

传动装置中进线电抗器的作用和选型

一、 谐波的危害

在电机传动系统中，无论是交流传动还是直流传动，都需要利用整流器进行 AC-DC 变换，这就不可避免会产生谐波污染。高次谐波不仅危害电网的稳定性和电力系统的运行效率，也危害到电动机的正常运行。

谐波对电机的主要影响是引起附加铁损和铜损，使设备温升过高，降低绝缘强度；增加电机的电流，降低电机的效率，还会增加电机的无功功率，使电机的功率因数显著下降；其次是产生振动和噪声，长时间的振动会使金属疲劳和机械损坏；还会引起谐波过电压；

限制谐波电流的首选方法就是在交流侧加装交流进线电抗器。目前，在工业/工厂自动控制系统中，在变频器、调速器和电网电源之间安装输入电抗器，用于抑制变频器、调速器等产生的浪涌电压和电流，无功功率补偿和谐波治理。

二、 输入电抗器的工作原理和作用

电抗器的工作原理是交流电流经电感线圈时，线圈会产生自感电动势，此电动势会随着电流波形的变化而变化，并总是要阻止原电动势的增大或减小，输入电流增长时，自感电动势会阻止电流增大，输入电流减小时，自感电动势会阻止电流减小，从而达到减小波形起伏的作用。

输入电抗器，又叫进线电抗器。主要应用在工业自动控制系统中，主要作用是限制电网电压突变和操作过电压引起的电流冲击；对谐波

起滤波作用，衰减系统中的高次谐波和畸变谐波；平滑电源中包含的尖峰脉冲，平滑桥式整流电路换相时产生的电压缺陷。

三、 利用 MATLAB 仿真工具研究交流进线电抗器的作用

在交-直-交变频器、不间断电源、开关电源等应用场合，大都采用不可控整流电路经电容滤波后提供直流电源，供后级的逆变器、斩波器使用。目前最常用的单相桥式和三相桥式两种接法。这里针对我们公司系统特点以三相桥式不可控整流电路为分析对象。三相桥式不可控整流电路原理图如图 1 所示。

