

一种脉冲屏蔽调制电源设计

Design of The Pulse Masking Modulated Power Supply

郁璋 供稿

摘要：塑料薄膜具有广泛的用途，在用于包装领域时，需要在其表面印刷图案文字，为对油墨具有良好的吸附性能，需要对塑料薄膜表面进行处理。塑料薄膜表面处理的负载通常由电容器组成，由于电容器的非线性特性，使其逆变电源的设计相对困难得多。通过串联谐振逆变器经匹配变压器与电容器负载连接，被认为是一种高效实用的解决方案。本文结合这种电路拓扑结构，提出了一种采用脉冲屏蔽调制 (PMM—Pulse Masking Modulate) 策略的塑料薄膜表面处理电源。PMM 用于调节谐振变换器的功率输出，同时保证逆变电路中开关器件始终工作在零电压和零电流开关状态，以进一步减少开关损耗，提高塑料膜表面处理电源的工作效率。实验与使用结果表明，与使用传统的脉冲移相调制的表面处理电源相比较，采用 PMM 的塑料薄膜表面处理电源的结构更加紧凑，设备的效率更高，功率调节范围进一步扩大。

关键词：电源，脉冲屏蔽调制 (PMM)，谐振逆变器，软开关

中图分类号：TN86 文献标识码：B 文章编号：1606-7517(2015)10-3-119

1 引言

用于包装工业的塑料薄膜，需要在其表面进行图案印刷，故必须使其表面具有良好的油墨吸附能力。本设计即为此目的。

众所周知，当一个高频电压加在两个电极之间时，会产生电晕放电现象。产生电晕放电现象时的高频电压被称为放电起始电压。放电起始电压是随着周围环境温度的变化而改变的，如果因此造成电晕表面处理过程中输出功率突增，产生的火花温度过高，将造成塑料薄膜被击穿。为了能在正常大气状况下得到稳定的电晕放电过程，需要以逆变器提供电源。逆变器有多种类型，传统的采用直流侧电压控制的串联谐振逆变器由于其体积大、成本高以及系统响应速度慢等缺点，已逐渐由脉冲频率调制、脉冲移相调制和脉冲宽度调制等控制方法取代。然而，以上几种控制方法中的功率开关器件不能总是保持在零电流和零电压开关状态，这就既容易造成开关损耗增加，又使得电源效率降低。

本文提出了一种基于脉冲屏蔽调制的处理塑料表面的电源。脉冲屏蔽调制 (PMM) 策略能够保证逆变器工作在恒压恒频条件下，同时功率开关器件始终工作在零电流和零

电压开关状态，开关损耗减小。而且，PMM 除在全功率输出状态下开关频率等于谐振频率外，在其它的输出功率值时的开关频率都低于谐振频率，这就进一步降低了开关损耗，提高了设备效率。

2 塑料薄膜表面处理系统简介

图 1 所示为塑料薄膜表面处理系统示意图。该系统由高压放电电极和表面带有绝缘介质层的接地电极组成，需要处理的塑料薄膜通过两个电极的间隙进行加工处理。为提高导电性能，高压放电电极通常加工成“刀型”，以进一步增加放电面积。接地电极是一个长度为 1.6m 的圆筒，其表面带有的绝缘介质之厚度为 3mm，其作用是为了避免电晕放电过程中发生突变而产生电弧，防止其对设备和人员造成伤害。图 2 所示为塑料薄膜表面处理电源的主电路拓扑结构。其直流侧电源由一个三相二极管不可控整流电路构成，逆变侧为一个单相全桥串联谐振逆变器，开关器件由两个双单元 IGBT 模块组成，缓冲电容 C_s 并联在 IGBT 的集电极和发射极两端，实现功率器件软开关。逆变器通过一个升压型匹配变压器与负载输出端相连，产生电晕放电过程所需要的高频电压。

