



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106411139 B

(45)授权公告日 2019.08.30

(21)申请号 201610917820.6

(22)申请日 2016.10.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106411139 A

(43)申请公布日 2017.02.15

(73)专利权人 华北电力大学
地址 102206 北京市昌平区朱辛庄北农路2号

(72)发明人 徐恒山 黄永章

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246

代理人 陈波

(51)Int.Cl.

H02M 3/335(2006.01)

H02M 7/48(2007.01)

(56)对比文件

CN 105119497 A,2015.12.02,

CN 103683955 A,2014.03.26,

CN 101431296 A,2009.05.13,

Milan M. Jovanovič等.On-the-Fly Topology-Morphing Control—Efficiency Optimization Method for LLC Resonant Converters Operating in Wide Input- and/or Output-Voltage Range.《IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS》.2016,第2596-2608页.

审查员 黎燕

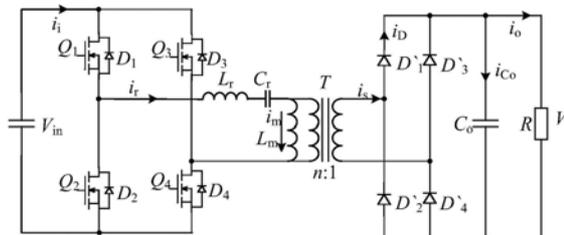
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

(54)发明名称

一种宽输出范围LLC变频器的控制方法

(57)摘要

本发明属于电力电子技术领域,尤其涉及一种宽输出范围LLC变频器的控制方法。所述方法采用LLC变频器全桥和半桥灵活切换的控制方式,根据LLC变频器输出电压的需求,判断LLC的工作方式;当LLC变频器的输出电压小于半桥LLC变频器的峰值输出电压时,LLC变频器以半桥模式运行,当LLC变频器的输出电压大于半桥LLC变频器的峰值输出电压时,LLC变频器以全桥方式工作;半桥与全桥的切换点为半桥LLC变频器增益曲线的峰值处。本发明实现了LLC变频器宽电压增益、窄频范围工作的能力,利于将谐振电感和隔离变压器频率的进一步提高,降低谐振电感和隔离变压器的体积和重量,提高LLC变频器的功率密度。



1. 一种宽输出范围LLC变流器的控制方法,其特征在于,所述方法采用LLC变流器全桥和半桥灵活切换的控制方式,根据LLC变流器输出电压的需求,判断LLC的工作方式;当LLC变流器的输出电压小于半桥LLC变流器的峰值输出电压时,LLC变流器以半桥模式运行,当LLC变流器的输出电压大于半桥LLC变流器的峰值输出电压时,LLC变流器以全桥方式工作;半桥与全桥的切换点为半桥LLC变流器增益曲线的峰值处;

LLC变流器以半桥模式工作时,LLC变流器有3只功率器件投入工作,其中有2只功率器件为对角关系,另一只功率器件为半桥LLC变流器电流提供续流通道,LLC变流器的工作频率由半桥LLC变流器允许的最高工作频率逐渐降低到半桥LLC变流器允许的最低工作频率,LLC变流器的输出电压由最低电压逐渐上升到半桥LLC变流器的峰值输出电压;

LLC变流器以全桥模式工作时,LLC变流器的4只功率器件全部投入工作,LLC变流器的工作频率由全桥LLC变流器允许的最大工作频率逐渐减小到全桥LLC变流器允许的最小工作频率,输出电压由半桥LLC变流器的峰值输出电压逐渐升高到全桥LLC变流器的峰值输出电压;

半桥LLC变流器切换到全桥LLC变流器的过程中,在投入第4只功率器件的同时,将LLC变流器中4只功率器件的工作频率全部提升到全桥LLC变流器的最高允许工作频率,以实现由半桥LLC变流器模式到全桥LLC变流器模式的平滑切换;

以半桥工作模式的LLC变流器最大频率高于LLC变流器全桥模式下的最大工作频率,取决于LLC变流器的最低输出电压需求;

以全桥工作模式的LLC变流器最小工作频率低于LLC变流器半桥模式下的最小工作频率,取决于LLC的最高输出电压需求;

