



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103190064 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 03

(21) 申请号 201180052309. X

(22) 申请日 2011. 10. 25

(30) 优先权数据

1018262. 4 2010. 10. 28 GB

61/407, 466 2010. 10. 28 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 04. 27

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2011/068643 2011. 10. 25

(87) PCT申请的公布数据

W02012/055862 EN 2012. 05. 03

(71) 申请人 易达威锐有限公司

地址 挪威德拉曼

(72) 发明人 罗伯托·罗贾斯 尼尔斯·贝克曼

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

代理人 余刚 吴孟秋

(51) Int. Cl.

H02M 3/335(2006. 01)

权利要求书2页 说明书14页 附图10页

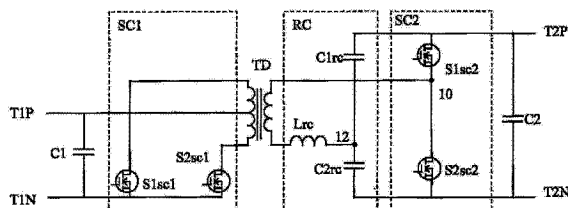
(54) 发明名称

用于控制串联谐振 DC/DC 转换器的方法

与 Tsc2off2 至少部分重叠,其中所述第一和第二开关电路的组全部断开。

(57) 摘要

本发明涉及一种用于控制串联谐振 DC/DC 转换器的方法。所述方法包括下列步骤:定义具有第一半周期 TA 和第二半周期 TB 的开关周期 TP,并在开关周期 TP 之后定义后继开关周期 TP+1。下一步,控制第一开关电路(SC1)的第一组开关(S1sc1;S1sc1、S4sc1)从第一半周期 TA 减去时间间隔 ΔTAE1 的开始 Tstart 开始是闭合的,其中所述时间间隔 ΔTAE1 被设置在第一半周期 TA 的末尾,并控制第一开关电路(SC1)的第二组开关(S2sc1;S2sc1、S3sc1)在从第二半周期 TB 减去时间间隔 ΔTBE1 的开始 Tcenter 开始是闭合的,其中所述时间间隔 ΔTBE1 被设置在第二半周期 TB 的末尾。控制第二开关电路(SC2)的第一组开关(S1sc2;S1sc2、S4sc2)在第一半周期 TA 减去时间间隔 ΔTAS1 并减去时间间隔 ΔTAE2 的周期内是闭合的,其中所述时间间隔 ΔTAS1 被设置在第一半周期 TA 的开始,且其中时间间隔 ΔTAE2 被设置在第一半周期 TA 的末尾,并控制第二开关电路(SC2)的第二组开关(S2sc2;S2sc2、S3sc2)在第二半周期 TB 减去时间间隔 ΔTBS1 并减去时间间隔 ΔTBE2 的周期内是闭合的,其中时间间隔 ΔTBS1 被设置在第二半周期 TB 的开始,且其中时间间隔 ΔTBE2 被设置在第二半周期 TB 的末尾。时间间隔 Tsc1off1 与 Tsc2off1、时间间隔 Tsc1off2



CN 103190064 A

1. 一种用于控制串联谐振 DC/DC 转换器的方法,包括下列步骤:

为所述串联谐振 DC/DC 转换器定义从时间 T_{start} 到时间 T_{end} 的开关周期 TP ;其中,所述开关周期 TP 包括从时间 T_{start} 到时间 T_{center} 的第一半周期 TA 和从时间 T_{center} 到时间 T_{end} 的第二半周期 TB ,并在所述开关周期 TP 之后定义后继开关周期 $TP+1$;

控制第一开关电路(SC1)的第一组开关($S1sc1$; $S1sc1$ 、 $S4sc1$)从所述第一半周期 TA 减去时间间隔 $\Delta TAE1$ 的开始 T_{start} 开始是闭合的,其中,所述时间间隔 $\Delta TAE1$ 被设置在所述第一半周期 TA 的末尾;

控制所述第一开关电路(SC1)的第二组开关($S2sc1$; $S2sc1$ 、 $S3sc1$)从所述第二半周期 TB 减去时间间隔 $\Delta TBE1$ 的开始 T_{center} 开始是闭合的,其中,所述时间间隔 $\Delta TBE1$ 被设置在所述第二半周期 TB 的末尾;

控制所述第一开关电路(SC1)的所述第一组开关($S1sc1$; $S1sc1$ 、 $S4sc1$)和所述第二组开关($S2sc1$; $S2sc1$ 、 $S3sc1$)在所述时间间隔 $\Delta TAE1$ 和所述时间间隔 $\Delta TBE1$ 内是断开的;

控制第二开关电路(SC2)的第一组开关($S1sc2$; $S1sc2$ 、 $S4sc2$)在所述第一半周期 TA 减去时间间隔 $\Delta TAS1$ 并减去时间间隔 $\Delta TAE2$ 的周期内是闭合的,其中,所述时间间隔 $\Delta TAS1$ 被设置在所述第一半周期 TA 的开始,且其中,所述时间间隔 $\Delta TAE2$ 被设置在所述第一半周期 TA 的末尾;

控制所述第二开关电路(SC2)的第二组开关($S2sc2$; $S2sc2$ 、 $S3sc2$)在所述第二半周期 TB 减去时间间隔 $\Delta TBS1$ 并减去时间间隔 $\Delta TBE2$ 的周期内是闭合的,其中,所述时间间隔 $\Delta TBS1$ 被设置在所述第二半周期 TB 的开始,且其中,所述时间间隔 $\Delta TBE2$ 被设置在所述第二半周期 TB 的末尾;

控制所述第二开关电路(SC2)的所述第一组开关($S1sc2$; $S1sc2$ 、 $S4sc2$)和所述第二组($S2sc2$; $S2sc2$ 、 $S3sc2$)在所述时间间隔 $\Delta TAS1$ 、 $\Delta TAE2$ 、 $\Delta TBS1$ 和 $\Delta TBE2$ 内是断开的;

其中,所述时间间隔 $\Delta TAE1$ 形成第一时间间隔 $Tsc1off1$,其中所述第一开关电路(SC1)的所述第一组开关和所述第二组开关是断开的,且其中,所述时间间隔 ΔTBE 形成第二时间间隔 $Tsc1off2$,其中所述第一开关电路(SC1)的所述第一组开关和所述第二组开关都是断开的;

其中,所述时间间隔 $\Delta TAE2$ 和 $\Delta TBS1$ 形成连续时间间隔 $Tsc2off1$,其中所述第二开关电路(SC2)的所述第一组开关和所述第二组开关是断开的;并且其中,所述时间间隔 $\Delta TBE2$ 和所述后继开关周期 $TP+1$ 的时间间隔 $\Delta TAS1(TP+1)$ 形成连续时间间隔 $Tsc2off2$,其中所述第二开关电路(SC2)的所述第一组开关和所述第二组开关是断开的;

其中,所述时间间隔 $Tsc1off1$ 和所述时间间隔 $Tsc2off1$ 重叠,并且其中,所述时间间隔 $Tsc1off2$ 和所述时间间隔 $Tsc2off2$ 重叠。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述方法包括控制所述间隔 $Tsc1off1$ 的中心接近或等于所述时间间隔 $Tsc2off1$ 的中心,以及控制所述间隔 $Tsc1off2$ 的中心接近或等于所述时间间隔 $Tsc2off2$ 的中心。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中,所述方法包括通过改变所述开关周期 TP 的长度来控制所述串联谐振 DC/DC 转换器的第一 DC 端子($T1P$, $T1N$)之间的电压与所述串联谐振 DC/DC 转换器的第二 DC 端子($T2P$, $T2N$)之间的电压之间的关系。

4. 根据权利要求 1 到 3 中的任意一项所述的方法,其中,所述方法包括通过改变所述开

关周期 TP 来控制通过所述串联谐振 DC/DC 转换器的电力流的方向。

5. 根据权利要求 1 到 4 中的任意一项所述的方法,其中,所述方法包括通过控制所述第一开关电路和所述第二开关电路具有接近于所述串联谐振频率的固定开关频率,来控制所述第一开关电路和所述第二开关电路(SC1, SC2)的开关在开关闭合时提供零电压开关(ZVS)并在开关断开时提供近似的零电流开关(ZCS)。

