

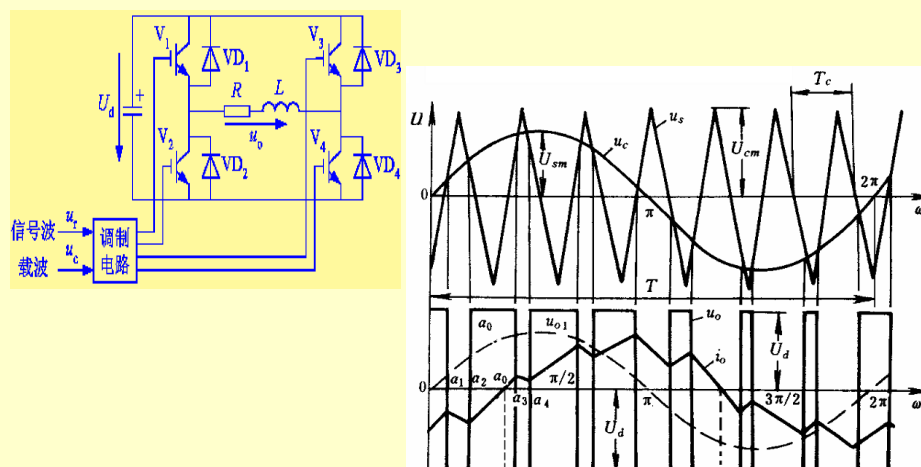
自动控制实践(A)-9

脉宽调制(PWM)技术3

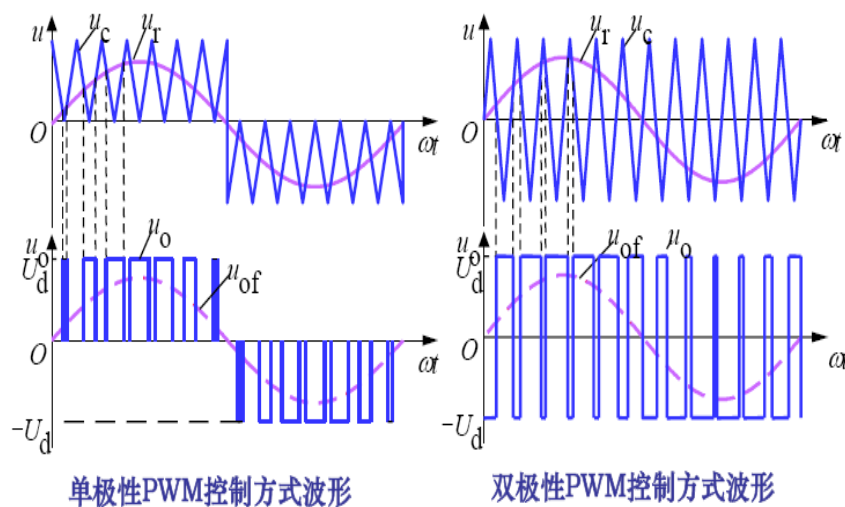


复 习

H桥电路：直流斩波与单相逆变



复习



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



复习

双极性PWM驱动:

$$U_d = \frac{t_{on}}{T} U_s - \frac{T - t_{on}}{T} U_s = \left(\frac{2t_{on}}{T} - 1 \right) U_s = \rho U_s$$

单极性PWM驱动:

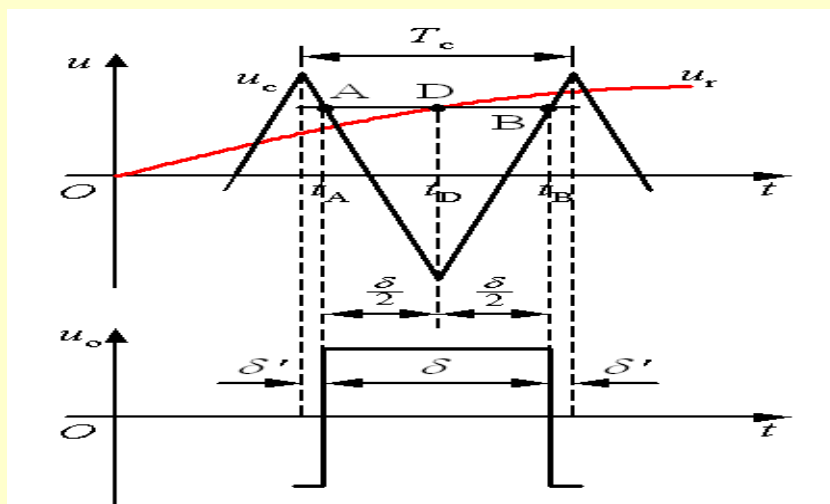
$$U_d = \frac{t_{on}}{T} U_s - \frac{T - t_{on}}{T} 0 = \frac{t_{on}}{T} U_s = \rho U_s$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



复习

PWM的实现：调制法/规则采样法



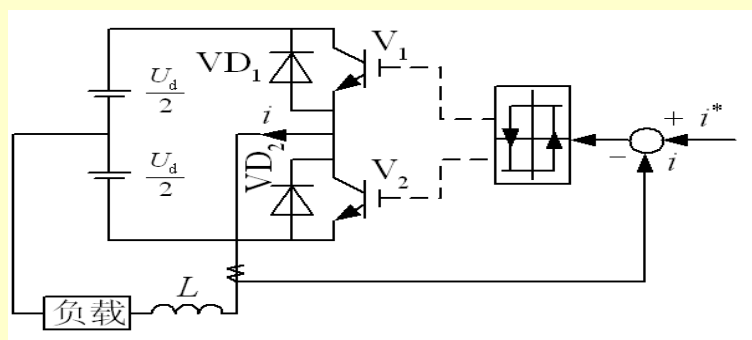
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



复习

PWM实现方法：滞环法

把希望输出的波形作为指令信号，把实际波形作为反馈信号，通过两者的瞬时值比较来决定逆变电路各开关器件的通断，使实际的输出跟踪指令信号变化



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



问 答

- 1、 推挽结构、H桥电路中主电路功率器件中为什么要反并联二极管？这种二极管应有何种特性？
- 2、 以H桥电路为例,说明PWM驱动的双极性、单极性和受限单极性三种工作方式。三种PWM控制方式下哪种会出现电流断续现象？
3. PWM驱动电路为什么可以看成是一个简单的电压增益？

$$u_o = U_{av} = U_D \rho = \frac{U_D}{|U_{im}|} u_i = K u_i$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