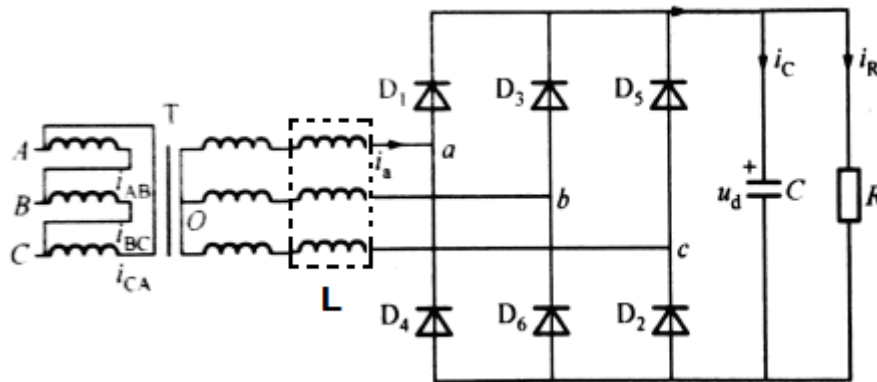


图 1. 三相桥式不可控整流电路原理图

图 1 中， L 为交流侧进线电抗器， C 为滤波电容， R 为负载， $D1-D6$ 为整流二极管，故也称这类电路为二极管整流电路。

1. 建立三相桥式不可控整流电路仿真模型

利用 SimPowerSystems 建立三相桥式不可控整流电路的仿真模型，如图 2 所示。

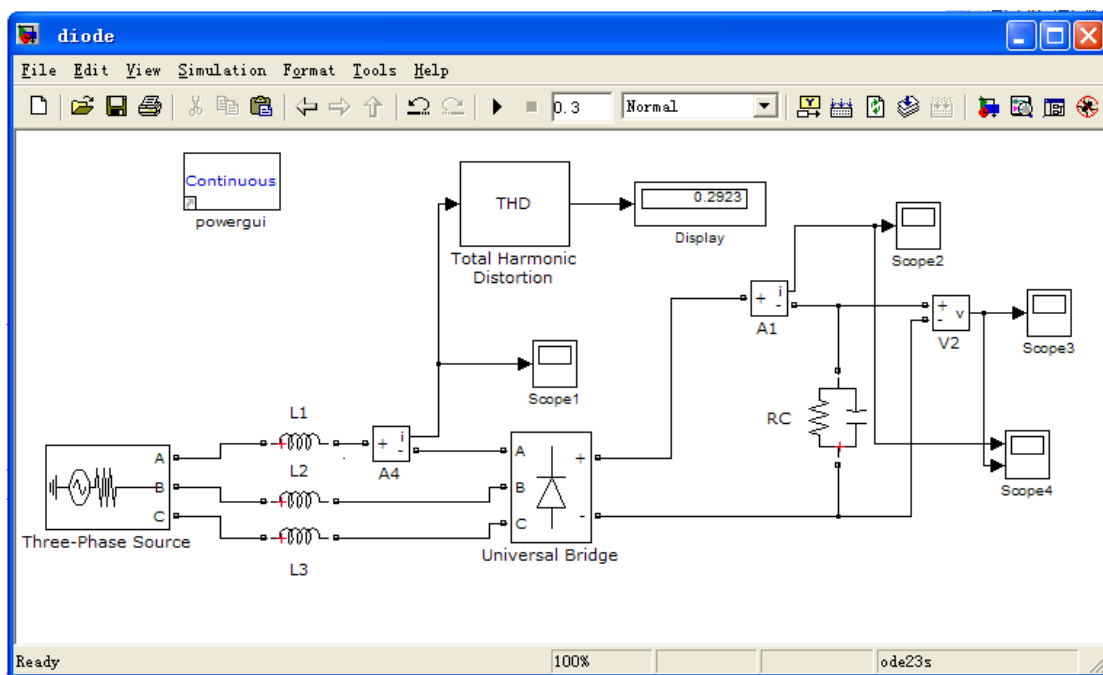


图 2. 三相桥式不可控整流电路的仿真模型

图 2 中，除了电路原理图中基本的电路元件外，增加了一个 THD 模块，该模块全称是 Total Harmonic Distortion, 总谐波失真，用于计算电流总谐波畸变率。表征被输入波形的失真程度，THD 数值越大，输入波形的失真越严重，高次谐波越丰富。数值越小，失真越小，高次谐波占的分量越小。公式为：

$$THD[\%] = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=\infty} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2} * 100\%$$