6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中,通过在操作点以所述串联谐振频率或接近所述串联谐振频率的频率对所述第一 DC 端子上的在额定操作范围内的所有电压进行开关,来控制所述第一开关电路和所述第二开关电路(SC1, SC2)的开关。

7. 根据权利要求 5 所述的方法,其中,通过在操作点以所述串联谐振频率或接近所述串联谐振频率的频率对所述第二 DC 端子处的所有负载状况进行开关,来控制所述第一开关电路和所述第二开关电路(SC1, SC2)的开关。

8. 一种串联谐振 DC/DC 转换器,包括:

第一 DC 端子(T1P, T1N);

第二 DC 端子(T2P, T2N);

电感器装置(ID ;TD);

第一开关电路(SC1),连接在所述第一 DC 端子(T1P、T1N)与所述电感器装置(ID ;TD)之间,其中,所述第一开关电路(SC1)包括第一组开关(S1sc1 ;S1sc1、S4sc1)和第二组开关(S2sc1 ;S2sc1、S3sc1);

第二开关电路(SC2)和谐振电路(RC),连接在所述第二 DC 端子(T2P, T2N)与所述电感器装置(ID ;TD)之间,其中,所述第二开关电路(SC2)包括第一组开关(S1sc2 ;S1sc2、S4sc2)和第二组开关(S2sc2 ;S2sc2、S3sc2);

控制电路,用于根据权利要求 1 到 7 中的任意一项的所述方法控制所述第一开关电路和所述第二开关电路(SC1, SC2)的开关组。

用于控制串联谐振 DC/DC 转换器的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及用于控制串联谐振 DC/DC 转换器的方法和根据该方法所控制的串联谐振 DC/DC 转换器。

背景技术

[0002] 图 1 示出了典型的不间断电力供应(UPS)系统。UPS 系统包括用于从 AC 或 DC 电源转换电力的输入转换器。一般的 UPS 具有将商用 AC 干线(mains)或可再生能源 AC 或 DC 源转换成 DC 电压的输入功率级。之后 DC 电压借助转换器转换成受控的 AC 或 DC 电压,从而形成对诸如计算机、冰箱等这样需要不间断供电的电力负载的电力供应。一般,在输入转换器和输出转换器之间设置稳定的 DC 总线。DC 总线理想地适配连接至 DC 电池。如果电池电压不同于 DC 总线上的 DC 电压,则需要双向 DC/DC 转换器。

[0003] 通过使用电池经由 DC/DC 转换器对 DC 总线供应 DC 电力,一般的 AC-UPS 可以应对 AC 干线的电力故障,所以提供给 AC 负载的电力不会中断。当 AC 干线再次可用时,AC 主线的电力可用于对电池充电和为负载供应能源。

[0004] 在许多 UPS 系统中,一个 DC/DC 转换器被用于从电池向 DC 总线供应电力,一个单独的转换器被用于对电池充电。该电池充电转换器可以是被供应以 AC 干线电力的 AC/DC 转换器,或被供应以 DC 总线电力的单独的 DC/DC 转换器。

[0005] 在某些应用中,输入还可以是 DC 源,比如诸如太阳能电池这样的可再生电能。

[0006] 为提高效率,许多文献中提出了用于单向和双向 DC/DC 转换器的电路,比如 Krismer, Round, Kolar 于 2006 年在 Power Electronics Specialists Conference 上发表的“Performance optimization of a High Current Dual Active Bridge with Wide operating Voltage Range”, Kim, Han, Park, Moon 在 Journal of Power Electronics 的 2006 年 6 月的第 6 卷第 3 期中发表的“A new HE ZVZCS Bidirectional DC/DC converter for HEV42V Power Systems”, Ray 于 1992 年在 Power Electronics Specialists Conference 上发表的“Bidirectional DC/DC Power Conversion using Quasi-Resonant Topology”, Jalbrzykowski, Citko 在 Bulletin of the Polish Academy of Technical Sciences 的 2009 年的第 57 卷第 4 期中发表的“Bidirectional DC/DC converter for renewable energy systems”。所有这些电路都以固定频率工作并由移相栅极脉冲或占空比调制所控制。所有这些电路的操作范围都有的缺点是高效率操作的有限工作范围,比如有限负载范围的主开关的零电压开关(ZVS)。

[0007] 本发明的目标是提供一种以更高的效率控制串联谐振 DC/DC 转换器的方法。本发明的另一个目标是提供控制串联谐振 DC/DC 转换器的方法以实现双向 DC/DC 转换器。因此,串联谐振 DC/DC 转换器可以用于在电力故障期间从电池向 DC 总线提供电力,以及用于在电力故障之后从 DC 总线提供电力为电池充电。这样可以减小部件数量,节约成本 / 空间。

发明内容

- [0008] 本发明涉及一种用于控制串联谐振 DC/DC 转换器的方法,包括下列步骤:
- [0009] 为串联谐振 DC/DC 转换器定义从时间 T_{start} 到时间 T_{end} 的开关周期 TP ;其中开关周期 TP 包括从 T_{start} 到 T_{center} 的第一半周期 TA 和从 T_{center} 到 T_{end} 的第二半周期 TB ,并在开关周期 TP 之后定义后继的开关周期 $TP+1$;
- [0010] 控制第一开关电路的第一组开关从第一半周期 TA 减去时间间隔 $\Delta TAE1$ 的开始 T_{start} 开始是闭合的(ON),其中时间间隔 $\Delta TAE1$ 被设置在第一半周期 TA 的末尾;
- [0011] 控制第一开关电路的第二组开关从第二半周期 TB 减去时间间隔 $\Delta TBE1$ 的开始 T_{center} 开始是闭合的,其中时间间隔 $\Delta TBE1$ 被设置在第二半周期 TB 的末尾;
- [0012] 控制第一开关电路的第一组和第二组开关在时间间隔 $\Delta TAE1$ 和 $\Delta TBE1$ 内是断开的(OFF);
- [0013] 控制第二开关电路的第一组开关在第一半周期 TA 减去时间间隔 $\Delta TAS1$ 并减去时间间隔 $\Delta TAE2$ 的周期内是闭合的,其中时间间隔 $\Delta TAS1$ 被设置在第一半周期 TA 的开始,其中时间间隔 $\Delta TAE2$ 被设置在第一半周期 TA 的末尾;
- [0014] 控制第二开关电路的第二组开关在第二半周期 TB 减去时间间隔 $\Delta TBS1$ 并减去时间间隔 $\Delta TBE2$ 内是闭合的,其中时间间隔 $\Delta TBS1$ 被设置在第二半周期 TB 的开始,其中时间间隔 $\Delta TBE2$ 被设置在第二半周期 TB 的末尾;
- [0015] 控制第二开关电路的第一组和第二组开关在时间间隔 $\Delta TAS1$ 、 $\Delta TAE2$ 、 $\Delta TBS1$ 和 $\Delta TBE2$ 内是断开的;
- [0016] 其中时间间隔 $\Delta TAE1$ 形成第一时间间隔 $T_{sc1off1}$,其中第一开关电路的第一和第二组开关是断开的,其中,时间间隔 $\Delta TBE1$ 形成第二时间间隔 $T_{sc1off2}$,其中,第一开关电路的第一和第二组开关是断开的;
- [0017] 其中时间间隔 $\Delta TAE2$ 和 $\Delta TBS1$ 形成连续时间间隔 $T_{sc2off1}$,其中第二开关电路的第一和第二组开关是断开的;其中时间间隔 $\Delta TBE2$ 与后继的开关周期 $TP+1$ 的时间间隔 $\Delta TAS1 (TP+1)$ 形成连续时间间隔 $T_{sc2off2}$,其中第二开关电路的第一和第二组开关是断开的;
- [0018] 其中时间间隔 $T_{sc1off1}$ 和时间间隔 $T_{sc2off1}$ 重叠,其中时间间隔 $T_{sc1off2}$ 和时间间隔 $T_{sc2off2}$ 重叠。
- [0019] 一方面,方法包括控制间隔 $T_{sc1off1}$ 的中心接近或等于时间间隔 $T_{sc2off1}$ 的中心和间隔 $T_{sc1off2}$ 的中心接近或等于时间间隔 $T_{sc2off2}$ 的中心。
- [0020] 一方面,方法包括通过变化开关周期 TP 的长度来控制串联谐振 DC/DC 转换器的第一 DC 端子间的电压与串联谐振 DC/DC 转换器第二 DC 端子间的电压之间的关系。
- [0021] 一个方面,方法包括通过改变开关周期 TP 来控制流经串联谐振 DC/DC 转换器的电力的方向。
- [0022] 一个方面,方法包括通过控制第一和第二开关电路具有接近串联谐振频率的固定开关频率,控制第一和第二开关电路的开关以在开关闭合时提供零电压开关和在开关断开时提供近似零电流开关。
- [0023] 一个方面,通过在操作点以串联谐振频率或接近串联谐振频率的频率为第一 DC 端子在额定操作范围内的所有电压进行开关,可以控制第一和第二开关电路的开关。
- [0024] 一个方面,通过在操作点在串联谐振频率处或附近对第二 DC 端子处的所有负载