以半桥模式工作的LLC变流器最小工作频率和以全桥模式工作的LLC变流器最大工作频率相等,且均为半桥模式下LLC的峰值增益工作频率。

一种宽输出范围LLC变流器的控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力电子技术领域,尤其涉及一种宽输出范围LLC变流器的控制方法。

背景技术

[0002] 目前,LLC(Logical Link Control)变流器在中大功率AC/DC和DC/DC电路中应用较多,其软开关性能对效率提升作用突出,降低了开关噪声和EMI,广泛应用于中大功率产品中。车载电源产品常采用LLC电路,常规电池的充电电压范围为230Vdc~430Vdc,调频控制是LLC变流器最常用的控制方法,为了满足宽输出电压范围的要求,LLC变流器的工作频率范围很宽,而LLC变流器中谐振电感和变压器必须按照最低工作频率进行设计,其体积和重量会非常大,非常不利于LLC变流器的小型化设计,阻碍了车载电源往高功率密度方向上的发展。

发明内容

[0003] 为了解决上述问题,本发明提出了一种宽输出范围LLC变流器的控制方法,其特征在于,所述方法采用LLC变流器全桥和半桥灵活切换的控制方式,根据LLC变流器输出电压的需求,判断LLC的工作方式;当LLC变流器的输出电压小于半桥LLC变流器的峰值输出电压时,LLC变流器以半桥模式运行,当LLC变流器的输出电压大于半桥LLC变流器的峰值输出电压时,LLC变流器以全桥方式工作;半桥与全桥的切换点为半桥LLC变流器增益曲线的峰值处;

[0004] LLC变流器以半桥模式工作时,LLC变流器有3只功率器件投入工作,其中有2只功率器件为对角关系,另一只功率器件为半桥LLC变流器电流提供续流通道的,LLC变流器的工作频率由半桥LLC变流器允许的最高工作频率逐渐降低到半桥LLC变流器允许的最低工作频率,LLC变流器的输出电压由最低电压逐渐上升到半桥LLC变流器的峰值输出电压;

[0005] LLC变流器以全桥模式工作时,LLC变流器的4只功率器件全部投入工作,LLC变流器的工作频率由全桥LLC变流器允许的最大工作频率逐渐减小到全桥LLC变流器允许的最小工作频率,输出电压由半桥LLC变流器的峰值输出电压逐渐升高到全桥LLC变流器的峰值输出电压;

[0006] 半桥LLC变流器切换到全桥LLC变流器的过程中,在投入第4只功率器件的同时,将LLC变流器中4只功率器件的工作频率全部提升到全桥LLC变流器的最高允许工作频率,以实现由半桥LLC变流器模式到全桥LLC变流器模式的平滑切换。

[0007] 以半桥工作模式的LLC变流器最大频率高于LLC变流器全桥模式下的最大工作频率,取决于LLC变流器的最低输出电压需求;

[0008] 以全桥工作模式的LLC变流器最小工作频率低于LLC变流器半桥模式下的最小工作频率,取决于LLC的最高输出电压需求;

[0009] 以半桥模式工作的LLC变流器最小工作频率和以全桥模式工作的LLC变流器最大工作频率相等,且均为半桥模式下LLC的峰值增益工作频率。

[0010] 有益效果

[0011] 本发明实现了LLC变流器宽电压增益、窄频范围工作的能力,既拓宽了LLC变流器的输出电压范围,又减小了LLC变流器的开关频率范围,即减小了谐振电感和隔离变压器的工作频率范围,利于将谐振电感和隔离变压器频率的进一步提高,降低谐振电感和隔离变压器的体积和重量,提高LLC变流器的功率密度。

附图说明

[0012] 图1 LLC以全桥方式运行的原理图;

[0013] 图2 LLC以半桥方式运行的原理图;

[0014] 图3混合控制LLC的电压增益曲线;

[0015] 图4 LLC由半桥向全桥切换时控制脉冲的原理图;

[0016] 图5 LLC电压增益曲线的设计实例;

[0017] 图6 LLC由半桥向全桥切换过程的仿真波形。

具体实施方式

[0018] 下面结合附图,对本发明作详细说明。本发明提出了一种宽输出范围LLC变流器的控制方法。LLC变流器的拓扑如图1所示, v_{in} 为LLC变流器的输入直流电压源, Q_1-Q_4 为MOSFET, D_1-D_4 为MOSFET的反并联二极管, L_r 为谐振电感, C_r 为谐振电容, T 为隔离变压器, D_1-D_4 为LLC变流器副边整流二极管, C_o 为LLC变流器输出滤波电容, R 为LLC变流器的等效负载电阻,其值随电池的充电状态变化。