目 录

1. PWM 功放应用相关事项
2. PWM技术小结
3. 直流电机驱动芯片与电路
4. 电控系统的电磁兼容问题

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. PWM 功放应用相关事项

2) PWM驱动中功率器件的损耗

* 功率管的功率损耗

A)静态损耗： 断态损耗，通态损耗

B)动态损耗： 不同负载下的开通瞬时损耗、关断瞬时损耗。

* PWM驱动下的电机功耗增加



1. PWM 功放应用相关事项

3) 功率管的正确选用

* MOSFET和IGBT应用选型中，一般选择其额定耐受电压和额定电流为实际应用最大电压和最大电流的两倍。

如：220V交流整流母线，一般选择额定耐压600V的IGBT，380V交流整流母线，选择额定耐压1200V的IGBT。28V直流母线，选择额定耐压不低于60V的MOSFET等。



1. PWM 功放应用相关事项

3) 功率管的安全使用

* 防直通设定死区时间

- 同一臂上下两管的驱动信号互补，为防止直通短路，需要上下管都施加导通死区时间
- 死区时间的长短主要由开关器件的关断时间决定
- 死区时间给输出SPWM波带来影响，使其稍稍偏离正弦波

* 每个功率开关反并续流二极管

- 以保证感性负载储能的泄放。



1. PWM 功放应用相关事项

4) PWM实现中的栅极驱动问题

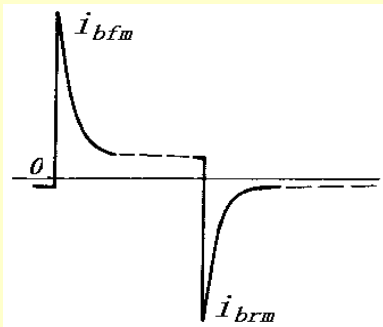
- * 栅极驱动电路必须与PWM控制电路绝缘和隔离;
- * 桥臂上管栅极驱动一般由浮动电源供电。
- * 栅极驱动电路要有过流或晶体管进入放大区工作的保护功能, 保证开关速度, 又保证晶体管工作在饱和状态;
- * 栅极驱动电路应尽量不使PWM波形的脉宽受到限制, 并保证不同输出占空比的准确传输。



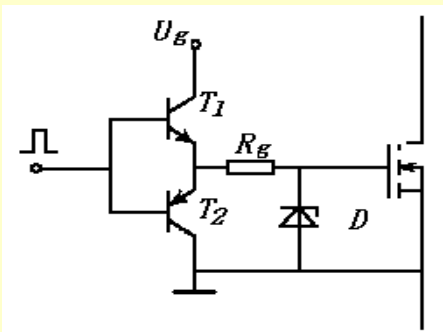
1. PWM 功放应用相关事项

4) PWM实现中的栅极驱动问题

MOSFET/IGBT驱动需求



理想的栅极驱动电流波形

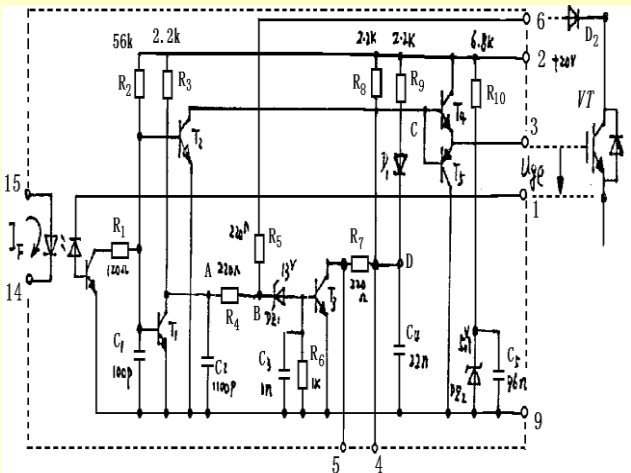
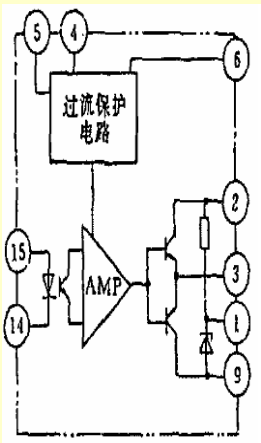


基本的栅极驱动电路



1. PWM 功放应用相关事项

4) 集成栅极驱动芯片举例



1. PWM 功放应用相关事项

5) PWM实现中的保护问题

* 过电流的防止与保护

电流传感式的电子保护措施;

半导体保护用快速熔断器

* 过电压的防止与保护

snubber电路的应用

泵升电压的泄放



1. PWM 功放应用相关事项

- * 缓冲电路 (Snubber) : 抑制过电压、 du/dt 、过电流和 di/dt , 减小器件的开关损耗

关断缓冲电路 (du/dt 抑制电路) ——吸收器件的关断过电压和换相过电压, 抑制 du/dt , 减小关断损耗

开通缓冲电路 (di/dt 抑制电路) ——抑制器件开通时的电流过冲和 di/dt , 减小器件的开通损耗

将关断缓冲电路和开通缓冲电路结合在一起——复合缓冲电路

其他分类法: 耗能式缓冲电路和馈能式缓冲电路 (无损吸收电路)



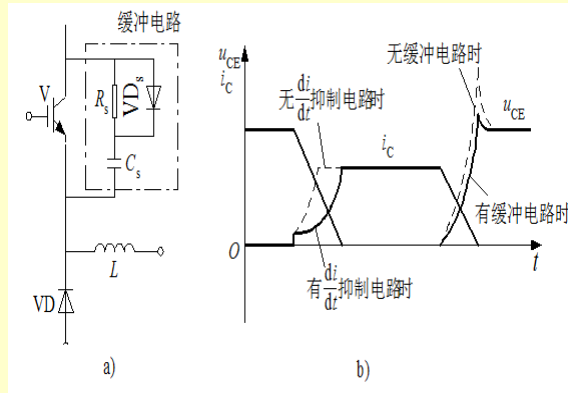
1. PWM 功放应用相关事项

➤ RCD关断缓冲电路

抑制功率管关断时产生过电压，并减小开关损耗。

* 开通时： C_s 通过 R_s 向V放电，以后因有 L ， i_C 上升速度减慢

* 关断时：负载电流通过 VD_s 向 C_s 分流，抑制了 du/dt 和过电压



[di/dt抑制电路和充放电型RCD缓冲电路](#)