状况进行开关,可以控制第一和第二开关电路的开关。

[0025] 本发明还涉及串联谐振 DC/DC 转换器,包括:

[0026] 第一 DC 端子;

[0027] 第二 DC 端子;

[0028] 电感器装置;

[0029] 第一开关电路,连接在第一 DC 端子和电感器装置之间,其中第一开关电路包括第一组开关和第二组开关;

[0030] 第二开关电路和谐振电路,连接在第二 DC 端子和电感器装置之间,其中第二开关电路包括第一组开关和第二组开关;

[0031] 控制电路,用于根据上述方法之一控制第一和第二开关电路中的开关组。

附图说明

[0032] 下面将参考附图详细说明本发明的实施方式,其中;

[0033] 图 1 示出了双向 DC/DC 转换器的典型应用;

[0034] 图 2 示出了 DC/DC 转换器的第一实施方式;

[0035] 图 3 示出了 DC/DC 转换器的第二实施方式;

[0036] 图 4 示出了 DC/DC 转换器的第三实施方式;

[0037] 图 5 示出了 DC/DC 转换器的第四实施方式;

[0038] 图 6 示出了 DC/DC 转换器的第五实施方式;

[0039] 图 7 示出了 DC/DC 转换器的第五实施方式;该实施方式不具有变压器装置;

[0040] 图 8 示出了满载时第二实施方式的电压和电流波形;

[0041] 图 9 示出了图 9 的具体细节;

[0042] 图 10 示出了空载时第二实施方式的电压和电流波形;

[0043] 图 11 示出了图 10 的具体细节;

[0044] 图 12 示出了不同开关频率和不同负载的输出电压 V_{out} 的变化;

[0045] 图 13 示出了作为图 3 中实施方式输出功率的函数的效率曲线。

具体实施方式

[0046] 现在参考图 2-7,示出了串联谐振 DC/DC 转换器的实施方式。应当注意,术语“串联谐振 DC/DC 转换器系列”指的是不同类型串联 LLCDC/DC 转换器和不同类型的串联谐振 LLCDC/DC 转换器。所述串联谐振 DC/DC 转换器可以是双向 DC/DC 转换器。

[0047] DC/DC 转换器包括第一 DC 端子 T1P、T1N 和第二 DC 端子 T2P、T2N。所述第一 DC 端子包括第一正 DC 端子 T1P 和第一负 DC 端子 T1N。所述第二 DC 端子包括第二正 DC 端子 T2P 和第二负 DC 端子 T2N。

[0048] DC/DC 转换器进一步包括电感器装置,该电感器装置或者是单电感器装置 ID 形式的(如图 7 的实施方式所示)或者是变压器装置 TD 形式的(如图 2-6 的实施方式所示)。

[0049] 单电感器装置 ID 可以包括单个电感器 L_m ,或可以包括多个电感器,但不提供电流隔离。

[0050] 变压器装置 TD 可以包括第一绕组和第二绕组。变压器装置在第一 DC 端子和第二

DC 端子之间提供流电隔离。所述变压器还包括磁化电感,其与谐振电容器一起形成并联谐振电路。

[0051] 本实施方式中,变压器装置的变压比是 1:1;然而其他变压比也是可行的并可被设计为满足输入输出电压和电流比的需求。

[0052] 第一开关(切换)电路 SC1(如虚线框所示)连接在第一 DC 端子 T1P、T1N 与电感器装置(单电感器装置 ID 或变压器装置 TD)之间。第一开关电路 SC1 包括第一组开关和第二组开关。第一组合第二组开关各自包括一个、两个或多个开关。

[0053] 第一开关电路 SC1 被配置为被以三种不同开关状态控制。通过命令第一组开关闭合,第一状态允许电流从第一正 DC 端子 T1P 流经电感器装置到负 DC 端子 T1N。通过命令第二组开关闭合,第二状态允许电流从第一负 DC 端子 T1N 流经电感器装置到正 DC 端子 T1P。第三开关状态的特征在于命令两组开关均断开。

[0054] 第二开关电路 SC2(如虚线框所示)和谐振电路 RC(如虚线框所示)连接在第二 DC 端子 T2P、T2N 和电感器装置(单电感器装置 ID 或变压器装置 TD)之间。第二开关电路 SC2 包括第一组开关和第二组开关。第一组合第二组开关可各自包括一个、两个或多个开关。可以看出,第二开关电路 SC2 和谐振电路 RC 与电感器装置(单电感器装置 ID 或变压器装置 TD)串联连接在第二 DC 端子 T2P、T2N 之间。谐振电路 RC 与电感器装置的串联组合连接第二开关电路 SC2。第二开关电路 SC2 被设置为被以三种不同开关状态控制。通过命令第一组开关闭合,第一状态允许谐振电流从第二正 DC 端子 T2P 流经谐振电路 RC 和电感器装置的串联组合到第二负 DC 端子 T2N。通过命令第二组开关闭合,第二状态允许谐振电流从第二负 DC 端子 T2N 流经谐振电路 RC 与电感器装置的串联组合到第二正 DC 端子 T2P。第三开关状态的特征在于命令两组开关断开。

[0055] 第一开关电路 SC1 可以是推挽电路或诸如全桥式电路或半桥式电路这样的桥接电路。

[0056] 第二开关电路 SC2 也可以是诸如全桥式电路或半桥式电路这样的桥接电路。

[0057] 谐振电路 RC 经常称作谐振槽,并包括与单电感器装置 ID 或变压器装置 T 的第二绕组这样的电感器装置合适配置的至少一个电容器或至少一个电感器,其中,该至少一个电容器和 / 或至少一个电感器的电感与单电感器装置 ID 或变压器装置 T 的第二绕组的电感共同定义谐振频率,以使 DC/DC 转换器在 SC1 和 SC2 的所有有源开关上都执行(exhibit)零电压闭合开关。

[0058] 谐振电路 RC 还可以是包括 LC 网络中的多个电容器和电感器的多元件谐振电路。因此,转换器可以被认为串联谐振 LLCDC/DC 转换器。

[0059] 另外,DC/DC 转换器包括控制电路,该控制电路判断电力流的期望方向并控制在第一和第二 DC 端子处的电流方向,从而使得转换器向连接至第一 DC 端子的负载或连接至第二 DC 端子的负载提供能源。

[0060] 下面说明了多个实施方式。在所有这些实施方式中,开关都是 MOSFET 开关。可选地,开关可以是具有本征二极管的开关或与反并联二极管并联连接的开关,例如具有反并联二极管的 IGBT。

[0061] 第一实施方式

[0062] 现在参考图 2。这里,第一开关电路 SC1 是包括第一开关 S1sc1 和第二开关 S2sc2

的半桥式电路。第一开关电路 SC1 的第一组开关包括第一开关 S1sc1, 第一开关电路 SC1 的第二组开关包括第二开关 S2sc1。

[0063] 第一开关 S1sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 和第一绕组的第一端子之间。开关的源极连接第一负 DC 端子 T1N。

[0064] 第二开关 S2sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 和第一绕组的第二端子之间。开关的源极连接第一负 DC 端子 T1N。

[0065] 变压器装置 T 的第一绕组包括连接至第一正 DC 端子 T1P 的第三端子。第二绕组的第三端子被设置在第二绕组的第一端子和第二端子之间。因此, 第一和第二端子之间的匝数与第二和第三端子之间的匝数等于第二绕组的总匝数。在本实施方式中, 第一和第三端子之间匝数与第二和第三端子之间的匝数彼此相等。