[0019] 如图3所示为本发明中LLC混合控制下的电压增益曲线示意图,其中, M_{min} 为本发明控制方式下LLC变流器以半桥方式工作的最小电压增益, M_{mid} 为LLC变流器的半桥模式与全桥模式的切换点增益, M_{max} 为本方法控制方式下LLC变流器的以全桥方式工作的最大电压增益。 $f_{HB,max}$ 为本方法控制方式下LLC变流器以半桥方式工作的最大开关频率, f_{min} 为本方法控制方式下LLC变流器的最小开关频率。

[0020] 当LLC的电压增益需求小于 M_{mid} 时,即输出电压小于 $M_{mid}V_{in}$ 时,LLC变流器以半桥运行,如图4所示,半桥模式下 Q_3 关断, $Q_1、Q_4$ 以50%占空比同相位被触发, Q_2 的触发脉冲与 $Q_1、Q_4$ 的触发脉冲互补。

[0021] 当LLC变流器的输出增益大于 M_{mid} ,即输出电压大于 $M_{mid}V_{in}$ 时,LLC变流器以全桥方式工作,如图4所示,该状态下, $Q_1\sim Q_4$ 的占空比均为50%, Q_1 与 Q_4 同相位, Q_2 与 Q_3 同相位, Q_1 与 Q_2 互补。此时的输出电压增益为半桥LLC的2倍。

[0022] 在 M_{mid} 处,LLC变流器从半桥方式向全桥方式切换,该过程的控制逻辑为:开通 Q_3 的触发脉冲,其占空比为50%,相位与 Q_2 相同,同时将 $Q_2、Q_2$ 的频率切换到 $f_{FB,max}$ 。

[0023] 如图6所示为LLC由半桥运行切换为全桥运行的仿真波形, S_3 为 Q_3 的触发脉冲, $V_{ab}(t)$ 为原边方波电压波形, I_r 为LLC的谐振电流波形, $V_{out}(t)$ 为LLC的输出电压波形。 $V_{ab}(t)$ 的频率为LLC的最低工作频率。半桥方式运行时, S_3 闭合, $V_{ab}(t)$ 和 I_r 的频率最低;以全桥方式运行时, S_3 开通, $V_{ab}(t)$ 和 I_r 的频率最高,由半桥向全桥转换时,输出电压 $V_{out}(t)$ 过渡很平稳。

[0024] 为了更好地说明本发明的执行过程,结合上文的案例和附图对具体操作过程进行

阐述。LLC最先半桥模式运行,起始工作频率为 $f_{HB,max}$,对应图5所示的 $1.05f_r$,谐振频率 $f_r=80\text{kHz}$,此时的等效电路如图2所示,起始工作电压对应于图5中的230V。驱动脉冲如图4所示, Q_1 、 Q_2 和 Q_4 均为占空比为50%、频率相同的控制脉冲, Q_3 的脉冲在半桥模式下始终被禁止, Q_1 和 Q_4 同相位, Q_2 与 Q_4 在相位上互补, Q_3 即始终被置为低电平。

[0025] 当LLC的输出电压增益大于等于如图3所示的 M_{mid} 时,对应于图5中的310V时,LLC以全桥方式运行,等效电路如图1所示,在 M_{mid} 增益点的触发脉冲发生改变,如图4所示,该电压增益点 Q_3 开始工作,同时 Q_1 、 Q_2 和 Q_4 的频率由 f_{min} 提升到 $f_{HB,max}$,对应图5中频率由 $0.49f_r$ 提升到 $1.05f_r$, Q_3 也以 $f_{HB,max}$ 频率开通,进入全桥工作模式。

