

逆变器输出滤波器的设计

中期报告

导师：陈希有教授

报告人：颜斌

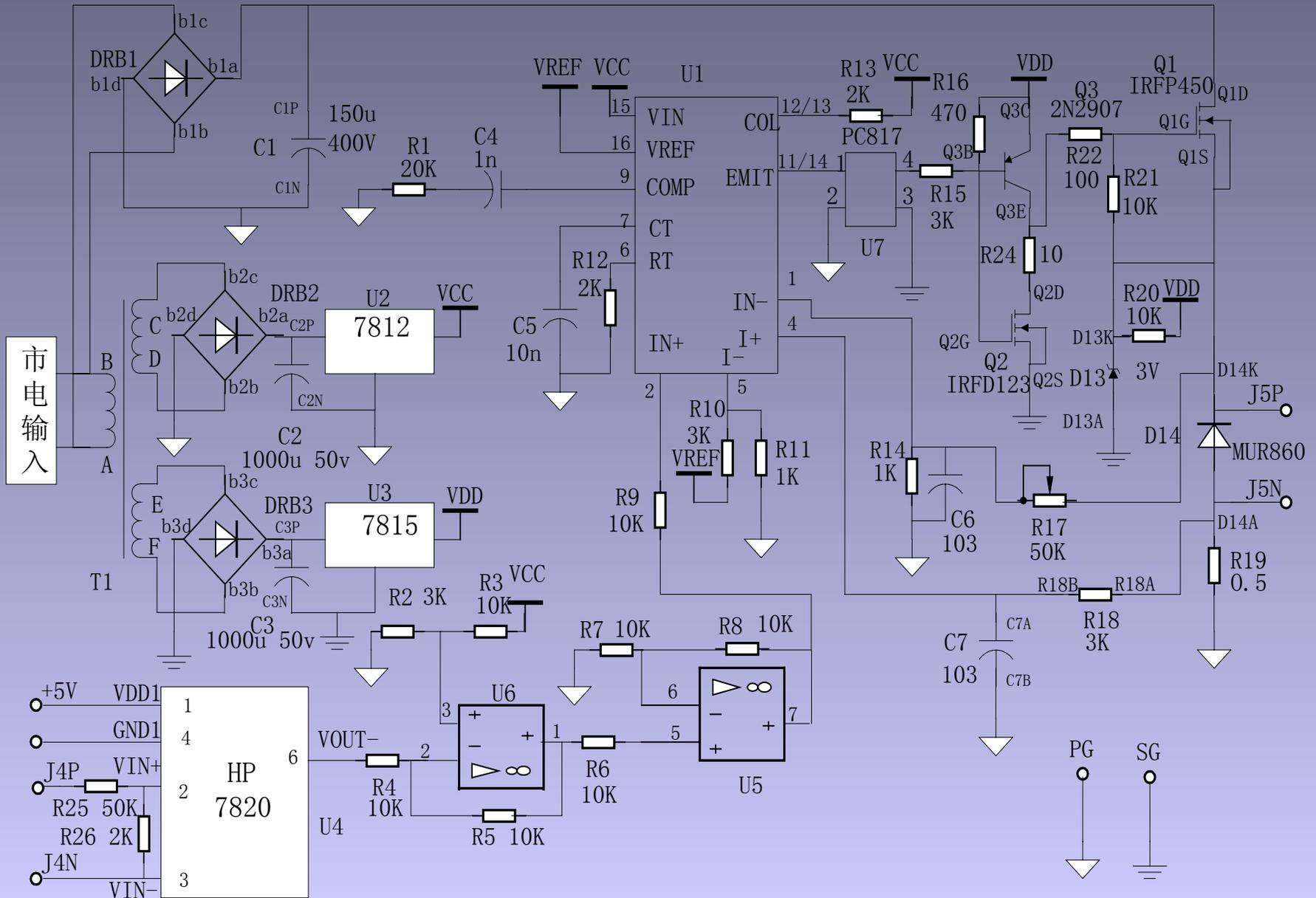
开题报告中的预期目标

- 对于SPWM逆变器输出滤波器，根据设计指标要求。提出综合的方法
- 进行优化设计

目前已完成的工作和结果

- 供可调式电感使用的可控直流电源的设计调试
- 变频器输出正弦波滤波器的工程设计
- 变频器输出正弦波滤波器的优化设计