式中，Q1 表示电压或者电流的基波成分，Qh 表示电压或电流的整数倍谐波成分。

2. 通过仿真实验分析交流进线电抗器的作用

仿真模型如图 3 所示。仿真模型的参数设置为三相电源线电压 380V，50Hz，内阻 0.001Ω。滤波电容 C=2200uf，负载电阻 R=10Ω。

通过仿真得到的波形和如图 3-图 8 所示。

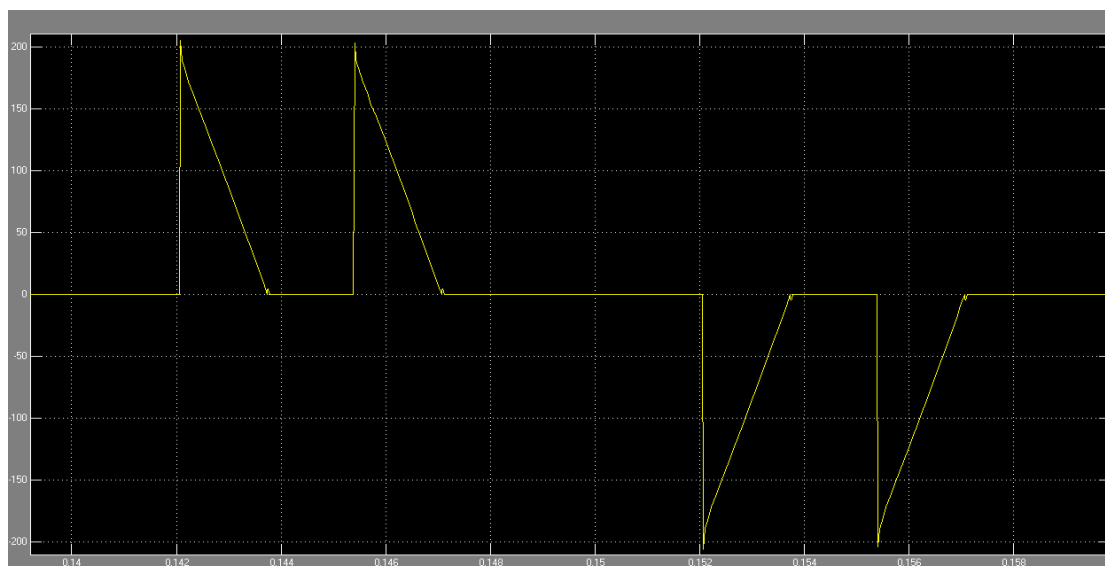


图 3. 没有交流侧进线电抗器时交流侧 A 相电流的波形

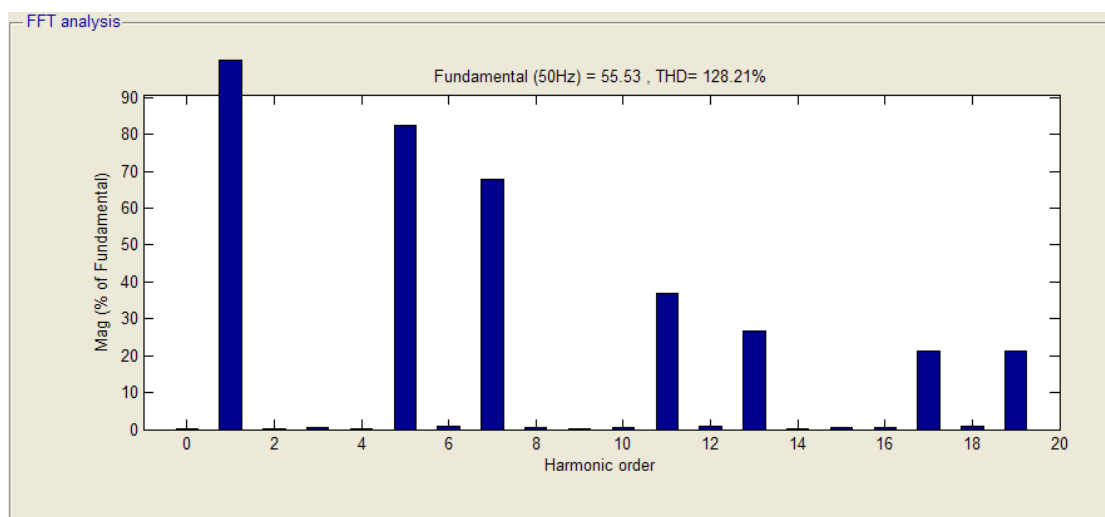


图 4. 图 3 的傅里叶分析柱状图

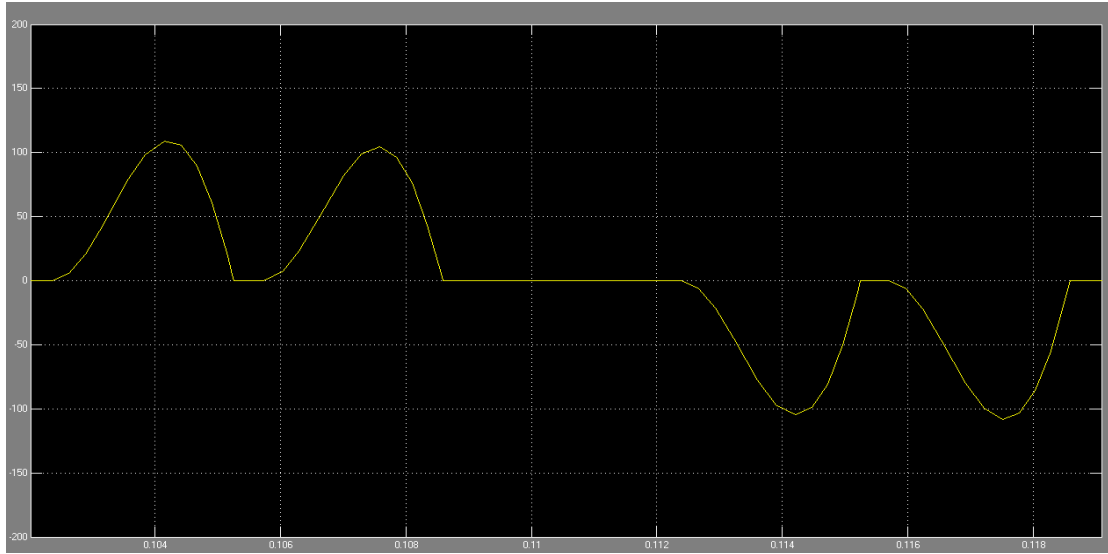


图 5. 有电抗器 ($L=0.2\text{mH}$) 时交流侧 A 相电流的波形

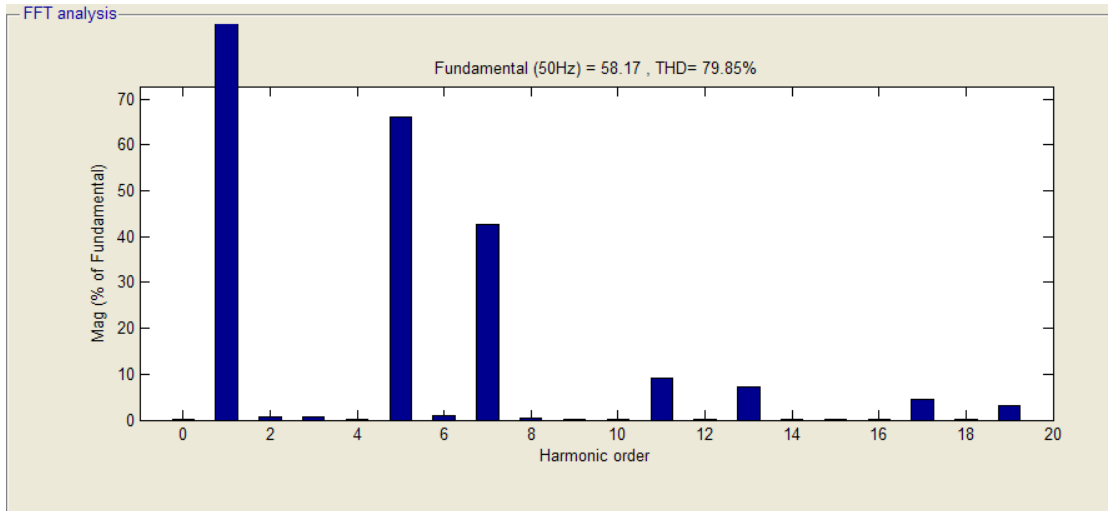


图 6. 图 5 的傅里叶分析柱状图

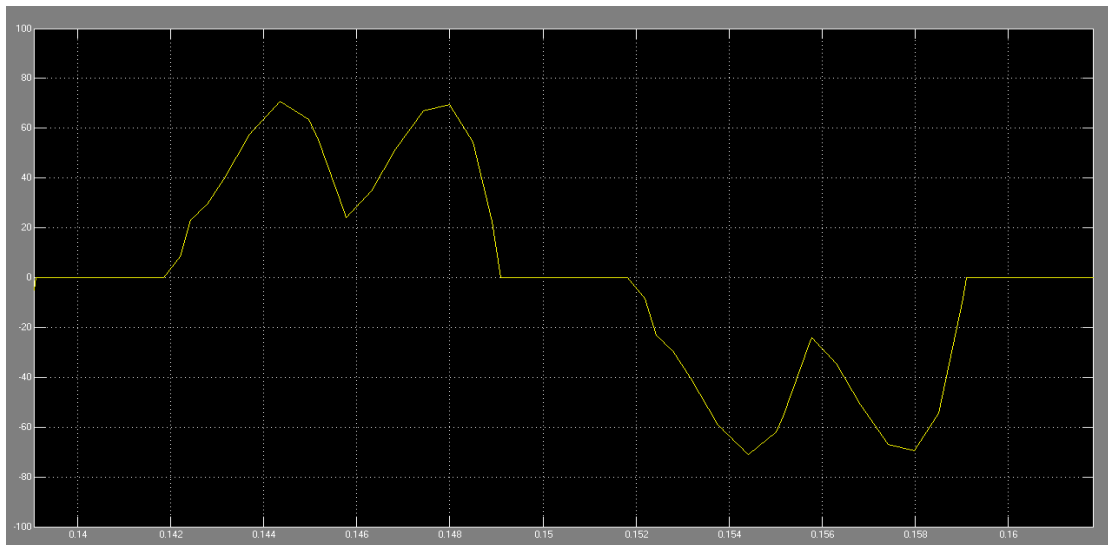


图 7. 有电抗器 ($L=0.6\text{mH}$) 时交流侧 A 相电流的波形

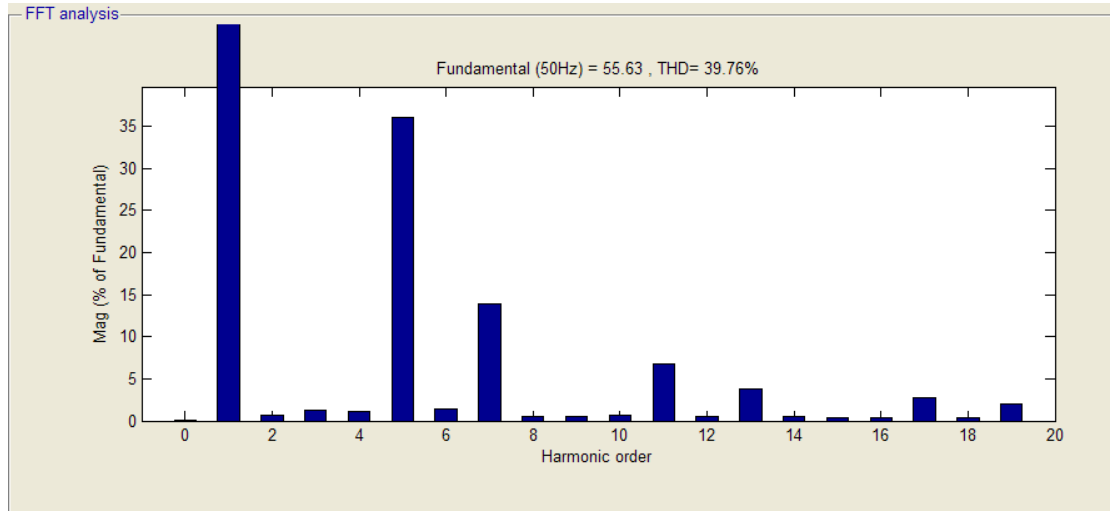