[0026] 当LLC的输出电压增益大于 M_{mid} 且小于 M_{max} 时,LLC始终以全桥模式工作,在增益由 M_{mid} 上升到 M_{max} 的过程中, $Q_1\sim Q_4$ 的工作频率由 $f_{HB,max}$ 逐渐上升到 f_{min} 。相同容量和磁芯材料情况下,变压器和谐振电感的体积与频率成反比,变压器磁芯大小与频率的关系为:

$$[0027] \quad A_w A_e \propto \frac{S}{B_m f J} \quad (1)$$

[0028] A_w 为磁芯窗口面积, A_e 为磁芯有效面积, S 为变压器容量, B_m 为最大磁通密度, f 为变压器工作频率, J 为导体电流密度。

[0029] 由公式(1)可知,相同磁芯材料和功率容量下,变压器工作频率越高,其体积和重量越小。

[0030] 对一个LLC变流器,输入电压 $V_{in}=400\text{Vdc}$,谐振点输出电压 $V_o=320\text{Vdc}$,励磁电感与谐振电感之比 $k=5$,品质因数 $Q=0.4$,谐振频率 $f_r=80\text{kHz}$,当设计输出电压范围为 $230\text{Vdc}\sim 430\text{Vdc}$ 时。

[0031] 以传统变频方式为例对上述要求进行控制时,LLC的工作频率范围为 $0.49f_r\sim 1.57f_r$,即 $39.2\text{kHz}\sim 125.6\text{kHz}$,其频率变化范围为 86.4kHz 。而以本发明的方法进行控制时,其工作频率范围为 $0.49f_r\sim 1.05f_r$,即 $39.2\text{kHz}\sim 84\text{kHz}$,频率变化范围为 44.8kHz 。

[0032] 根据本发明方法,在相同设计要求和频率变化范围下,即频率变化范围为 86.4kHz 时,本方法将LLC的谐振频率提高到 154.3kHz ,该谐振频率下满足输出电压要求的工作频率范围为 $75.6\text{kHz}\sim 162\text{kHz}$,其最低工作频率相比于传统控制方法下的最低工作频率提高了接近1倍,根据式(1)的说明,理论上,谐振电感、隔离变压器的体积和重量减小约一倍,而工作频率范围没有变化,非常有利于输出电压范围宽、功率密度要求高的应用场合。