- 三相逆变器共模电压的谐波分布分析

直流可控电源的设计调试



可调式电源的用途—可调式滤波器

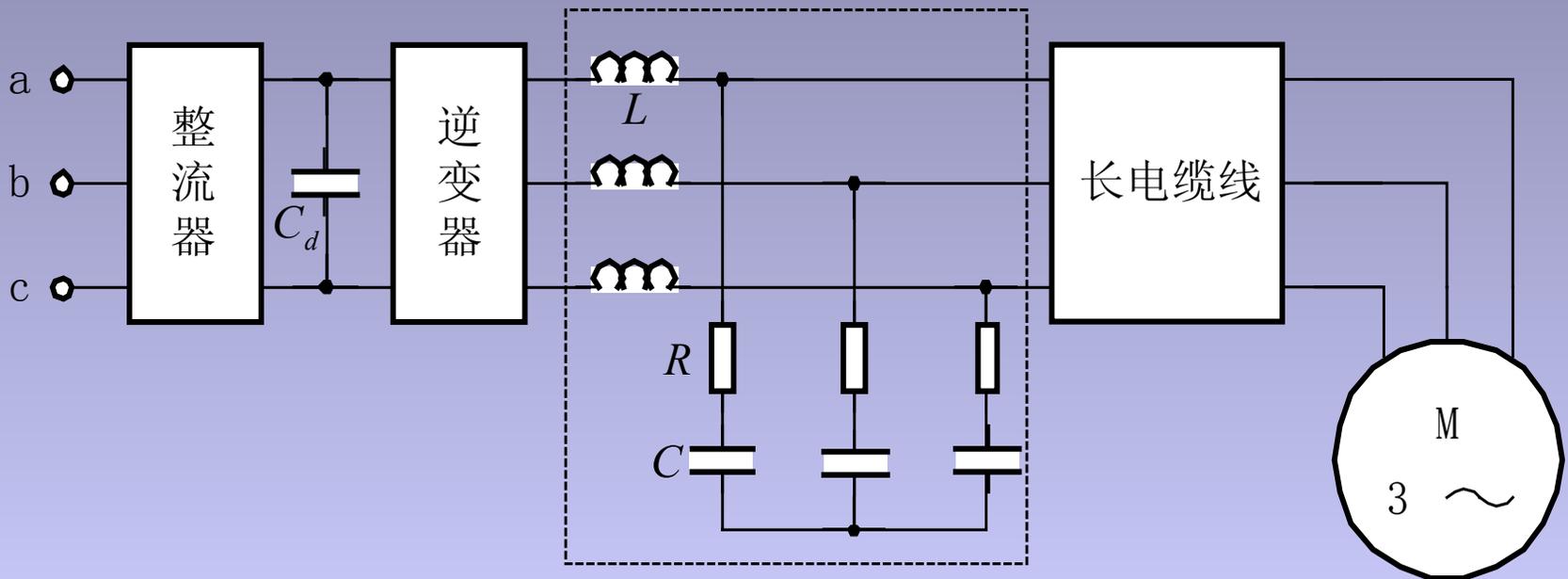
- 可调式滤波器的原理：变频器的输出电压频率是变化的，同时变频器输出所接的电机在工作过程中的等效阻抗是变化的，为达到良好的滤波效果要求滤波器参数可调，采用可变电感的方式。
- 可调式电源接受控制器的指令，改变可变电感励磁线圈的励磁电流，从而改变等效电感