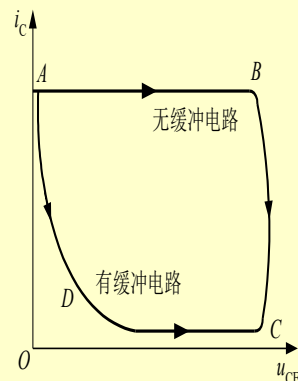


1. PWM 功放应用相关事项

➤ 关断时的负载曲线

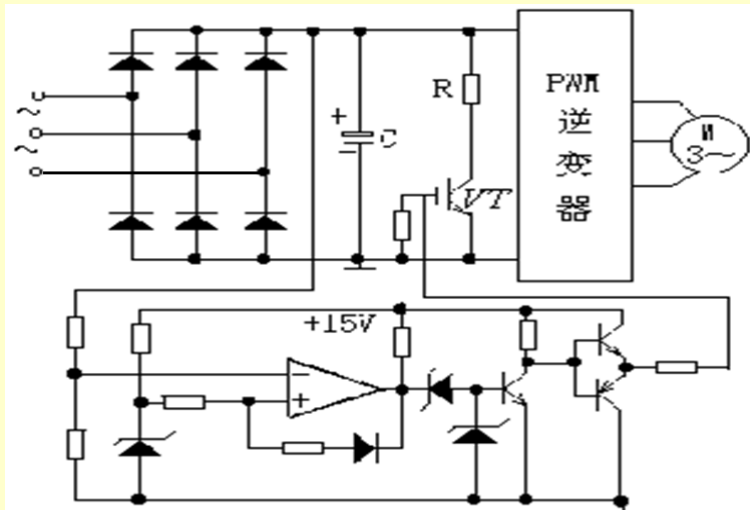
无缓冲电路时： L 感应电压使 VD 通， u_{CE} 迅速升，负载线从A移到B，之后 i_C 才下降到漏电流的大小，负载线随之移到C

有缓冲电路时： C_s 分流使 i_C 在 u_{CE} 开始上升时就下降，负载线经过D到达C。负载线ADC安全，且经过的都是小电流或小电压区域，关断损耗大大降低



1. PWM 功放应用相关事项

6) 泵升电压的泄放



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. PWM 功放应用相关事项

7) PWM 开关频率的选择

- * 开关管的功耗
- * 电机电缆的功耗
- * 静音工作的需求

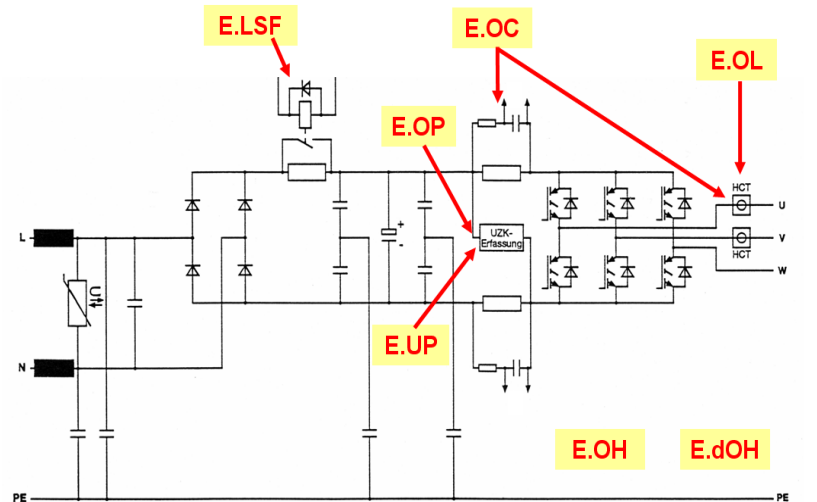
现代PWM型电机驱动器的开关频率一般在2kHz-20kHz,中、小功率的驱动器一般实现16kHz或以上驱动,而大功率应用中,开关频率随功率的增加逐渐降低。开关电源的PWM开关频率一般在100-500kHz。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. PWM 功放应用相关事项

常见PWM驱动主电路的保护



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



目 录

1. PWM 功放应用相关事项

2. PWM技术小结

3. 直流电机驱动芯片与电路

4. 电控系统的电磁兼容问题

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



2. PWM技术小结

❖ PWM驱动技术在现代电力电子技术应用中占统治地位

- PWM控制技术在电力电子领域广泛应用。
- IGBT、MOSFET等全控型器件的不断完善，给PWM技术普及提供了物质基础

❖ PWM控制技术用于直流斩波电路

- 直流斩波电路实际上就是直流PWM电路，广泛应用于直流电动机调速系统，构成直流脉宽调速系统。



2. PWM技术小结

❖ PWM控制技术用于逆变电路

- PWM控制技术在逆变电路中的应用最具代表性
- 正是由于在逆变电路中广泛而成功的应用，才奠定了PWM控制技术在电力电子技术中的突出地位
- 不用PWM控制的逆变电路已十分少见



2. PWM技术小结

❖ PWM控制技术用于整流电路

- PWM控制技术用于整流电路即构成PWM整流电路
- 可看成逆变电路中的PWM技术向整流电路的延伸
- PWM整流电路已获得了一些应用，并有良好的应用前景



2. PWM技术小结

❖ PWM控制技术用于交流—交流变流电路

- 斩控式交流调压电路和矩阵式变频电路是PWM控制技术在这类电路中应用的代表
- 目前其应用都还不多
- 但矩阵式变频电路因其容易实现集成化，可望有良好的发展前景