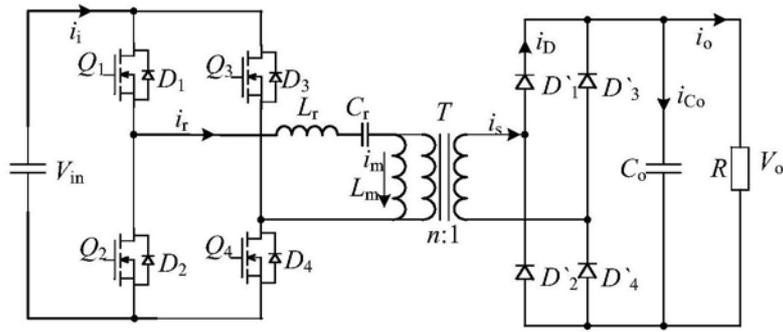


图1

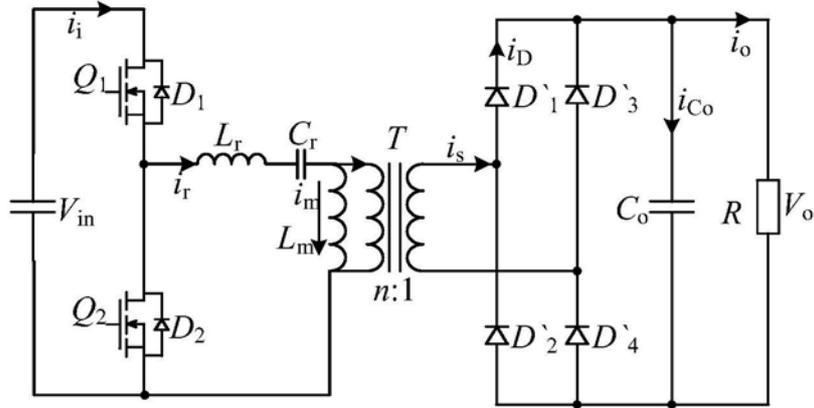


图2

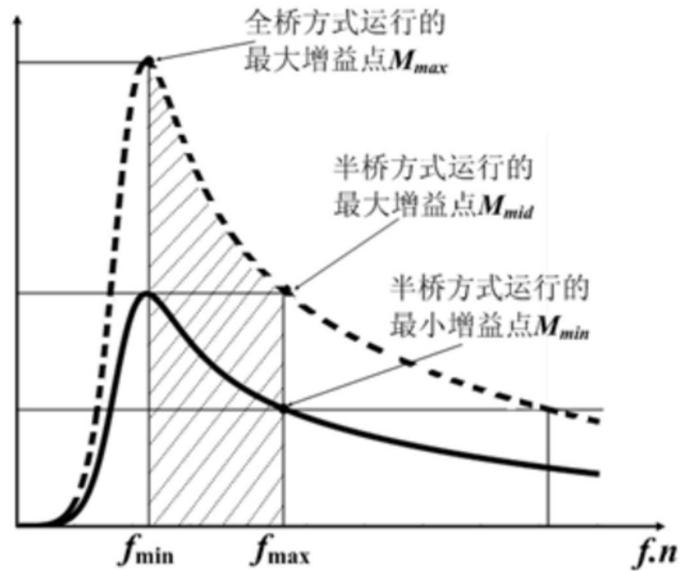


图3