可控电源结构和工作原理

- 主电路：降压式斩波器（BUCK）电路
- 检测控制电路：PWM控制器3524，电压闭环
- 辅助电源电路
- 驱动电路
- 接口隔离电路：线性光耦

变频器输出正弦波滤波器 工程设计

根据常见变频器调制方式下的谐波特性，并基于RLC滤波器的高低频等效电路。考虑了滤波器对变频器和电机的影响，以及开关时滞和过调制对滤波器设计的影响



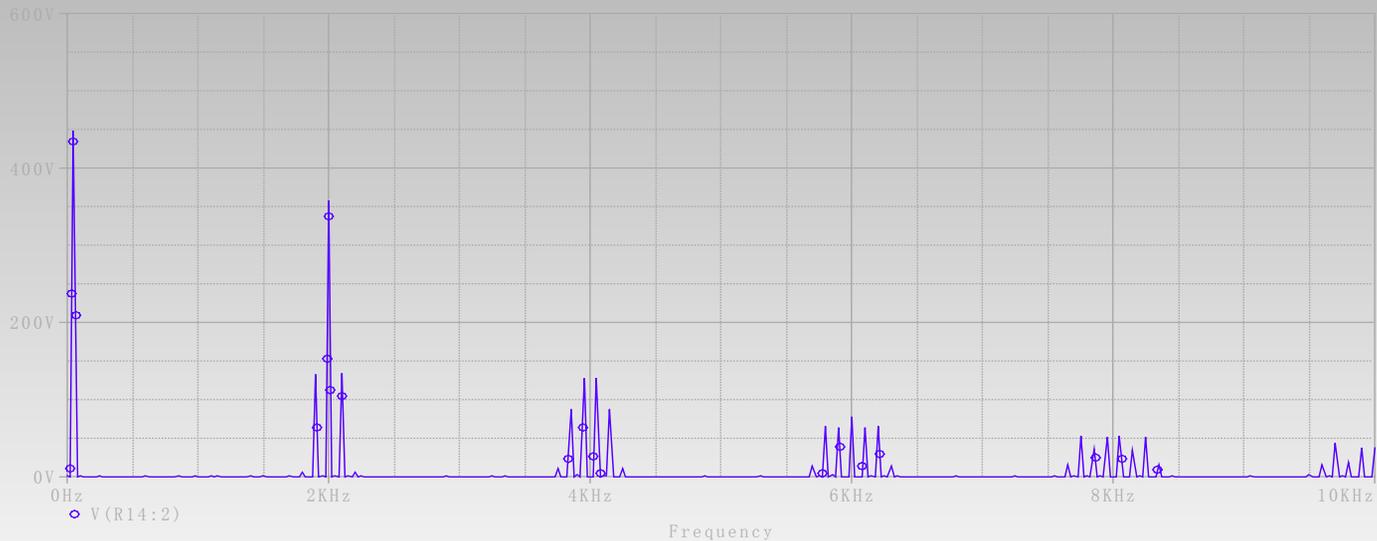
SPWM调制方式下变频器谐波特性

- 基波

$$\frac{\sqrt{3} \alpha E_d}{2}$$

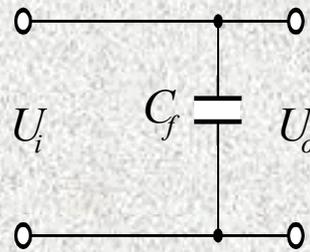
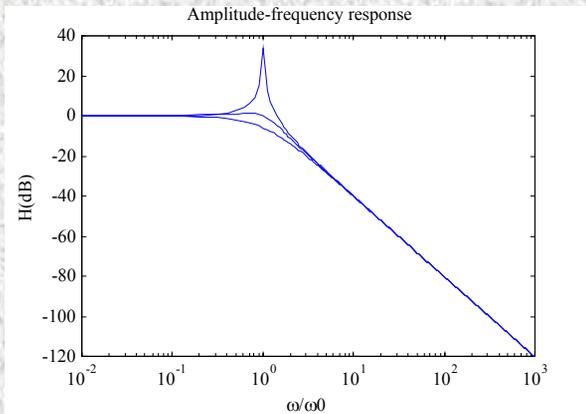
- 谐波 $n\omega_s \pm k\omega_1$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{4E_d}{n\pi} \times J_k\left(\frac{\alpha n\pi}{2}\right)$$