图 8. 图 7 的傅里叶分析柱状图

通过以上仿真，在相同负载条件下，加入不同电感值的进线电抗器时总谐波畸变率的变化情况如表 1 所示。

表 1. 交流电流的 THD (%) 值

电抗器	交流电流的 THD
不加	128.21%
0.2mH	79.85%
0.6mH	39.76%

综合图 3-图 8 的波形图以及表 1 的数据可以看出，图 7 和图 5 所示的波形图比图 3 更接近正弦波，也就是含有更少的谐波。由此可知添加交流电抗器并适当选择合适的大小可以改善交流侧输入电流的波形，使之更接近正弦波，减少电流中的谐波含量。

四、 进线电抗器的选择计算方法

根据上文的仿真实验结果，我们知道选择合适的进线电抗器的电感值可以比较明显的改善交流侧输入电流的波形，减少电流中谐波。那么怎样选择电抗器的电感值呢？下面将介绍进线电抗器的选择计算

方法。

进线电抗器的容量可按预期在电抗器每相绕组上的压降来决定。一般选择压降为网侧相电压的 2%-4%。

电感量 L 的计算公式如下：

$$L = \frac{\Delta U_l}{2\pi f I_{ln}} = \frac{(0.02 \sim 0.04)U_v}{2\pi f I_{ln}}$$

式中：

U_v 交流输入相电压有效值；

ΔU_l 电抗器额定电压降；