[0066] 第一电容器 C1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和第一负 DC 端子 T1N 之间。

[0067] 第二开关电路 SC2 是包括第一开关 S1sc2 和第二开关 S2sc2 的半桥式电路。这里的第二开关电路 SC2 的第一组开关包括第一开关 S1sc2, 第二开关电路 SC2 的第二组开关包括第二开关 S2sc2。

[0068] 第一开关 S1sc2 连接在第一节点 10 和第二正 DC 端子 T2P 之间。第二开关 S2sc2 连接在第二负 DC 端子 T2N 和第二节点 10 之间。第一开关 S1sc2 的源极连接至第二负 DC 端子 T2N 和第二开关 S2sc2 的源极连接至第一节点 10。第一节点 10 还连接至变压器装置 T 的第二绕组的第一端子。

[0069] 谐振电路 RC 包括谐振电感器 Lrc、第一谐振电容器 Clrc 和第二谐振电容器 C2rc。谐振电感器 Lrc 连接在变压器 T 的第二绕组的第二端子与第二节点 12 之间。第一谐振电容器 Clrc 连接在第二节点 12 和第二正 DC 端子 T2P 之间。第二谐振电容器 C2rc 连接在第二节点 12 和第二负 DC 端子 T2N 之间。

[0070] 第二实施方式

[0071] 现在参考图 3。

[0072] 第一开关电路 SC1 是包括第一开关 S1sc1、第二开关 S2sc1、第三开关 S3sc1 和第四开关 S4sc1 的全桥式电路。

[0073] 这里第一开关电路 SC1 的第一组开关包括第一开关 S1sc1 和第四开关 S4sc1。第一开关电路 SC1 的第二组开关包括第二开关 S2sc1 和第三开关 S3sc1。

[0074] 第一开关 S1sc1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和第一节点 20 之间。开关的源极连接第一节点 20。

[0075] 第二开关 S2sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 和第一节点 20 之间。开关的源极连接至第一负 DC 端子 T1N。

[0076] 第三开关 S3sc1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和第二节点 22 之间。开关的源极连接第二节点 22。

[0077] 第四开关 S4sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 和第二节点 22 之间。开关的源极连接至第一负 DC 端子 T1N。

[0078] 第一节点 20 连接至变压器装置 T 的第一绕组的第一端子。第二节点 22 连接至变压器装置 T 第一绕组的第二端子。

[0079] 第一电容器 C1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和第一负 DC 端子 T1N 之间。

[0080] 这里第二开关电路 SC2 是包括第一开关 S1sc2 和第二开关 S2sc2 的半桥式电路。

[0081] 这里的第二开关电路 SC2 的第一组开关包括第一开关 S1sc2, 第二开关电路 SC2 的第二组开关包括第二开关 S2sc2。第一开关 S1sc2 连接在第一节点 10 和第二正 DC 端子 T2P 之间。第二开关 S2sc2 连接在第二负 DC 端子 T2N 和第二节点 10 之间。第一开关 S1sc2 的源极连接至节点 10, 第二开关 S2sc2 的源极连接至第二负 DC 端子 T2N。第一节点 10 还连接至变压器装置 T 的第二绕组的第一端子。

[0082] 谐振电路 RC 包括谐振电感 Lrc、第一谐振电容器 C1rc 和第二谐振电容器 C2rc。谐振电感器 Lrc 连接在变压器 T 的第二绕组的第二端子与第二节点 12 之间。第一谐振电容器 C1rc 连接在第二节点 12 和第二正 DC 端子 T2P 之间。第二谐振电容器 C2rc 连接在第二节点 12 与第二负 DC 端子 T2N 之间。

[0083] 第二电容器 C2 连接在第二正 DC 端子 T2P 和第二负 DC 端子 T2N 之间。

[0084] 在图 3 中, 变压器装置 TD 的第一绕组被标记为 T_p , 变压器装置 TD 的第二绕组被标记为 T_s 。通过第一绕组的电流被标记为 I_p , 通过第二绕组的电流被标记为 I_s 。

[0085] 如图 3 所示, 具有输入电压 V_{in} 的电压源连接在第一负 DC 端子和第一正 DC 端子 T1P、T1N 之间。负载 Rload 连接在第二负 DC 端子和第二正 DC 端子 T2P、T2N 之间。

[0086] 第三实施方式

[0087] 现在参考图 4。

[0088] 第一开关电路 SC1 是包括第一开关 S1sc1、第二开关 S2sc1、第三开关 S3sc1 和第四开关 S4sc1 的全桥式电路。

[0089] 这里第一开关电路 SC1 的第一组开关包括第一开关 S1sc1 和第四开关 S4sc1。第一开关电路 SC1 的第二组开关包括第二开关 S2sc1 和第三开关 S3sc1。第一开关 S1sc1 连接在第一正 DC 端子 T1P 与第一节点 20 之间。开关的源极连接第一节点 20。

[0090] 第二开关 S2sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 和第一节点 20 之间。开关的源极连接第一负 DC 端子 T1N。

[0091] 第三开关 S3sc1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和第二节点 22 之间。开关的源极连接至第二节点 22。

[0092] 第四开关 S4sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 和第二节点 22 之间。开关的源极连接至第一负 DC 端子 T1N。

[0093] 第一节点 20 连接至变压器装置 T 的第一绕组的第一端子。第二节点 22 连接至变压器装置 T 的第一绕组的第二端子。

[0094] 第一电容器 C1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和第一负 DC 端子 T1N 之间。

[0095] 第二开关电路 SC2 是包括第一开关 S1sc2、第二开关 S2sc2、第三开关 S3sc2 和第四开关 S4sc2 的全桥式电路。

[0096] 这里, 第二开关电路 SC2 的第一组开关包括第一开关 S1sc2 和第四开关 S4sc2。第二开关电路 SC2 的第二组开关包括第二开关 S2sc2 和第三开关 S3sc2。

[0097] 第一开关 S1sc2 连接在第二正 DC 端子 T2P 与第一节点 10 之间。第一开关 S1sc2 的源极连接至第一节点 10。

[0098] 第二开关 S2sc2 连接在第二负 DC 端子 T1N 和第一节点 10 之间。开关的源极连接至第二负 DC 端子 T2N。

[0099] 第三开关 S3sc2 连接在第二正 DC 端子 T2P 和第二节点 12 之间。开关的源极连接第二节点 12。

[0100] 第四开关 S4sc2 连接在第二负 DC 端子 T2N 与第二节点 12 之间。开关的源极连接第二负 DC 端子 T2N。

[0101] 第二开关电路 SC2 的第二节点 12 还连接至变压器装置 T 第二绕组的第一端子。

[0102] 谐振电路 RC 包括在变压器 T 第二绕组第二端子与第一节点 10 之间串联的谐振电感器 Lrc 和谐振电容器 Crc。

[0103] 第二电容器 C2 连接在第二正 DC 端子 T2P 和第二负 DC 端子 T2N 之间。

[0104] 第四实施方式

[0105] 现在参考图 5。

[0106] 这里,第一开关电路 SC1 是包括第一开关 S1sc1 和第二开关 S2sc2 的半桥式电路。这里的第一开关电路 SC1 的第一组开关包括第一开关 S1sc1,第一开关电路 SC1 的第二组开关包括第二开关 S2sc1。第一开关 S1sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 与第一绕组的第一端子之间。开关的源极连接第一负 DC 端子 T1N。

[0107] 第二开关 S2sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 与第一绕组的第二端子之间。开关的源极连接至第一负 DC 端子 T1N。

[0108] 变压器装置 T 的第一绕组包括连接第一正 DC 端子 T1P 的第三端子。第二绕组的第三端子被设置在第二绕组的第一端子和第二端子之间。因此,第一和第二端子之间的匝数和第二和第三端子之间的匝数等于第二绕组的总匝数。在本实施方式中,第一和第三端子之间的匝数和第二和第三端子之间的匝数彼此相等。

[0109] 第一电容器 C1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和第一负 DC 端子 T1N 之间。