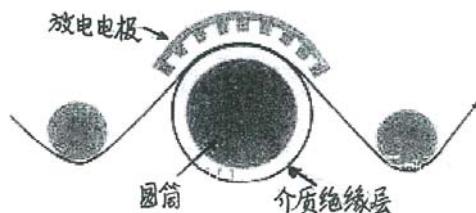


图1 塑料薄膜表面处理系统示意图

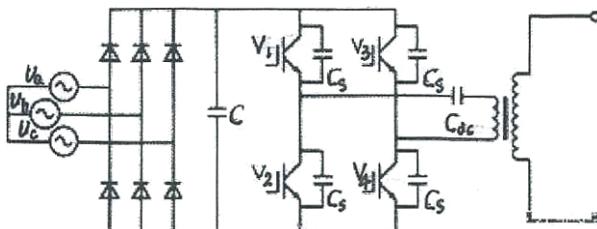


图2 塑料薄膜表面处理电源的主电路拓扑结构

3 脉冲屏蔽调制(PMM)分析

3.1 PMM原理

脉冲屏蔽调制(PMM)的基本原理为：在一个PMM周期T内，包含n个小的功率调节单位，即 $T=nT_0$ (T_0 是逆变电路负载的谐振周期)，其中，只有一个小的功率调节单位逆变电路处于自由衰减振荡状态，其余的($n-1$)个功率调节单位逆变电路都处于输出功率状态。图3所示出的是PMM电压源串联谐振逆变电路的开关运行模式。为了方便叙述，可将整流侧简化为一个直流电源。

传统的一个电压源串联谐振逆变电路工作在与图3a、图3b相对应的模式1和模式2，是向谐振负载输出方波电压；当逆变电路工作在自由衰减振荡状态时，逆变电路输出电压为零，对应于图3c、图3d，在模式3、模式4期间，产生的门极开通信号驱动两个桥臂的下开关管功率器件 V_{2j}

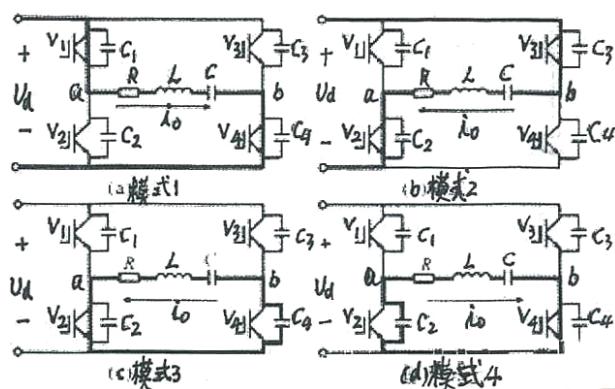


图3 PMM电压源串联谐振逆变电路的开关运行模式

和 V_{4j} ，这时，下桥臂的 V_{2j} 和与 V_{2j} 对应桥臂的电容构成导通回路，轮流导通，为负载电流提供一个双向流动的自由衰减振荡回路。

图4所示为PMM负载输出功率的脉冲产生原理图。逆变电路总是不断重复地处在“运行与停止”状态，通过控制脉冲调制序列来调整逆变电路输出端的输出平均电压，并保持负载输出电压与负载谐振电流同相位。由图4可见，脉冲屏蔽调制比 $D_{PMM}=3/4$ 。在每半个谐振周期下，模式1，模式2交替运行。谐振逆变电路在3个谐振周期内均产生幅值为 U_d 的方波电压，而在下一个谐振周期，逆变电路运行在模式3、模式4，其对应方波电压为零。考虑以4个谐振周期为一个功率调节单位，PMM逆变电路的输出电压平均值为对应全功率输出时输出电压平均值的3/4，对应仿真波形如图5所示。在整个调节过程中，输出电压 U_{ab} 中并未包含直流分量，避免了磁芯漏磁通发热过高而烧毁匹配变压器。

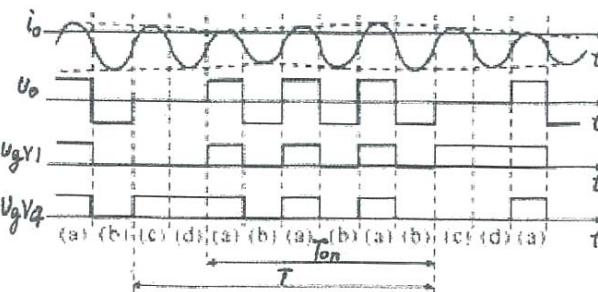


图4 PMM的脉冲产生原理示图

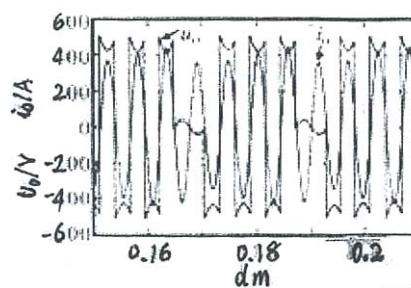


图5 图4的对应仿真波形

3.2 控制电路

图6所示为PMM原理图，其中鉴相器、低通滤波器a，压控振荡器构成了锁相环电路。电流相位检测电路的输出信号，经过单稳态触发电路整定后，作为锁相环电路的一路输入，由他激频率给定确定的电路工作频率。压电振荡器的输出经过分频器二分频和延迟过程后，作为锁相环电