I_{ln} 电抗器额定电流；

f 电网频率。

要计算得到比较合适的电抗器电感值需要先计算电抗器额定电流 I_{ln} ，根据实际情况可按表 2 的计算公式进行选择。

表 2 电抗器额定电流 I_{ln} 的计算公式

应用环境	计算公式
直流传动	$I_{ln} = 0.82I_{dn}$
电压型变频器	$I_{ln} = 1.1I_{cn}$
整流单元和整流/回馈单元	$I_{ln} = 0.87I_{dc}$

式中： I_{dn} 电动机的额定电流 (A)； I_{cn} 电动机的额定电流 (A)； I_{dc} 整流单元或整流/回馈单元额定输出电流 (A)。

进线电抗器压降不宜取得过大，压降过大会影响电机转矩。对直流传动装置和整流/回馈单元按压降 4%选择，对变频器和整流单元，

按压降 2%选择。

下面分别以高线出炉辊道组变频传动整流单元和 7#轧机直流传动系统为例计算其进线电抗器的电感值。

1、出炉辊道变频整流单元的交流侧线电压为 380V，整流单元的额定输出电流为 463A，代入电感量 L 的计算公式得：

$$L = \frac{0.02 \times 380}{1.732 \times 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.87 \times 463} \times 1000 = 0.0347(\text{mH})$$

对比实际装机电抗器的铭牌参数为：额定电流 400A，额定电压降为 4.6V，计算得到电感量 $L = \frac{4.6}{2 \times 3.14 \times 50 \times 400} \times 1000 = 0.0366(\text{mH})$ ，实际选择电感量基本符合理论计算值。

2、考虑到直流传动装置经常有短时间的过载运行，可以直接按照电机的额定电流选择电抗器的额定电流，而不进行 0.82 倍的折算。高线 7#轧机传动装置交流侧线电压为 690V，7#轧机电机额定功率 900KW，额定电流 1466A，代入电感量 L 的计算公式得：

$$L = \frac{0.04 \times 690}{1.732 \times 2 \times 3.14 \times 50 \times 1466} \times 1000 = 0.0346(\text{mH})$$

实际电抗器选型时按照电流，电感，电压从所选择厂家的产品目录中选择最接近的型号。对比实际装机电抗器的铭牌参数为：额定电流 1500A，额定电感量 $L = 0.0308(\text{mH})$ 。不同厂家产品系列和计算值会有 $\pm 10\%$ 左右的偏差，但这并不影响实际使用。