目 录

1. PWM 功放应用相关事项

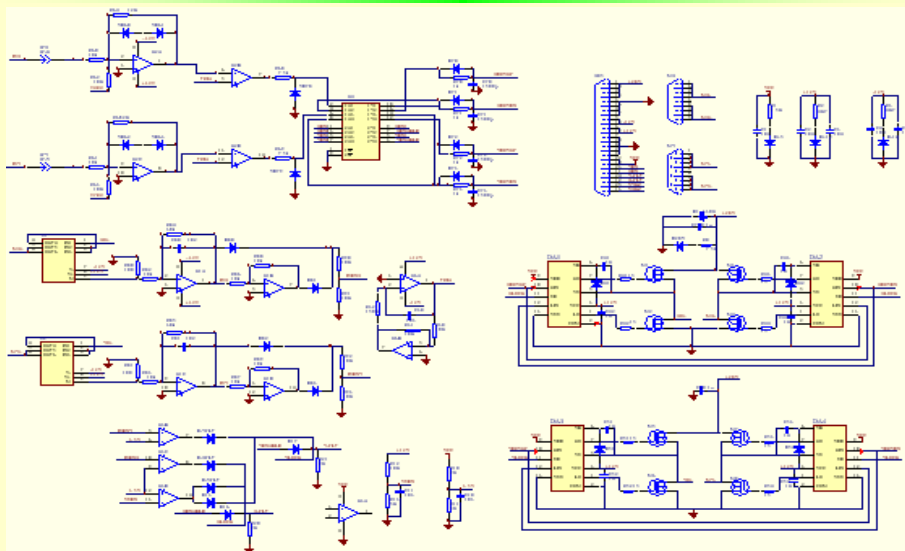
2. PWM技术小结

3. 直流电机驱动芯片与电路

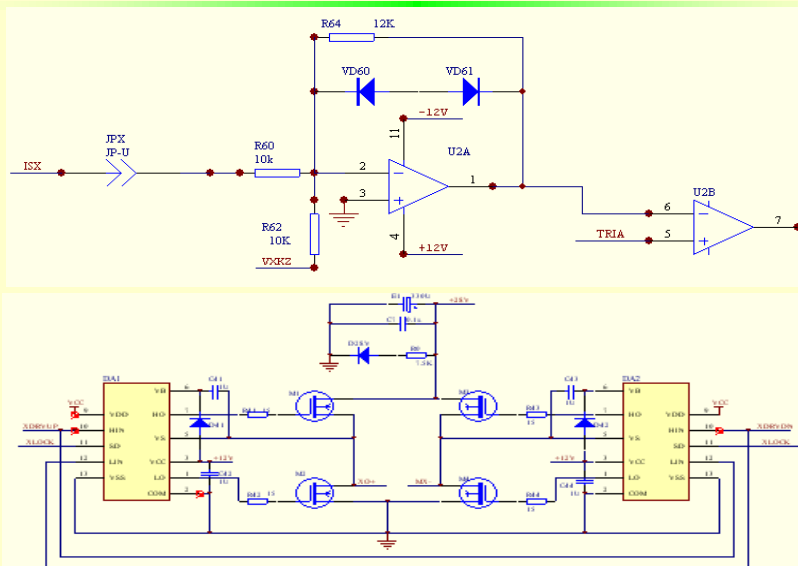
4. 电控系统的电磁兼容问题



3. 直流电机驱动芯片与电路



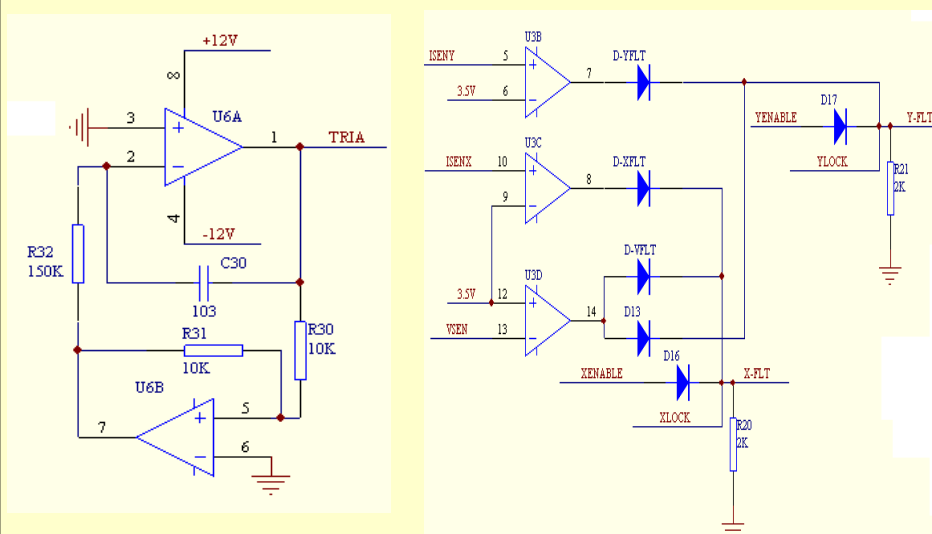
3. 直流电机驱动芯片与电路



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3. 直流电机驱动芯片与电路

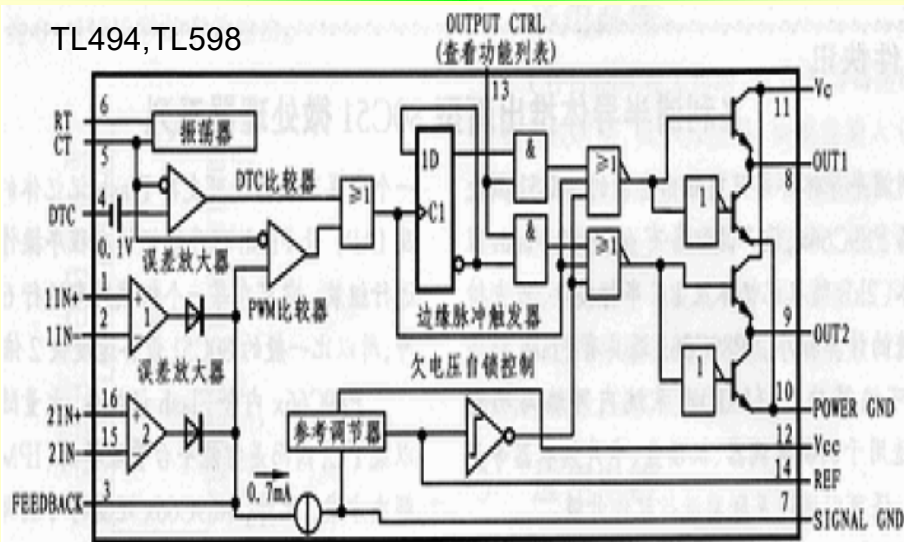


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3. 直流电机驱动芯片与电路

TL494, TL598



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3. 直流电机驱动芯片与电路

参考书目

谭建成. 电机控制专用集成电路. 机械工业出版社

吴红星. 电机驱动与控制专用集成电路及应用. 中国

电力出版社

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

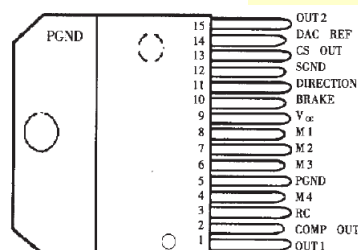


3. 直流电机驱动芯片与电路

美国国家半导体公司 (National Semiconductor Inc.) 推出的 DMOS 全桥电机驱动器 LMD18245, 只需外接两个电阻和两个电容, 即可实现电机的全桥驱动、数字电流控制、过流保护、过热保护、欠压保护、防止对管直通等功能, 充分体现了集成功放电路外围电路简单、性能稳定可靠、控制功能全面的特点。

