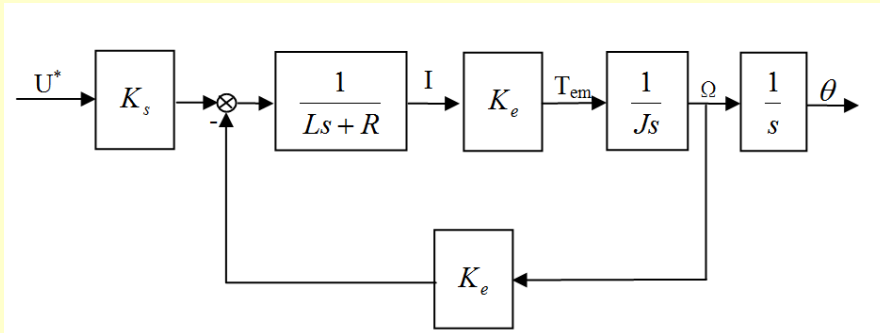
$$\frac{\Omega}{U^*} = \frac{K_s / K_e}{T_m T_e s^2 + T_m s + 1} = \frac{K_s}{K_e} \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$T_m = \frac{RJ}{K_e^2}; \quad T_e = \frac{L}{R} \quad \omega_n = \frac{1}{\sqrt{T_m T_e}}; \quad \xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_m}{T_e}}$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.直流电机的动态特性

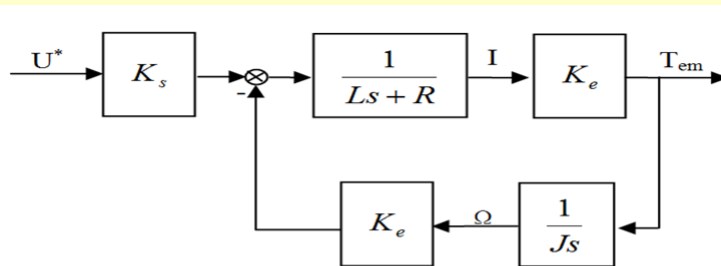


$$\frac{\theta}{U^*} = \frac{1}{s} \frac{K_s / K_e}{T_m T_e s^2 + T_m s + 1}$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



2.直流电机的动态特性



$$\frac{T_{em}}{U^*} = \frac{K_s}{K_e} \frac{Js}{T_m T_e s^2 + T_m s + 1}$$

堵转条件下:

$$\frac{T_{em}}{U^*} = \frac{K_s K_e}{Ls + R}$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