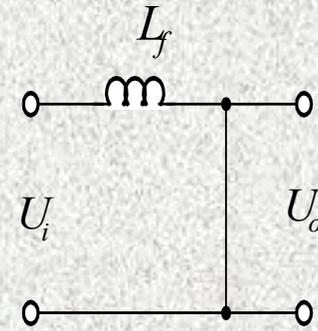


RLC滤波器的频率特性，高低频等效电路

$$\dot{H} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{j\omega \frac{R_f}{L_f} + \frac{1}{LC}}{(j\omega)^2 + j\omega \frac{R}{L} + \frac{1}{LC}} = \frac{j\omega 2\xi\omega_0 + \omega_0^2}{(j\omega)^2 + j\omega 2\xi\omega_0 + \omega_0^2}$$



低频等效



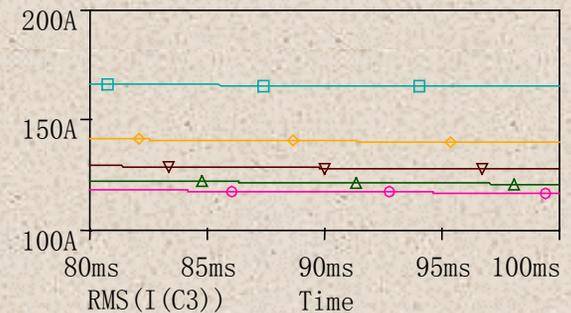
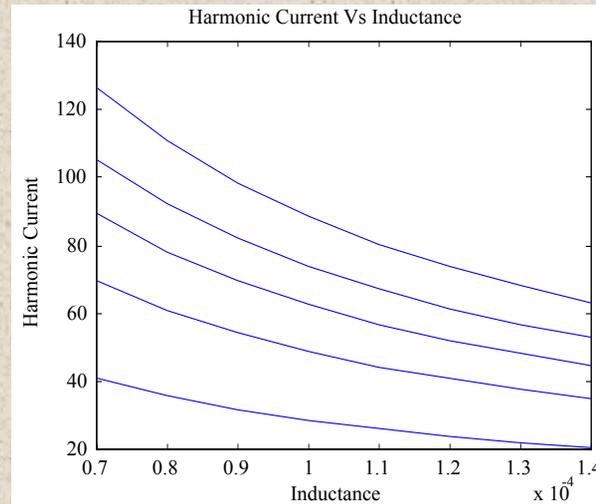
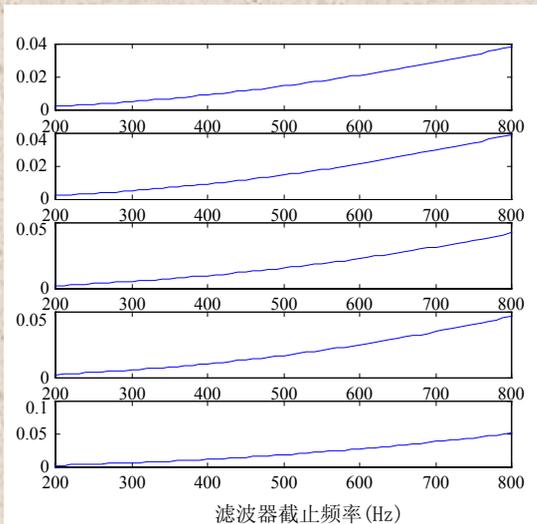
高频等效