LMD18245 是为中小型直流电机及两相步进电机设计的功率放大集成电路。

- 电机电源电压范围: $+12\text{V} \sim +55\text{V}$
- 最大逻辑电压: $+12\text{V}$
- 最大输出持续电流: 3A
- 最大输出峰值电流: 6A
- 最小输入脉冲宽度: $2\mu\text{s}$



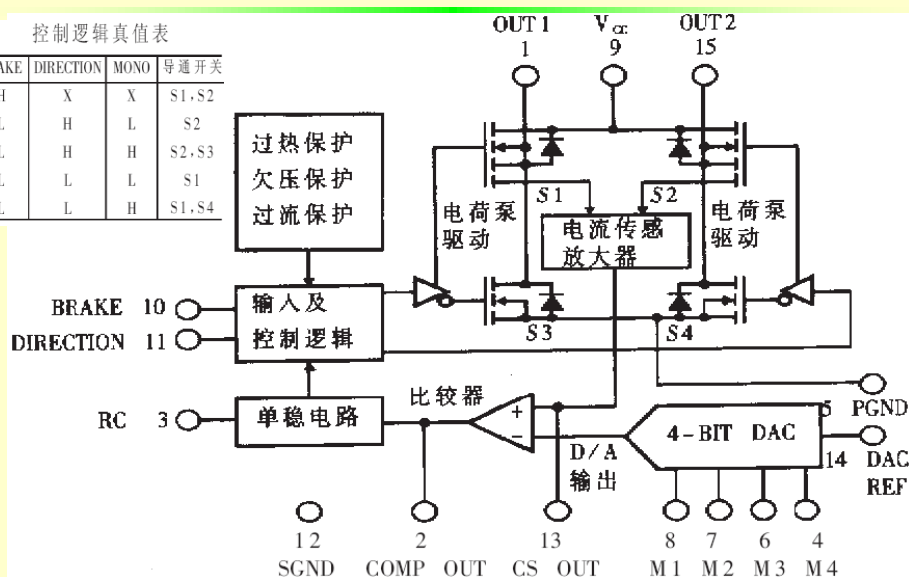
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3. 直流电机驱动芯片与电路

控制逻辑真值表

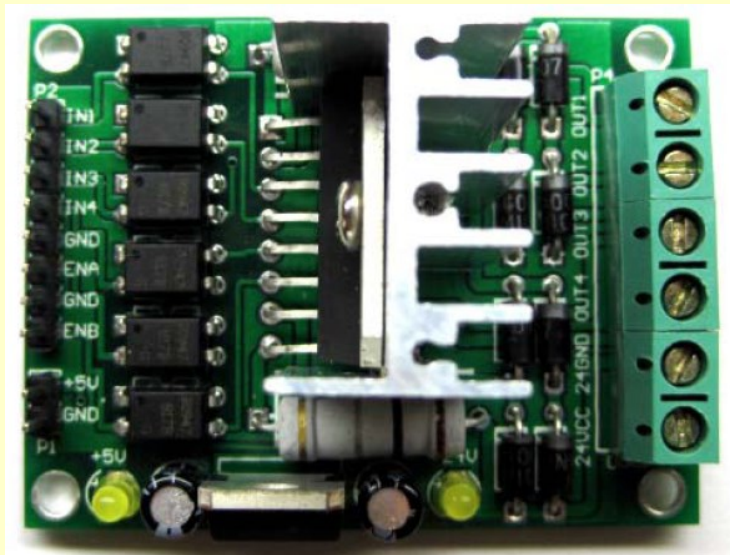
BRAKE	DIRECTION	MONO	导通开关
H	X	X	S1, S2
L	H	L	S2
L	H	H	S2, S3
L	L	L	S1
L	L	H	S1, S4



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3. 直流电机驱动芯片与电路



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



目 录

1. PWM 功放应用相关事项
2. PWM技术小结
3. 直流电机驱动芯片与电路
4. 电控系统的电磁兼容问题

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4. 电控系统的电磁兼容问题

电机驱动系统在国防、工业等自动化领域中得到广泛应用，其功率驱动环节一般采用PWM驱动，相应产生的电磁干扰日益引起人们的重视。

伺服系统、变频器等都会产生电磁干扰，同时也受到其它设备的干扰。如变频器、伺服驱动器等PWM设备自身就是大的干扰源，但同时他们也是电子设备，控制板也同样会受到其它产品的干扰。



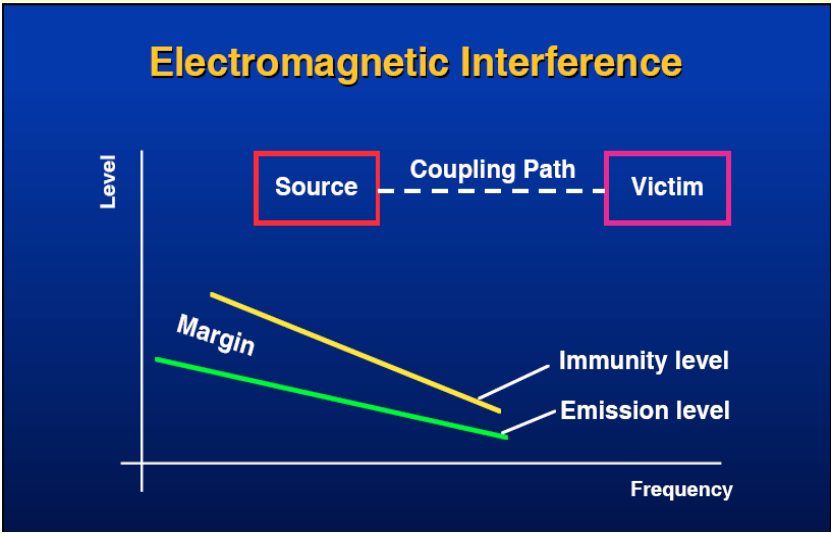
4. 电控系统的电磁兼容问题

EMC (Electro-Magnetic Compatibility)

国际电工委员会(IEC)对EMC的定义是指“设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力”。因此，EMC包括两个方面的要求：一方面是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值（EMI）；另一方面是指组件对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度，即电磁敏感性(EMS)。简单的说，就是电子设备的干扰性和抗干扰能力。