[0110] 第二开关电路 SC2 是包括第一开关 S1sc2、第二开关 S2sc2、第三开关 S3sc2 和第四开关 S4sc2 的全桥式电路。

[0111] 这里第二开关电路 SC2 的第一组开关包括第一开关 S1sc2 和第四开关 S4sc2。第一开关电路 SC2 的第二组开关包括第二开关 S2sc2 和第三开关 S3sc2。

[0112] 第一开关 S1sc2 连接在第二正 DC 端子 T2P 和第一节点 10 之间。第一开关 S1sc2 的源极连接第一节点 10。

[0113] 第二开关 S2sc2 连接在第二负 DC 端子 T1N 和第一节点 10 之间。开关的源极连接至第二负 DC 端子 T2N。

[0114] 第三开关 S3sc2 连接在第二正 DC 端子 T2P 和第二节点 12 之间。开关的源极连接至第二节点 12。

[0115] 第四开关 S4sc2 连接在第二负 DC 端子 T2N 和第二节点 12 之间。开关的源极连接至第二负 DC 端子 T2N。

[0116] 第二开关电路 SC2 的第二节点 12 还连接至变压器装置 T 的第二绕组的第一端子。

[0117] 谐振电路 RC 包括在变压器 T 第二绕组的第二端子与第一节点 10 之间串联的谐振电感器 Lrc 和谐振电容器 Crc。

[0118] 第二电容器 C2 连接在第二正 DC 端子 T2P 和第二负 DC 端子 T2N 之间。

[0119] 第五实施方式

[0120] 现在参考图 6。

[0121] 这里,第一开关电路 SC1 是包括第一开关 S1sc1 和第二开关 S2sc1 的倍压器电路。这里的第一开关电路 SC1 的第一组开关包括第一开关 S1sc1,第一开关电路 SC1 的第二组开关包括第二开关 S2sc1。

[0122] 第一开关 S1sc1 连接在第一正 DC 端子 T1P 与变压器装置 TD 第一绕组的第一端子之间。开关的源极连接变压器装置 TD 第一绕组的第一端子。

[0123] 第二开关 S2sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 与变压器装置 TD 第一绕组的第二端子之间。开关的源极连接至变压器装置 TD 第一绕组的第二端子。

[0124] 第一电容器 C1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和节点 20 之间。第二电容器 C2 连接在节点 20 和第一负 DC 端子 T1N 之间。节点 20 连接至变压器装置 TD 第一绕组的第三端子。

[0125] 第二绕组的第三端子被设置在第二绕组的第一端子和第二端子之间。因此,第一和第三端子之间的匝数与第二和第三端子之间的匝数等于第二绕组总匝数。在本实施方式中,第一和第三端子之间的匝数与第二和第三端子之间的匝数彼此相等。

[0126] 这里,第二开关电路 SC2 是包括第一开关 S1sc2 和第二开关 S2sc2 的半桥式电路。

[0127] 这里的第二开关电路 SC2 的第一组开关包括第一开关 S1sc2,第二开关电路 SC2 的第二组开关包括第二开关 S2sc2。

[0128] 第一开关 S1sc2 连接在第一节点 10 与第二正 DC 端子 T2P 之间。第二开关 S2sc2 连接在第二负 DC 端子 T2N 和第二节点 10 之间。

[0129] 第一开关 S1sc2 的源极连接至节点 10。第二开关 S2sc2 的源极连接至第二负 DC 端子 T2N。第一节点 10 还连接至变压器装置 T 第二绕组的第一端子。

[0130] 谐振电路 RC 包括谐振电感器 Lrc、第一谐振电容器 C1rc 和第二谐振电容器 C2rc。谐振电感器 Lrc 连接在变压器 T 的第二绕组的第二端子与第二节点 12 之间。第一谐振电容器 C1rc 连接在第二节点 12 与第二正 DC 端子 T2P 之间。第二谐振电容器 C2rc 连接在第二节点 12 与第二负 DC 端子 T2N 之间。

[0131] 第六实施方式

[0132] 现在参考图 7。

[0133] 第一开关电路 SC1 是包括第一开关 S1sc1、第二开关 S2sc1、第三开关 S3sc1 和第四开关 S4sc1 的全桥式电路。

[0134] 这里,第一开关电路 SC1 的第一组开关包括第一开关 S1sc1 和第四开关 S4sc1。第一开关电路 SC1 的第二组开关包括第二开关 S2sc1 和第三开关 S3sc1。

[0135] 第一开关 S1sc1 连接在第一正 DC 端子 T1P 与第一节点 10 之间。开关的源极连接至第一节点 20。

[0136] 第二开关 S2sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 与第一节点 20 之间。开关的源极连接至第一负 DC 端子 T1N。

[0137] 第三开关 S3sc1 连接在第一正 DC 端子 T1P 与第二节点 22 之间。开关的源极连接至第二节点 22。

[0138] 第四开关 S4sc1 连接在第一负 DC 端子 T1N 与第二节点 22 之间。开关的源极连接至第一负 DC 端子 T1N。

[0139] 如上,本实施方式中没有变压器装置 TD。代替地,设置了磁化电感器 Lm 形式的电感器装置 ID。

[0140] 第一节点 20 连接至磁化电感器 L_m 的第一端子。第二节点 22 连接至磁化电感器 L_m 的第二端子。

[0141] 第一电容器 C_1 连接在第一正 DC 端子 T1P 和第一负 DC 端子 T1N 之间。

[0142] 这里,第二开关电路 SC2 是包括第一开关 S_{1sc2} 和第二开关 S_{2sc2} 的半桥式电路。

[0143] 这里的第二开关电路 SC2 的第一组开关包括第一开关 S_{1sc2} 和第二开关电路 SC1 的第二组开关包括第二开关 S_{2sc2} 。

[0144] 第一开关 S_{1sc2} 连接在第一节点 10 和第二正 DC 端子 T2P 之间。第二开关 S_{2sc2} 连接在第二负 DC 端子 T2N 和第二节点 10 之间。第一开关 S_{1sc2} 的源极连接至节点 10,第二开关 S_{2sc2} 的源极连接至第二负 DC 端子 T2N。第一节点 10 还连接至磁化电感器 L_m 的第二端子。

[0145] 谐振电路 RC 包括谐振电感器 L_{rc} 、第一谐振电容器 C_{1rc} 和第二谐振电容器 C_{2rc} 。谐振电感器 L_{rc} 连接在磁化电感器 L_m 第一端子和第二节点 12 之间。第一谐振电容器 C_{1rc} 连接在第二节点 12 与第二正 DC 端子 T2P 之间。第二谐振电容器 C_{2rc} 连接在第二节点 12 与第二负 DC 端子 T2N 之间。

[0146] 第二电容器 C_2 连接在第二正 DC 端子 T2P 和第二负 DC 端子 T2N 之间。

[0147] 控制电路

[0148] 控制单路被设置用于控制第一和第二开关电路 SC1 和 SC2 闭合和断开。控制电路可以实施为由数字信号处理器(DSP)执行的软件程序或可以实施为模拟电路。

[0149] 所有开关都是单极的,意味着开关只能阻断一个方向上的传导。单极开关的示例是包括反并联二极管的 MOSFET 开关。另一个示例是具有从发射器连接至漏极的反并联二极管 IGBT 开关。

[0150] 下面参考图 8-12 详细说明本发明的控制方法。这里,示出了图 3 所示实施方式的控制信号及其所得电压和 / 或电流。输入电压 V_{in} 被设置为 50VDC,输出电压被调整为 350VDC。开关频率大约为 110kHz。

[0151] 现在参考图 8。

[0152] 在第一步骤,对于串联谐振 DC/DC 转换器,开关周期 TP 被定义为从时间 T_{start} 到时间 T_{end} 的时间。开关周期 TP 包括从 T_{start} 到时间 T_{center} 的第一半周期 T_A 和从时间 T_{center} 到时间 T_{end} 的第二半周期 T_B 。开关周期 TP 之后的下一个开关时间标记为后继开关周期 $TP+1$ 。