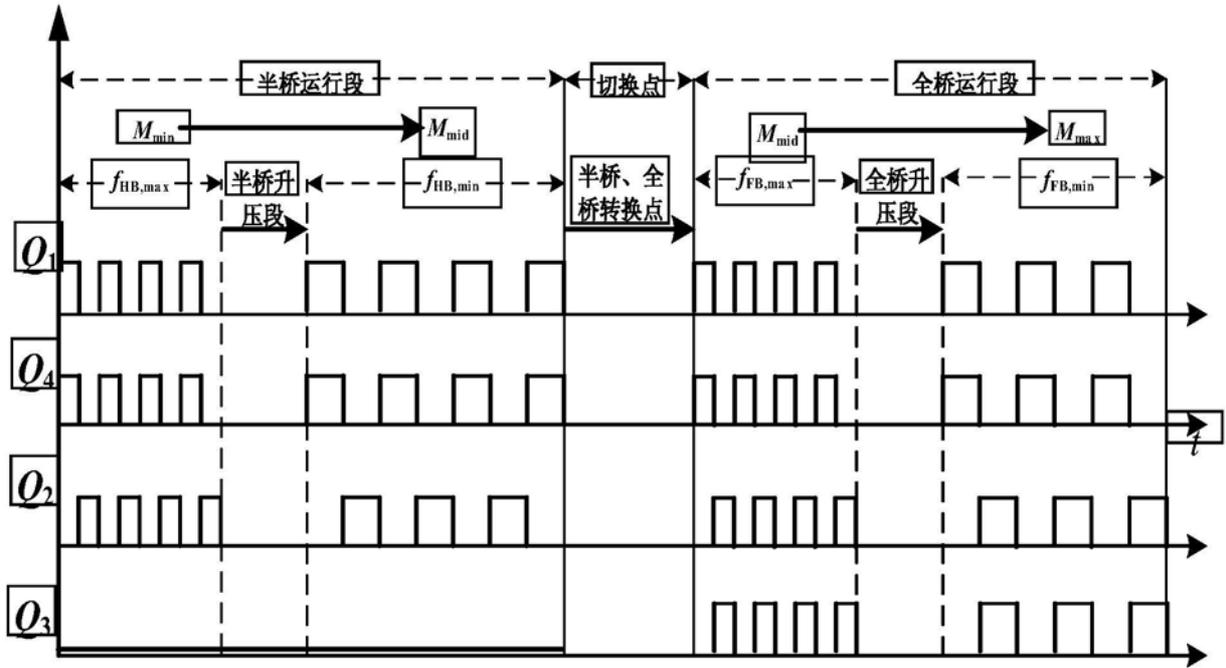


图4

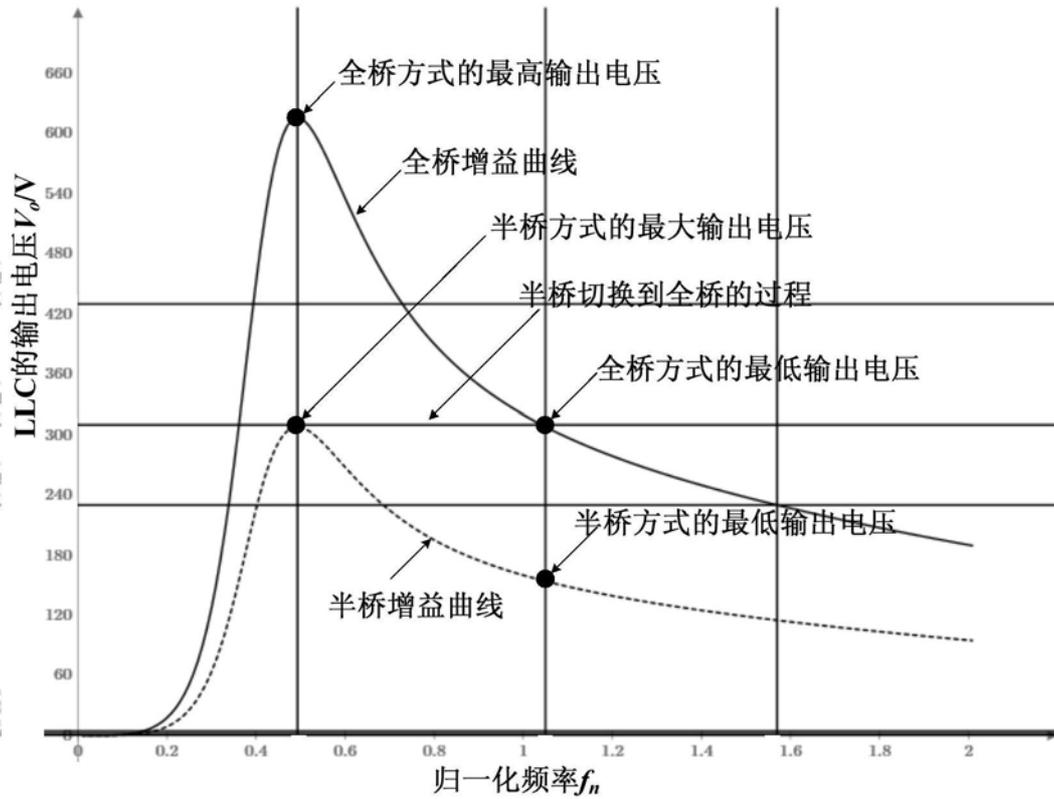


图5

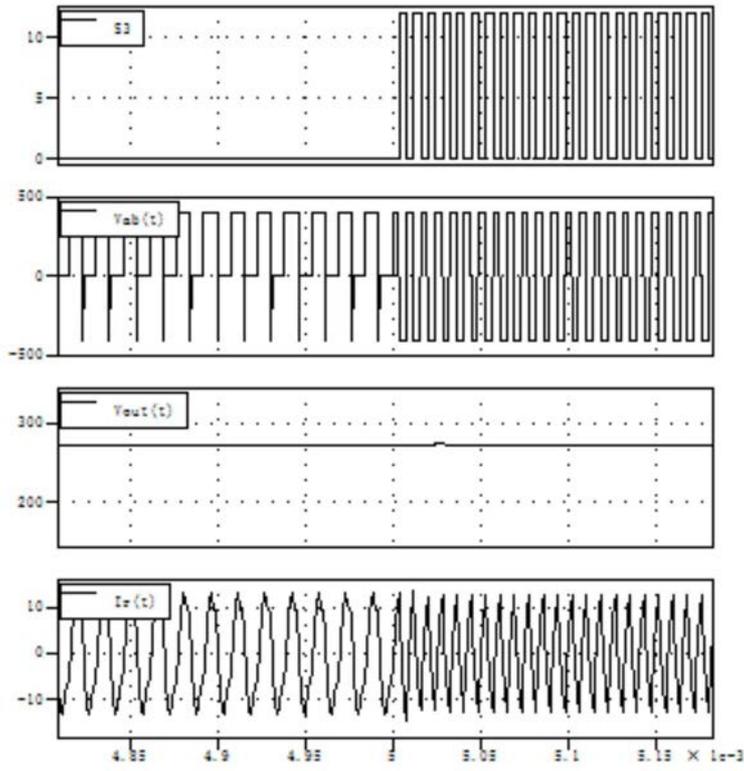


图6