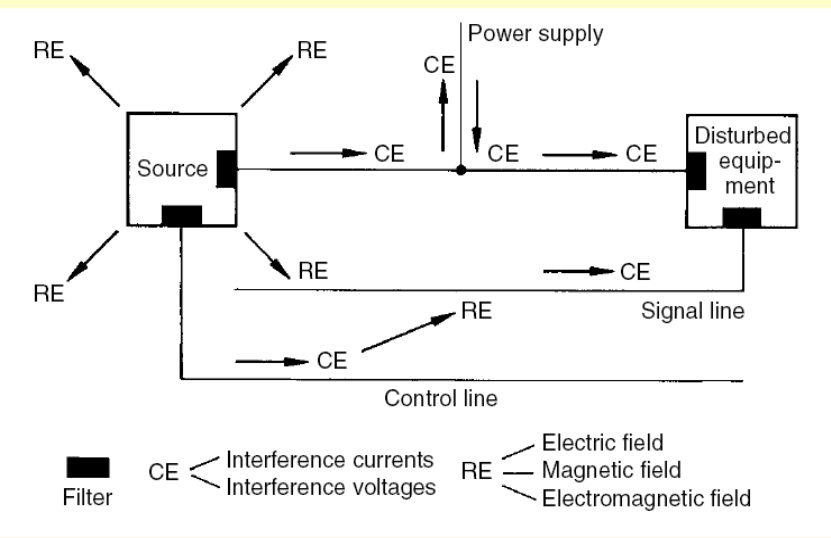
4. 电控系统的电磁兼容问题



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4. 电控系统的电磁兼容问题



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4. 电控系统的电磁兼容问题

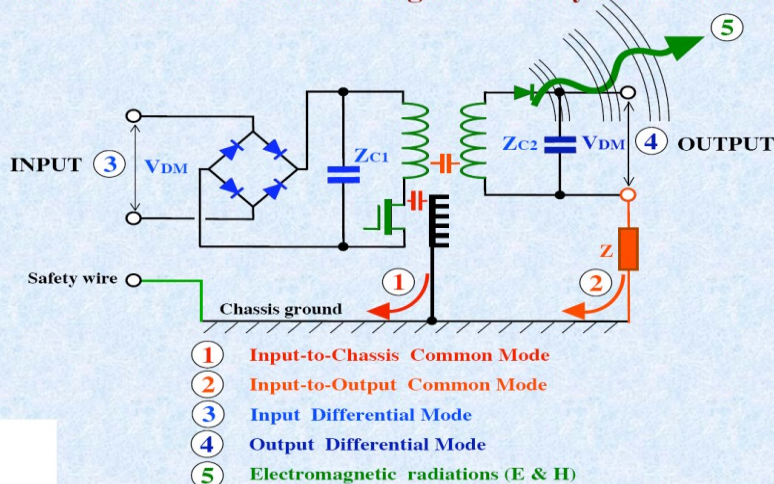
伺服驱动中PWM的电磁干扰主要体现为对设备电源端的传导骚扰和通过空间传递的电磁辐射骚扰。

具体为：①PWM驱动产生的电压、电流谐波，作用于驱动电机的同时，通过配电网络传导给系统其他设备；②变频器对相邻的其他线路产生感应耦合，感应出干扰电压或电流，这种感应耦合可归为一种传导干扰；③对周围的电子、电气设备产生电磁辐射。同样，系统内的干扰信号通过相同的途径干扰变频器的正常工作。

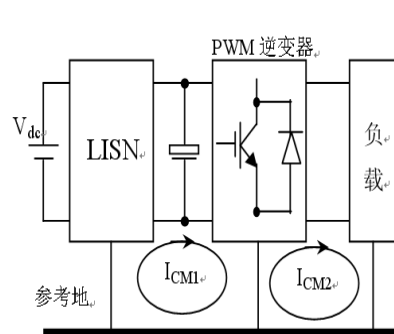


4. 电控系统的电磁兼容问题

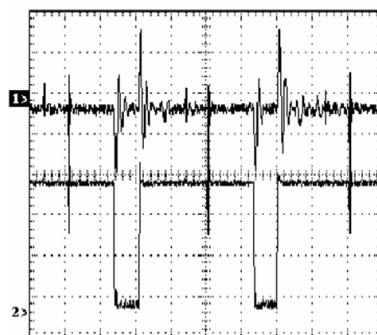
The 5 kinds of disturbances generated by a converter



4. 电控系统的电磁兼容问题



共模电流路径图



ch1: 0.4A/格, 时基 25μs

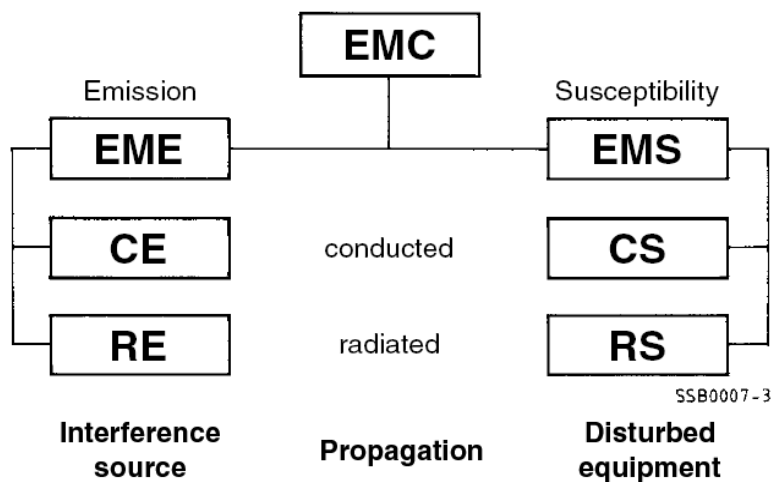
ch2: 50V/格, 时基 25μs

逆变器输出电压和共模电流

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



伺服系统的电磁兼容标准与检测



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



伺服系统的电磁兼容标准与检测

EMC国际标准

IEC标准(IEC-)

CISPR标准(CISPR-)

欧洲标准(EN-)

美国标准(FCC-, EMC-, Mil-STD461...)

我国标准 (GJB-151A, GB4824...)