[0153] 如上,串联谐振 DC/DC 转换器的谐振频率由电感器装置(ID 或 TD)和谐振电路 RC 的元件(电容器和电感器)特性所定义。

[0154] 开关周期 TP、进而开关频率可由控制电路控制为大于、等于或小于谐振频率。因此,开关周期 TP 与谐振频率无关。

[0155] 图 8 中,如从下面的说明中显而易见,相关时间 T_0 (等于 T_{start})到 T_8 (等于 T_{end})的第一开关周期 TP 由虚线表示,还定义了多个时间间隔。时间 T_8 (等于 T_{end})是后继开关周期 $TP+1$ 的起点(即时间 $T_0(TP+1)$)。这里,时间 T_4 等于 T_{center} ,但是时间间隔 $T_0 - T_1$ 、 $T_1 - T_2$ 、 $T_2 - T_3$ 、 $T_3 - T_4$ 、 $T_4 - T_5$ 、 $T_5 - T_6$ 、 $T_6 - T_7$ 、 $T_7 - T_8$ 的长度并不全部彼此相等。

[0156] 基本上所有开关组的占空比都是 50%,意味着在几乎一半的开关周期期间,开关具有需要开关处于传导状态 ON 的控制信号,在几乎一半的开关周期期间,开关具有需要开关

处于非传导状态 OFF 的控制信号。开关组被独立地控制以具有不同延迟但是同步。

[0157] 第一开关电路 SC1 的第一组开关 $S1sc1$; $S1sc1$ 、 $S4sc1$ 被控制为从第一半周期 TA 减去时间间隔 $\Delta TAE1$ 的开始 $Tstart$ 开始是闭合的,其中时间间隔 $\Delta TAE1$ 被设置在第一半周期 TA 的末尾。第一开关电路 SC1 的第一组开关 $S1sc1$; $S1sc1$ 、 $S4sc1$ 被控制为在第二半周期 TB 内是断开的。本实施方式中的时间间隔 $\Delta TAE1$ 在时间 T3 开始并在时间 T4 终止。

[0158] 第一开关电路 SC1 的第二组开关 $S2sc1$; $S2sc1$ 、 $S3sc1$ 被控制为从第二半周期 TB 减去时间间隔 $\Delta TBE1$ 的开始 $Tcenter$ 开始是闭合的,其中时间间隔 $\Delta TBE1$ 被设置在第二半周期 TB 的末尾;第一开关电路 SC1 的第二组开关 $S2sc1$; $S2sc1$ 、 $S2sc1$ 被控制为在第一半周期 TA 内断开。本实施方式中的时间间隔 $\Delta TBE1$ 在时间 T7 开始并在时间 T8 终止。

[0159] 第一开关电路 SC1 的第一组开关 $S1sc1$; $S1sc1$ 、 $S4sc1$ 和第二组开关 $S2sc1$; $S2sc1$ 、 $S3sc1$ 被控制为在时间间隔 $\Delta TAE1$ 和时间间隔 $\Delta TBE1$ 内是断开的。

[0160] 时间间隔 $\Delta TAE1$ 形成第一时间间隔 $Tsc1off1$,其中第一开关电路的第一和第二组开关是断开的。时间间隔 $\Delta TBE1$ 形成第二时间间隔 $Tsc1off2$,其中第一开关电路 SC1 的第一和第二组开关是断开的。

[0161] 第二开关电路 SC2 的第一组开关 $S1sc2$; $S1sc2$ 、 $S4sc2$ 被控制为在第一半周期 TA 减去时间间隔 $\Delta TAS1$ 并减去时间间隔 $\Delta TAE2$ 内是闭合的,其中时间间隔 $\Delta TAS1$ 被设置在第一半周期 TA 的开始和其中时间间隔 $\Delta TAE2$ 被设置在第一半周期 TA 的末尾。第二开关电路 SC2 的第一组开关 $S1sc2$; $S1sc2$ 、 $S4sc2$ 被控制为在第二半周期 TB 内是断开的。本实施方式中的时间间隔 $\Delta TAS1$ 在时间 T0 开始和在时间 T1 终止。本实施方式中的时间间隔 $\Delta TAE2$ 在时间 T2 开始和在时间 T4 终止。

[0162] 第二开关电路 SC2 的第二组开关 $S2sc2$; $S2sc2$ 、 $S3sc2$ 被控制为在第二半周期 TB 减去时间间隔 $\Delta TBS1$ 并减去时间间隔 $\Delta TBE2$ 内保持闭合,其中时间间隔 $\Delta TBS1$ 被设置在第二半周期 TB 的开始,其中时间间隔 $\Delta TBE2$ 被设置在第二半周期 TB 的末尾。第二开关电路 SC2 的第二组开关 $S2sc2$; $S2sc2$ 、 $S3sc2$ 被控制为在第一半周期 TA 内是断开的。本实施方式中的时间间隔 $\Delta TBS1$ 在时间 T4 开始和在时间 T5 终止。本实施方式中的时间间隔 $\Delta TBE2$ 在时间 T6 开始和在时间 T8 终止。

[0163] 第二开关电路 SC2 的第一组开关 $S1sc1$; $S1sc2$ 、 $S4sc2$ 和第二组开关 $S2sc2$; $S2sc2$ 、 $S3sc2$ 被控制为在时间间隔 $\Delta TAS1$ 、 $\Delta TAE2$ 、 $\Delta TBS1$ 和 $\Delta TBE2$ 内是断开的。

[0164] 时间间隔 $\Delta TAE2$ 和 $\Delta TBS1$ 形成从时间 T2 到时间 T5 的连续时间间隔 $Tsc2off1$,其中第二开关电路 SC2 的第一和第二组开关是断开的。时间间隔 $\Delta TBE2$ 和 $\Delta TAS1(TP+1)$ (也就是后继的开关周期 TP+1 的时间间隔 $\Delta TAS1$)形成从时间 T6 到时间 T1 (TP+1) (也就是,后继的开关周期 TP+1 的时间实例 T1)的连续时间间隔 $Tsc2off2$,其中第二开关电路 SC2 的第一和第二组开关都是断开的。

[0165] 下面的表 1 示出了开关周期 TP 中的第一开关电路的第一和第二组开关的状态。也给出了每个时间间隔的起始时间和结束时间。

[0166]

	TA		TB	
	TA 减去 $\Delta TAE1$ (T0-T3)	$\Delta TAE1$ (T3-T4)	TB 减去 $\Delta TBE1$ (T4-T7)	$\Delta TBE1$ (t7-t8)
		Tsc1off1		Tsc1off2
SC1 的第一组	闭合	断开	断开	断开
SC1 的第二组	断开	断开	闭合	断开

[0167] Table1 :第一开关电路 SC1 的第一和第二组开关的闭合 / 断开状态。

[0168] 下面的表 2 示出了开关周期 TP 中第二开关电路 SC2 的第一和第二组开关状态。也给出了每个时间间隔的起始时间和结束时间。

	TA (T0-T4)			TB (T4-T8)		
	$\Delta TASI$ (T0-T1) TA 减去 $\Delta TASI$ 和	$\Delta TAE2$ (T1-T2)	$\Delta TAE2$ (T2-T4)	$\Delta TBS1$ (T4-T5)	TB 减去 TBS1 和 $\Delta TBE2$	(T5-T6) $\Delta TBE2$ (T6-T8)
[0169]	Tsc2off2		Tsc2off1			Tsc2off2
SC2 的第一组	断开	闭合	断开	断开	断开	断开
SC2 的第二组	断开	断开	断开	断开	闭合	断开

[0170] Table2 :第二开关电路 SC2 的第一和第二组开关的闭合 / 断开状态。

[0171] 时间间隔 Tsc1off1 和时间间隔 Tsc2off1 至少部分重叠,即时间间隔 Tsc1off1 在时间间隔 Tsc2off1 结束之前开始或时间间隔 Tsc2off1 在时间间隔 Tsc1off1 结束之前开始。此外,时间间隔 Tsc1off2 和时间间隔 Tsc2off2 至少部分重叠,即时间间隔 Tsc1off2 在时间间隔 Tsc2off2 结束之前开始或时间间隔 Tsc2off2 在时间间隔 Tsc1off2 结束之前开始。通过这种方式同步第一开关电路 SC1 的开关和第二开关电路 SC2 的开关。

[0172] 在本实施方式中,时间间隔 Tsc2off1 的长度等于时间间隔 Tsc2off2 的长度,时间间隔 Tsc1off1 的长度等于时间间隔 Tsc1off2 的长度。