开关时滞和过调制对滤波器设计的影响

- 在桥式逆变器中，通常采用加入死区的办法防止同桥臂的两个开关直通，这样会引入 $6m \pm 1$ 次的谐波
- 变频调速中，在基频以上调速时，变频器会工作在恒功率调速状态，这时为提高电机转矩，常使变频器工作在过调制区域。在基频域（大约1000Hz以下）存在的谐波次数与开关时滞引入的谐波次数相同，但幅值不同。
- 由于开关时滞和过调制时的谐波的影响，在滤波器的截止频率附近会存在低次谐波，这些谐波分量会使滤波器产生谐振，加大了输出的谐波分量，同时滤波器的电容中流过很大的谐振电流，所以这时要选择适当的阻尼电阻。

便于工程应用的滤波器参数的选择方法

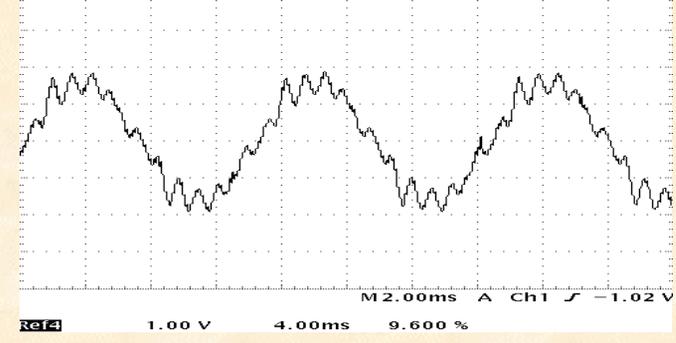
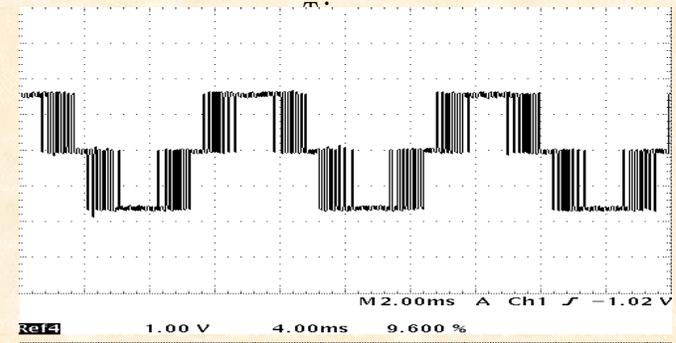
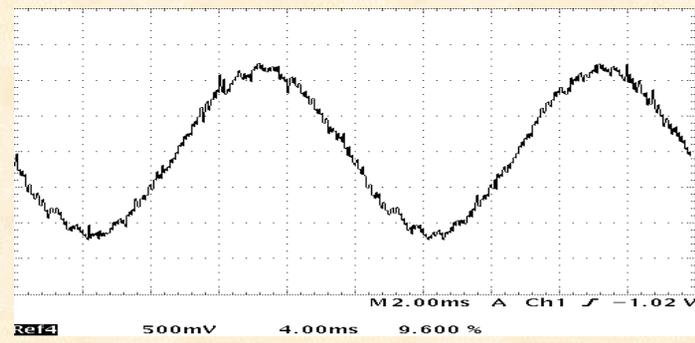
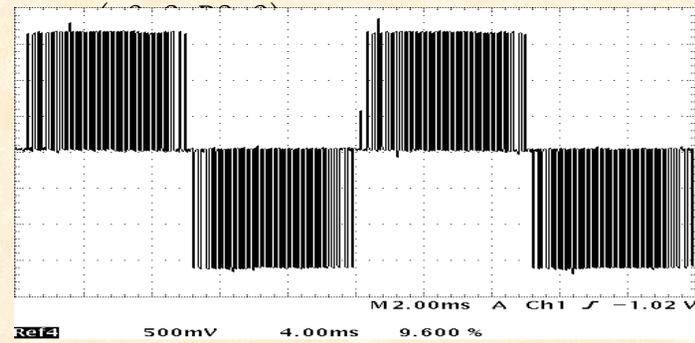
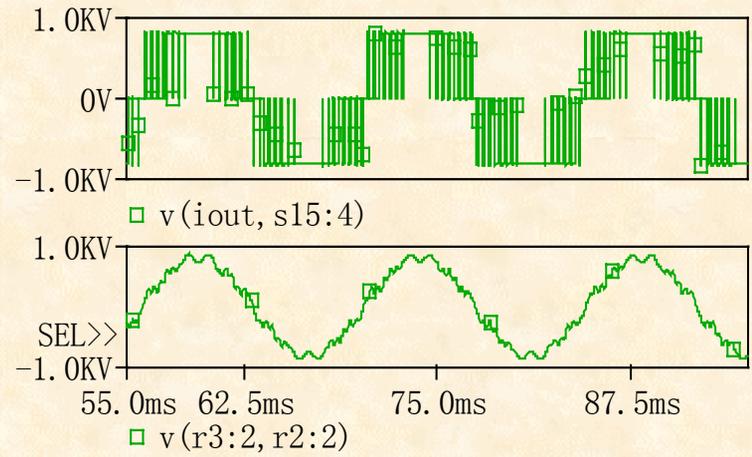
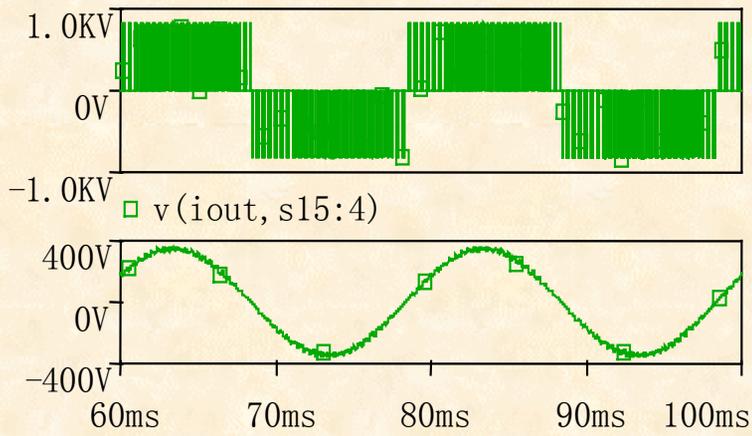
- 截止频率: $f_m < f_r < f_c$, 根据变频器的谐波特性, 滤波器的衰减特性和 T H D 值的要求来确定滤波器的截止频率
- 滤波电感: 基波压降, 高频谐波电流
- 滤波电容: 基波电流, 截止频率
- 阻尼电阻: 考虑开关时滞和过调制影响, 使谐波电流限制在允许范围, 考虑电阻上的功耗