电控系统的电磁兼容措施

EMC最为重要的一条准则是“预防是最有效的、最经济的方案”，因此合理的设计和规范的施工，是提高电控伺服产品和设备稳定运行的关键性因素和前提条件。



电控系统的电磁兼容措施

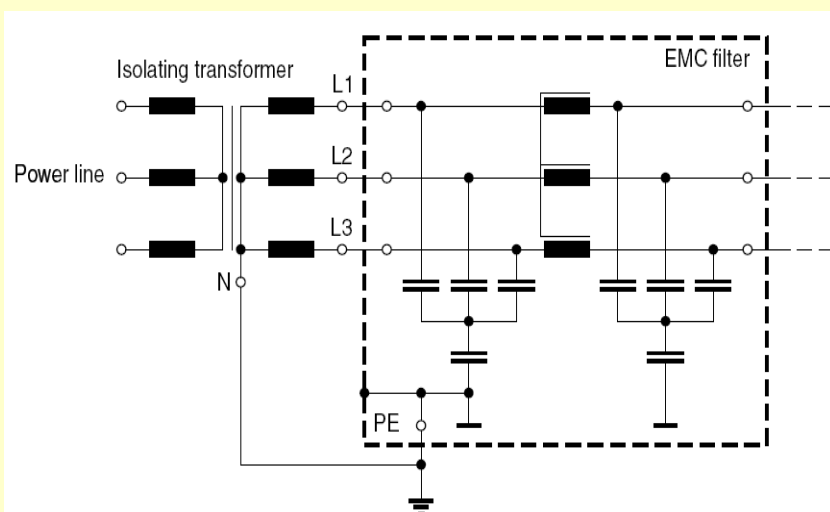
根据电磁性的基本原理，形成电磁干扰（EMI）须具备电磁干扰源、电磁干扰途径、对电磁干扰敏感的系统等三个要素。

为防止干扰，可采用硬件和软件的抗干扰措施。其中，硬件抗干扰是最基本和最重要的抗干扰措施，一般从抗和防两方面入手来抑制干扰，其总原则是抑制和消除干扰源、切断干扰对系统的耦合通道、降低系统对干扰信号的敏感性。具体措施在工程上可采用隔离、滤波、屏蔽、接地、电控柜正确布局与布线等方法。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