[0173] 在上述实施方式中,时间间隔 Tsc2off1 和 Tsc2off2 长于时间间隔 Tsc1off1 和

Tsc1off2。然而,其可以具有相同的持续时间,或时间间隔 Tsc1off 可以长于时间间隔 Tsc2off。这取决于开关电路中实现零电压开关(ZVS)所需的时间并且还取决于第一正与负 DC 端子之间电压和第二正与负 DC 端子之间电压。

[0174] 在上述实施方式中,时间间隔 Tsc1off1 的中心被控制为接近或等于时间间隔 Tsc2off1 的中心,时间间隔 Tsc1off2 的中心被控制为接近或等于时间间隔 Tsc2off2 的中心。

[0175] 如图 8 所示,高负载到满载闭合时对所有开关保持零电压开关。

[0176] 图 9 中,节点 10 的电压 V10 和节点 20 的 V20 在时间 T2 实例之前都高,因此开关 S1sc1、S4sc1 (SC1 的第一组)和 S1sc2 (SC1 的第一组)都导通,且开关 S2sc1、S3sc1 (SC1 的第二组)和 S2sc2 (SC2 的第二组)都不导通。

[0177] 在时间实例 T2,第二开关电路 SC2 的第一组开关 S1sc2 被断开。在时间实例处,当电流 Is 变为正,则能够通过第二开关电路中第一组和第二组开关中的输出电容放电,使节点 10 的电压从高变低。命令第二开关电路的第二组开关 S2sc2 在时间 T5 处闭合,进而以接近零的电压闭合,不会产生任何显著的开关损失,所以被称作零电压开关(ZVS)。

[0178] 由于 Ip 为正,在时间 T3 断开第一组开关 S1sc1 和 S4sc1 将导致节点 20 的电压快速从高变低和节点 22 的电压快速从低变高,这是由第一开关电路的第一组合和第二组开关 S1sc1、S3sc1 和 S2sc1、S4sc1 的输出电容快速充电/放电引起的。命令第一开关电路 SC1 的第二组开关 S2sc1 和 S3sc1 在 T4 闭合,进而以接近零值的电压闭合,不会产生任何显著的开关损失,所以被称作 ZVS。

[0179] 注意,在本实施方式中,在断开 S1sc2 与闭合 S2sc2 之间的时间间隔 T2 到 T5 长于断开 S1sc1, S4sc1 和闭合 S2sc1, S3sc1 的时间间隔 T3 到 T4,因为第二开关电路 SC2 的 350V 电压 Vout 电流变换(commutate)的时间长于第一开关电路 SC1 的 50V 电压 Vin。

[0180] 如图 10 所示,所有开关在低负载或空载闭合时保持 ZVS。现在参考图 11。

[0181] 在时间实例 T2 之前,节点 10 的电压 V10 和节点 20 的电压 V20 都高,因此开关 S1sc1、S4sc1 和 S1sc2 都导通。

[0182] 开关 S1sc2 在时间实例 T2 断开。电流 Is 为正,因此能够通过开关 S1sc2 和 S2sc2 的输出电容放电,使得 V10 从高变低。

[0183] 在时间周期 T2 至 T3 期间,由于通过谐振电感器 Lrc 的电压改变,所以电流 Is 衰减。然而,绕组 Ls 中的磁化电流 I_{LM} 仍然增加,并进而反映至初级绕组 L_p ,并引起电流 I_p 增加。由于 I_p 增加且为正,断开开关 S1sc1 和 S4sc1 导致节点 20 的电压 V20 快速从高变低以及节点 22 的电压 V22 快速从低变高,这是由开关 S1sc1、S3sc1 和 S2sc1、S4sc1 的输出电容快速充电/放电引起的。

[0184] 通过改变开关频率可以控制输出电压 Vout。这在图 12 中被示出,其中输出电压 Vout 可以对于不同负载和不同开关频率而改变。通过适当延迟可以控制所有开关的 ZVS 操作,即上文以及图 8、表 2 和表 3 所示的开关实例之间的时间间隔 Tsc1off1、Tsc1off2、Tsc2off1 和 Tsc2off2。

[0185] 通过改变开关周期 TP 的长度可以控制串联谐振 DC/DC 转换器第一 DC 端子 T1P、T1N 之间电压与串联谐振 DC/DC 转换器第二 DC 端子 T2P、T2N 之间电压之间的关系。

[0186] 通过改变开关周期 TP 的长度可以控制通过串联谐振 DC/DC 转换器的电力流的方

向。因此串联谐振 DC/DC 转换器可以被控制为双向串联谐振 DC/DC 转换器。

[0187] 第一和第二开关电路 SC1、SC2 的开关被控制为通过控制第一和第二开关电路具有接近串联谐振频率的固定开关频率,在开关闭合时提供零电压开关 ZVS 和在开关断开时提供近似零电流开关 ZCS。

[0188] 通过在操作点以串联谐振频率或接近串联谐振频率的频率为第一 DC 端子在额定操作范围内的所有电压进行开关,可以控制第一和第二开关电路 SC1、SC2 的开关。

[0189] 通过在操作点以串联谐振频率或接近串联谐振频率的频率为第二端子处的所有负载状况进行开关,可以控制第一和第二开关电路 SC1、SC2 的开关。

[0190] 具有串联 DC/DC 谐振转换器的 UPS 系统

[0191] 在上述介绍中,说明了串联谐振 DC/DC 转换器的典型使用。在典型 UPS 系统中,存在一个用于 UPS 系统中包括串联谐振 DC/DC 转换器在内的所有部件的共用控制系统。例如,共用控制电路可以包括状态标志信号,作为对通过双向 DC/DC 转换器的电力流的方向的指示符。

[0192] 此外,控制电路包括用于感应第一 DC 端子 T1P、T1N 和第二 DC 端子 T2P、T2N 处的电流和 / 或电压的传感器。

[0193] 在第一操作模式中,状态标志信号指示电力应从第一 DC 端子 T1P、T1N 流向第二 DC 端子 T2P、T2N。这里,控制电路基于用于第一操作模式的预定参考信号控制第二 DC 端子 T2P、T2N 的电流和 / 或电压。

[0194] 在第二操作模式中,状态标志信号指示电力应从第二 DC 端子 T2P、T2N 流向第一 DC 端子 T1P、T1N。这里,控制电路基于用于第二操作模式的预定参考信号控制第一 DC 端子 T1P、T1N 的电流和 / 或电压。

[0195] 如上,串联谐振 DC/DC 转换器可以用作 UPS 系统的 DC/DC 转换器,如图 1 所示,其中其第一 DC 端子 T1P、T1N 连接至电池,其第二 DC 端子 T2P、T2N 连接至 DC 总线(未示出)。

[0196] 当在 AC 干线中检测到故障时,状态标志信号可以被切换到第一操作模式。在这种情况下,电力应该被从连接至第一 DC 端子的电池传输到连接至第二 DC 端子的 DC 总线。这里,只要电池电源允许,控制电路控制第二 DC 端子 T2P、T2N 处的电压和 / 或电流保持适于被输入至 DC/AC 转换器的预定电平。

[0197] 当 AC 干线再次工作时,状态标志信号可以切换至第二操作模式,然后从 DC 总线向电池供应电力以便对电池充电。这里,控制电路控制第一 DC 端子 T1P、T1N 的电压和 / 或电流保持适于被输入电池的预定电平。

[0198] 状态标志信号可具有指示没有电流应被传输通过双向 DC/DC 转换器的第三操作模式。在该操作模式中,所有开关都应断开。在该操作模式中,AC 干线中没有故障,且电池被充满电。

[0199] 用于串联谐振 DC/DC 转换器的另一种应用是用于存储在电池存储装置中的能源的再利用。

[0200] 结论

[0201] 根据图 3 的串联谐振 DC/DC 转换器的效率已被测出。图 12 示出了测试结果。在测试中,示出了两条效率曲线,第一曲线以具有 50V 输入电压 V_{in} 的电路的输出功率函数示出了效率,第二曲线以具有 48V 输入电压 V_{in} 的电路的输出功率函数示出了效率。输出电

压 V_{out} 控制在 355V。

[0202] 可以看出,在约 400W 到 2200W 的功率输出范围内,效率高于 96%。最大功率效率高于 97.5%。这相对介绍中所提到的效率只有约 92% 的现有技术的 DC/DC 转换器是一个显著的提高。