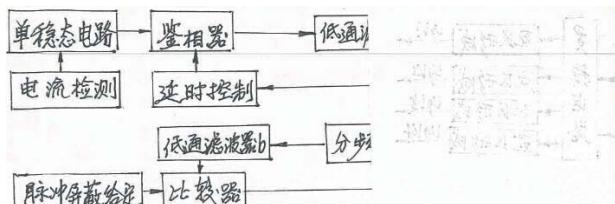


图6

路的另一路输入。输入鉴相器，二分频的目的是保证锁相环电路的输出信号的占空比为50%的方波，延时过程使负载输出电压信号超前于输出电流信号，逆变电路工作在小的感性状态，以满足功率开关器件零电压开关和零电流开关状态。二分频后，信号被分为两路，一路作为同步电路的时钟同步信号，另一路则经过分频器再次进行分频处理。分频器输出信号经过低通滤波器b后，作为比较器的一路输入信号与脉冲屏蔽给定的信号进行比较之后送入同步电路，再经过一系列的逻辑门信号及死区形成电路，最终产生4路控制脉冲信号 U_gV1 、 U_gV2 、 U_gV3 和 U_gV4 来驱动功率开关器件。

4 检测分析

图7所示为塑料薄膜表面处理电源的实验波形，其中 U_o 为逆变器输出电压， i_o 为变压器次级输出电流。 D_{PMM} 分别为：1, 3/4, 2/3, 1/2。主电路参考为：直流电压 $U_d=200V$ ；工作频率 $f_s=22.3kHz$ ；负载谐振频率 $f_o=21.8kHz$ ；额定输出功率 $P_o=50kW$ ；匹配变压器变压比5:32；缓冲电容 $C_s=2200PF$ ；IGBT模块采用1kV/60A的BSM100GB60DLC。

图7表示：图7a为全功率状态下的负载输出实验波形， $D_{PMM}=1$ ，每个脉冲周期中，逆变电路都向负载馈送能量。图7b、图7c、图7d分别为 D_{PMM} 为3/4, 2/3和1/2时的实验波形。在 D_{PMM} 为1, 3/4, 2/3, 1/2时，功率开关

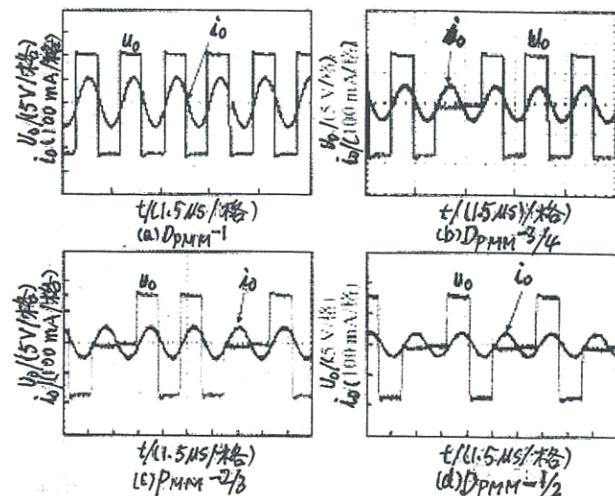


图7 全功率状态下的负载输出实验波形

器件的平均开关频率为： $22.3kHz$, $16.73kHz$, $14.87kHz$, $11.15kHz$ 。在塑料薄膜表面处理电源工作的过程中，负载谐振频率维持在 $21.8kHz$ 不变，逆变器工作在小感性状态，负载输出电压相位略超前于负载输出电流相位，功率开关器件通过并联在其两端的 C_s 实现零电压和零电流开关，同时采用不同的 D_{PMM} 控制负载输出功率，降低了功率开关器件的开关频率，进一步减小了电源的开关损耗，提高了设备的效率。

5 小结

文章介绍了基于串联谐振逆变器的塑料薄膜表面处理电源系统，提出了一种脉冲屏蔽调制方法来控制负载输出功率，解决了传统控制方法应用于电晕放电型负载时放电起始电压容易突变，电源设备效率低等等缺点，实现了恒频恒压功率调节，减小了平均开关频率，降低了开关损耗，同时扩大了功率调节范围。

《参考资料略》