设计实例

- 应用于一套西门子变频器-电泵系统
- 变频器参数为，容量：800kW,输入电压：690V，输出电压:0–690V,载波频率：2.5kHz,基波频率：45--75Hz,调制方式：SPWM
- 电机额定参数为，功率：400kW，频率50Hz，电压：3000V，电流：103A，转速：2880RPM，功率因数：0.86。变频器输出通过1：4升压变压器以及长线电缆连接到电泵上。

仿真和测试结果



变频器输出正弦波滤波器的 优化设计

- 变频器输出滤波器与一般逆变器滤波器的不同 (负载不同, 要求不同, 载波频率不同)
- 多目标优化的方法
约束法, 分层序列法, 线性加权法
平方加权法, 乘法
- 采用线性加权法

优化模型

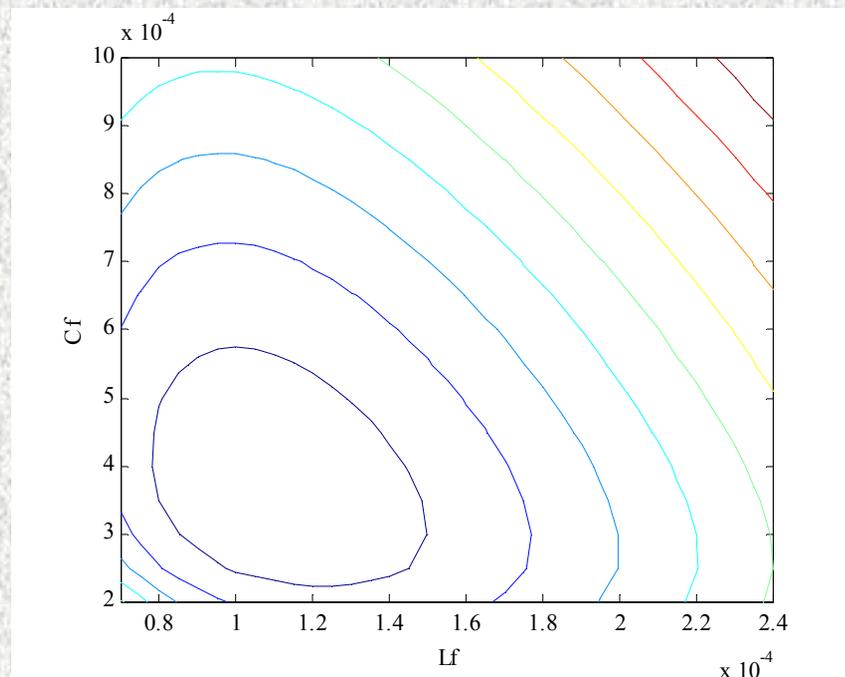
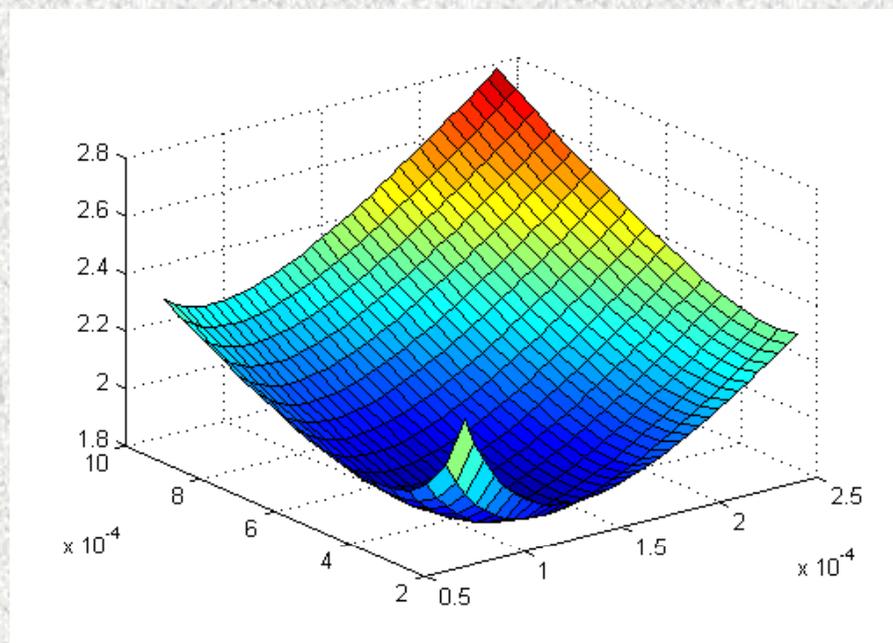
$$\min \quad \{\alpha_1 \times Costfactor + \alpha_2 \times THD + \alpha_3 \times I_h + \alpha_4 \times U_d\}$$