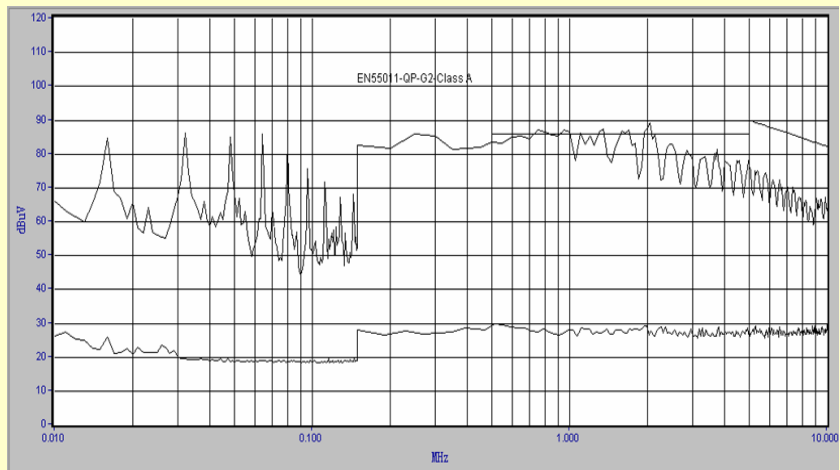
电控系统的电磁兼容措施



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



电控系统的电磁兼容措施

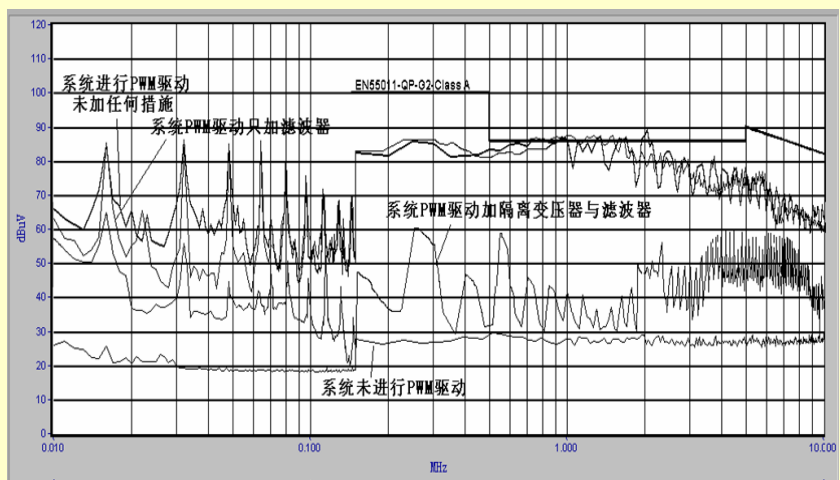


未采取隔离和滤波措施，变频器进行 PWM 驱动与否对火线间的传导干扰比较

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



电控系统的电磁兼容措施

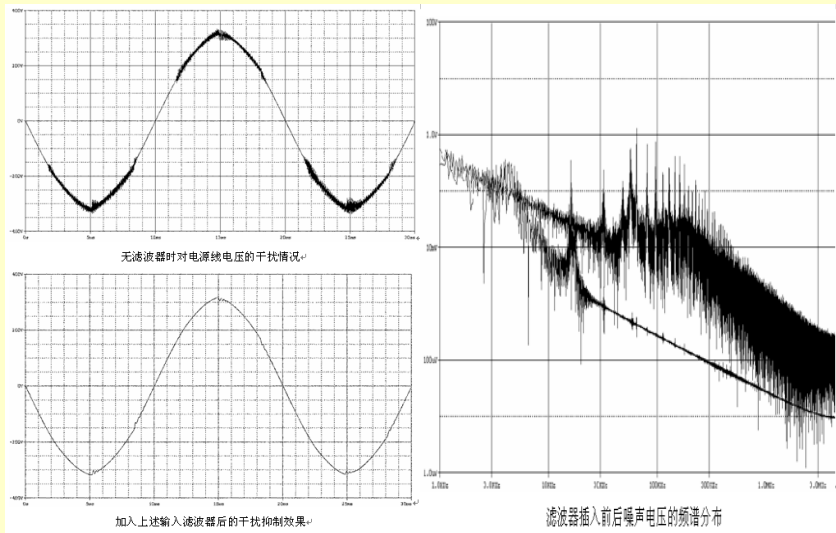


在图 1 工作条件下，增加隔离变压器与输入滤波器后对火线的传导干扰

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



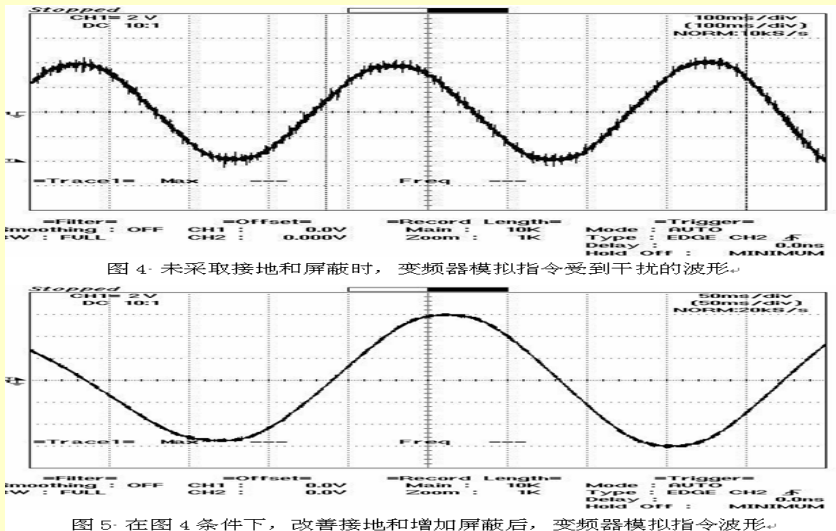
电控系统的电磁兼容措施



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



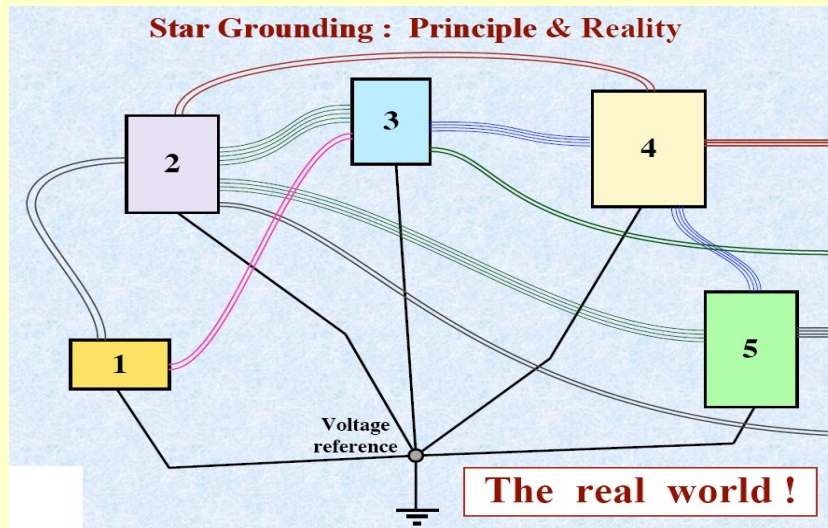
电控系统的电磁兼容措施



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



电控系统的电磁兼容措施



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



功放电路总结

要掌握：

- 1) MOSFET、IGBT的基本特性与使用；
- 2) 结合H桥、T型电路掌握两种PWM驱动的微观过程；
- 3) 续流二极管、死区时间、泵升保护的概念；

要了解：

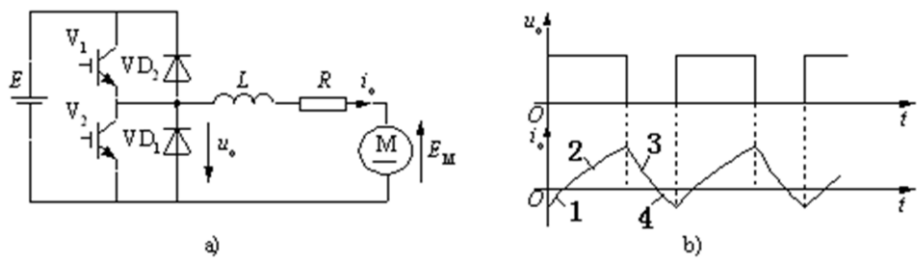
- 1) PWM驱动微观过程与宏观特性的对应；
- 2) 线性功放与开关功放的不同特点
- 3) 栅极驱动、开关管功耗、PWM驱动谐波特点。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



试题举例

4.2 如下所示的直流电机驱动电路：



- 1) 分析该电路可工作于双极性 PWM 还是单极性 PWM？该电路驱动控制电机，可实现以一象限工作，还是一、二象限工作，或是四象限工作？
- 2) 以图 a) 中所示的电流方向为正方向，针对轻载工作下电流波形的 b) 图，说明 1、2、3、4 四个电流变化状态（电动/制动/续流），并指明每个状态下，电池 E 和电机反电动势 E_M ，以及电机电感是输出还是输入功率。



试题举例

6. 综合应用

机器人关节采用伺服电机系统驱动，要求关节最大机动下实现幅值 $A=30^\circ$ ，频率 $f=10\text{Hz}$ 的正弦位置运动能力。关节的转动惯量 $J_L=2 \times 10^{-2} \text{kgm}^2$ ，关节运动的摩擦力矩 $T_f=3.7 \text{Nm}$ ；求解：（计算时保留小数点后一位）

- 1) 根据关节驱动需要，驱动电机的最高转速、峰值力矩如何要求？（2 分）
- 2) 关节定位精度要求为 0.1° ，安装光电码盘进行关节转角测量，现有三种绝对式光电码盘可选，分别为 11 位、13 位、15 位，它们的测角精度均为其 2 倍测角分辨率，合理的选择应是哪一种？（2 分）
- 3) 上述电机采用 H 桥双极性 PWM 驱动，H 桥母线电压 200V，电机驱动回路电感 20mH，PWM 开关频率 20kHz，功率管 V 1 的占空比 D 为 0.7 时，电机端电压为多少？此驱动状态下电机电流的脉动值是多少？四象限调速驱动中，最大的电机电流脉动值是多少？

$$\left(\Delta i = \frac{AU(1-\rho^2)}{4L_a f}\right)$$
，其中：A 为 PWM 驱动类型常数；U 为 PWM 脉冲幅值； ρ 为调制比；

L_a 为电机电感；f 为 PWM 频率）（3 分）



致 谢

本文档所引用的许多素材，来源于互联网上国内外的课件、科技论文、文章等。本文引用只是为了给学生提供更好的教学素材，非商业目的。对这些所引用素材的原创者，在此表示深深的谢意。