$$s.t. \quad 0.07mH \leq L \leq 0.2356mH$$

$$200 \mu F \leq C \leq 944 \mu F$$

$$500 \leq f_r \leq 1200$$

目标函数的曲面和等值线

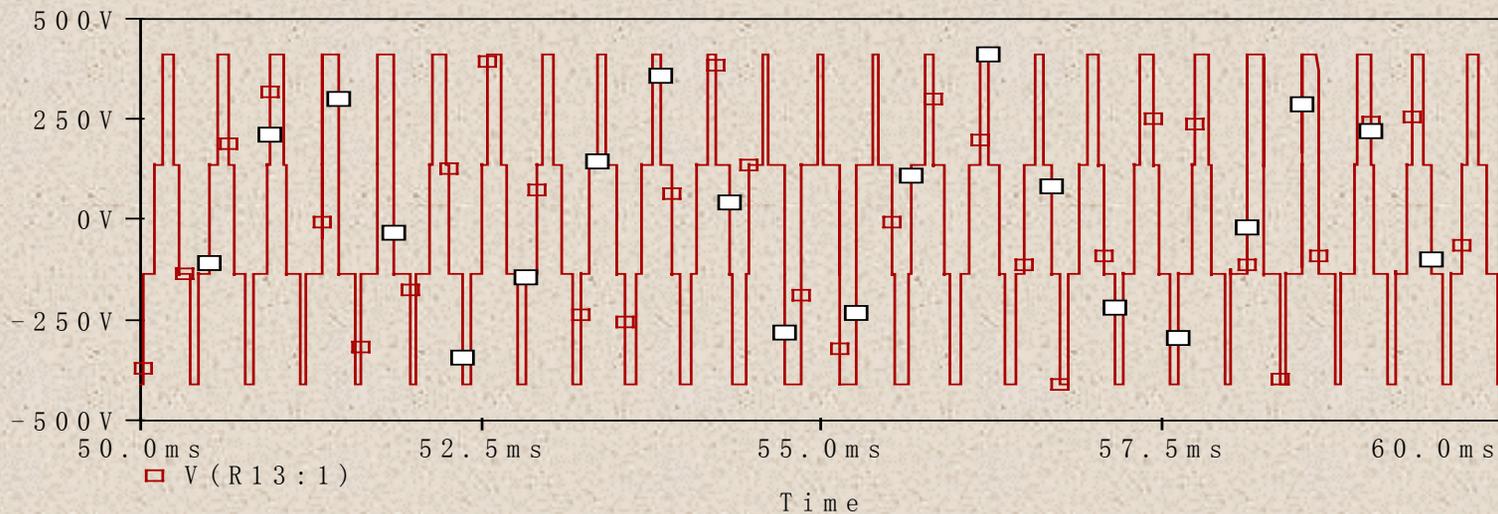


最优解： $L_f=0.108\text{mH}$, $C_f=358\mu\text{F}$

各目标函数值：价格因数—1.81; THD—5.3%; 谐波电流—82A

基波跌落—2.2%

三相逆变器共模电压的谐波分布分析



三相逆变器共模电压的谐波分布分析

基波分量零

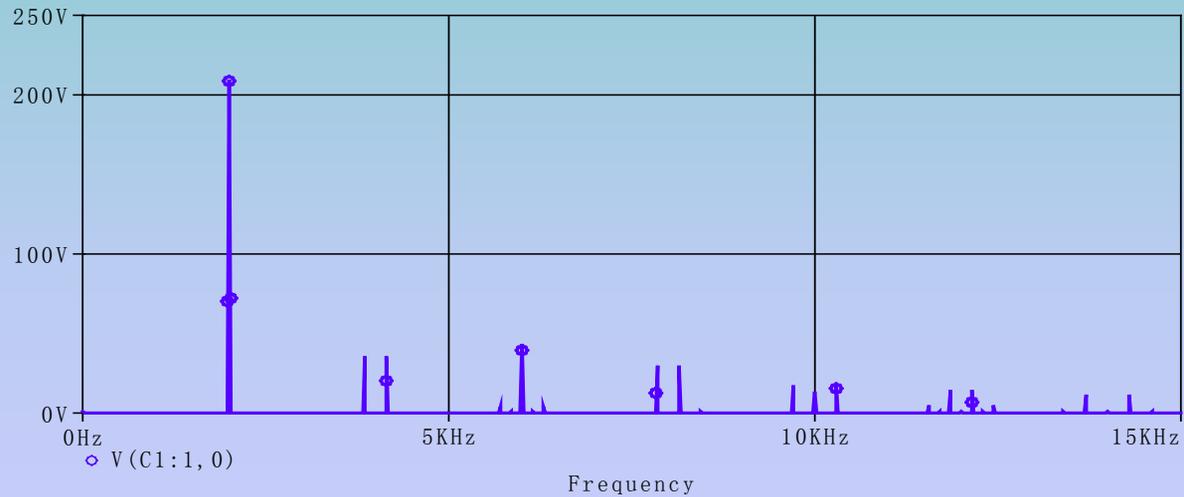
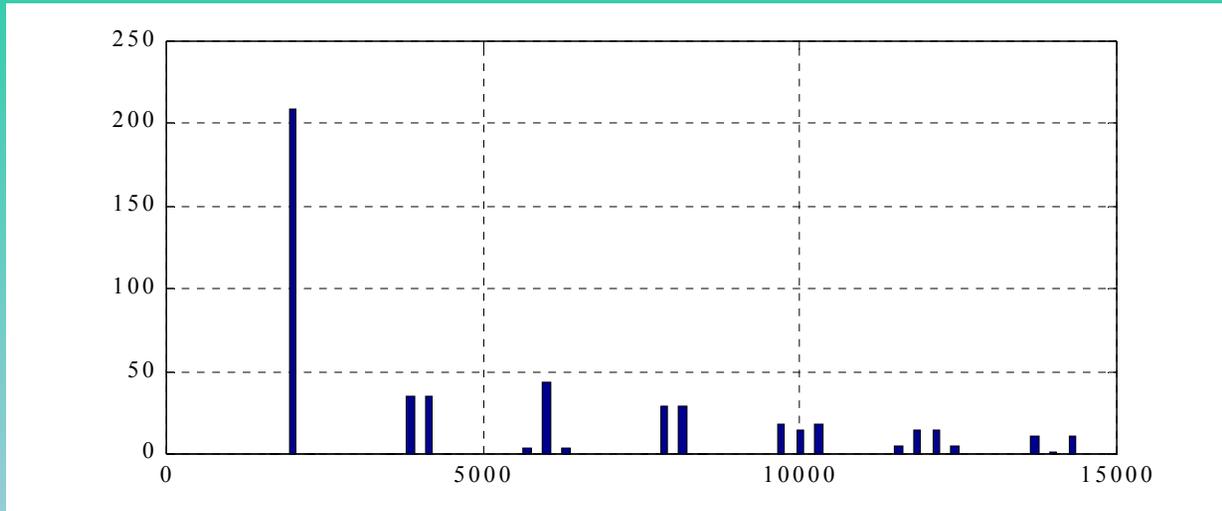
当 $n=1,3,5\dots,k=2,4,6\dots$ 时, 在谐波 $n\omega_s \pm k\omega_1$ 处, 谐波的幅值

$$\begin{cases} \frac{2E_d}{n\pi} J_k\left(\frac{an\pi}{2}\right) & k = 6m \\ 0 & k = \text{其他} \end{cases}$$

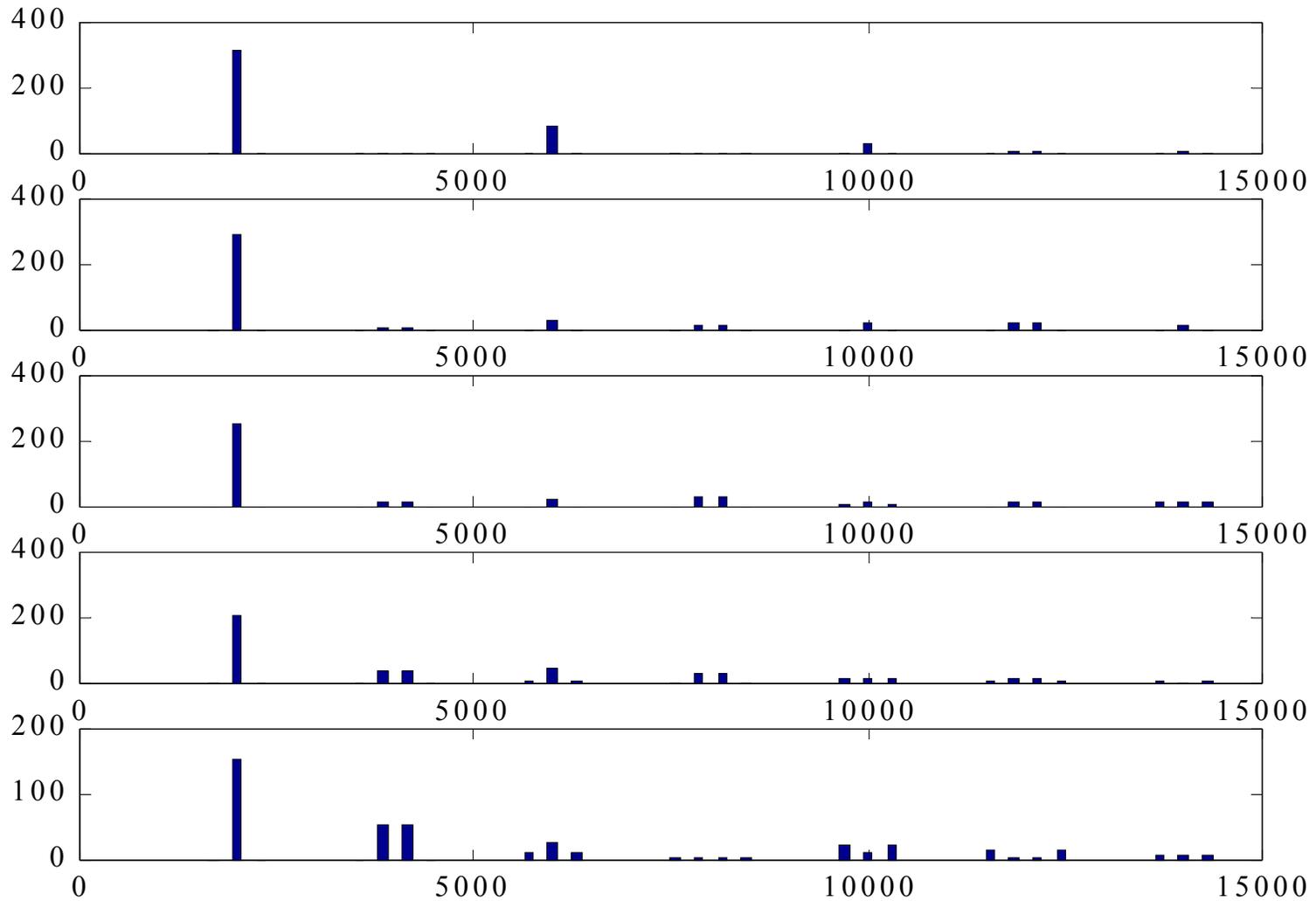
当 $n=2,4,6\dots,k=1,3,5\dots$ 时, 在谐波 $n\omega_s \pm k\omega_1$ 处, 谐波的幅值

$$\begin{cases} \frac{2E_d}{n\pi} J_k\left(\frac{an\pi}{2}\right) & k = 3(2m+1) \\ 0 & k = \text{其他} \end{cases}$$

计算以及仿真结果



幅度调制比为0.2,0.4,0.6,0.8,1.0的情况



分析结果的应用

- 各种轴电流的抑制方案中有一部分是从抑制共模电流的角度出发的，例如零序电抗器和将 dv/dt 抑制滤波器的伪中性点与直流电容中点连接的方法。以上的分析结果为设计此种滤波器提供了方便

后期拟完成的研究工作及进度安排

- 带谐振环节的输出滤波器的设计和优化
- 继续进行滤波器的特性分析，包括灵敏度分析以及THD的分析
- 共模电压,电流抑制装置的分析 and 仿真

存在的困难与问题

- ❑ 在变频器输出滤波器的设计和优化过程中，由于是功率滤波器，不同于信号滤波器，需要考虑实现多个目标，有时多个目标是相互冲突的
- ❑ 当功率较大时，要考虑到价格指数，这时的最优设计已从意义上发生了改变，由最优解转化为用户满意度。
- ❑ 在工程化的设计中，设计变量的限制范围不再是硬性的，而是有弹性的，采用硬性限制的设计并不能达到用户满意度最优，需要采用其他的设计方法

如期完成全部论文工作的可能性

- 按照目前的进度能够按照预定的时间完成论文

敬请各位老师指正