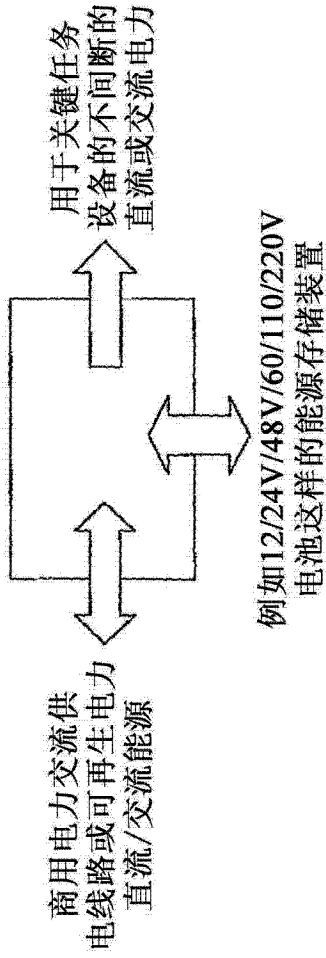


图 1

双向DC/DC转换器的典型应用

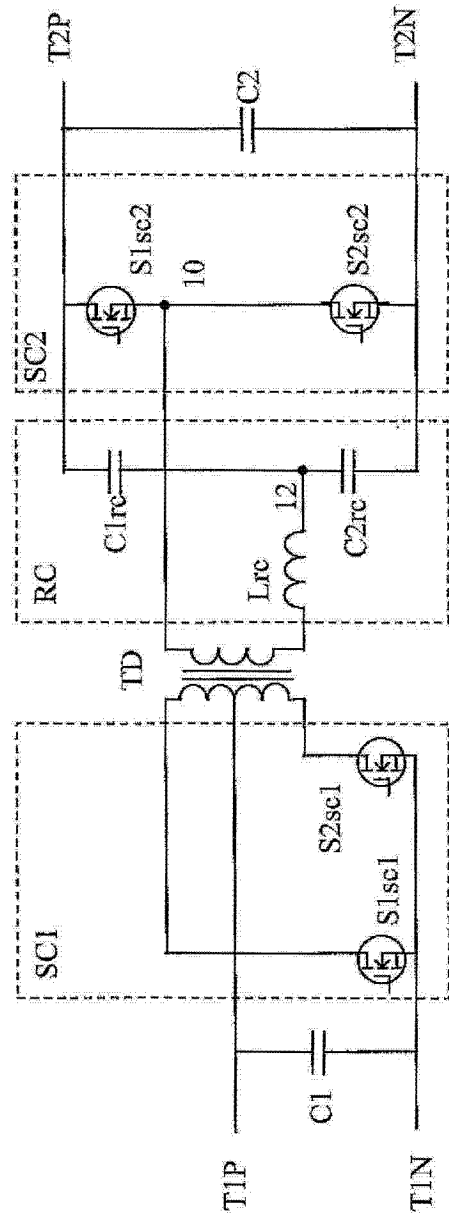


图 2

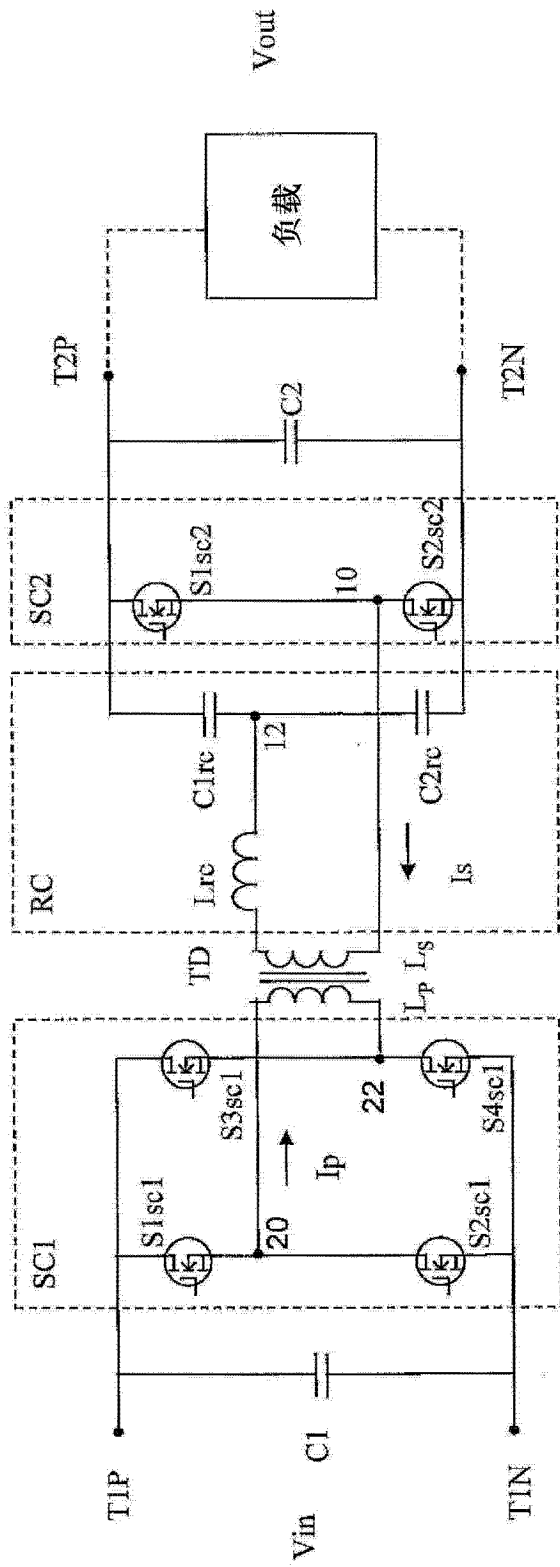


图 3

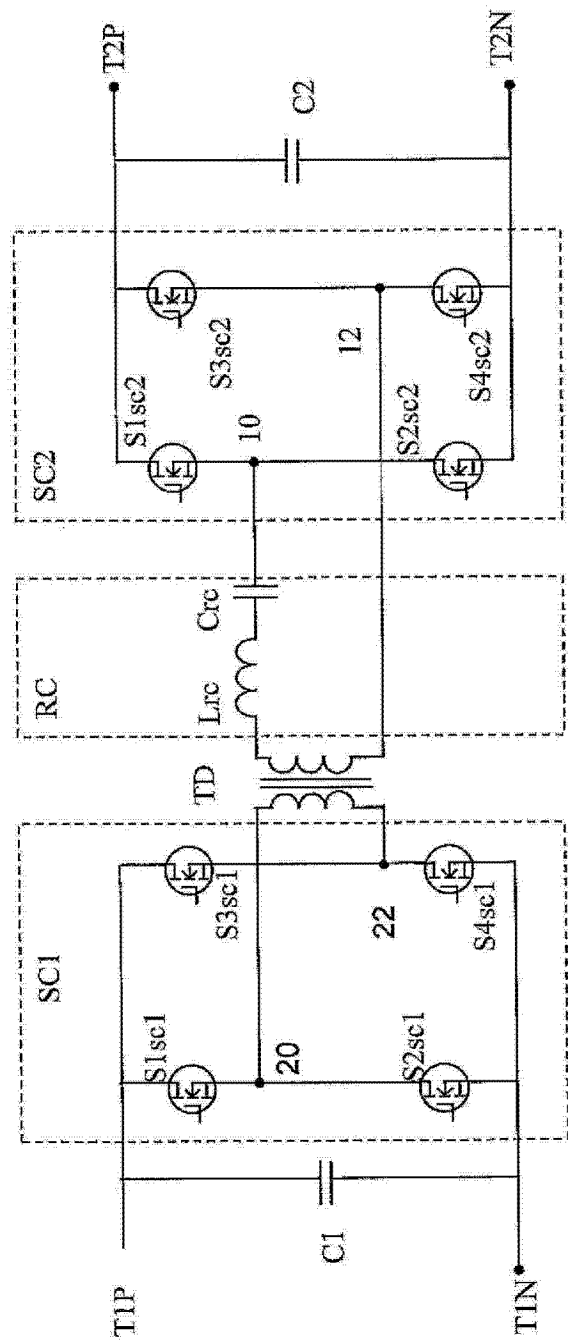


图 4

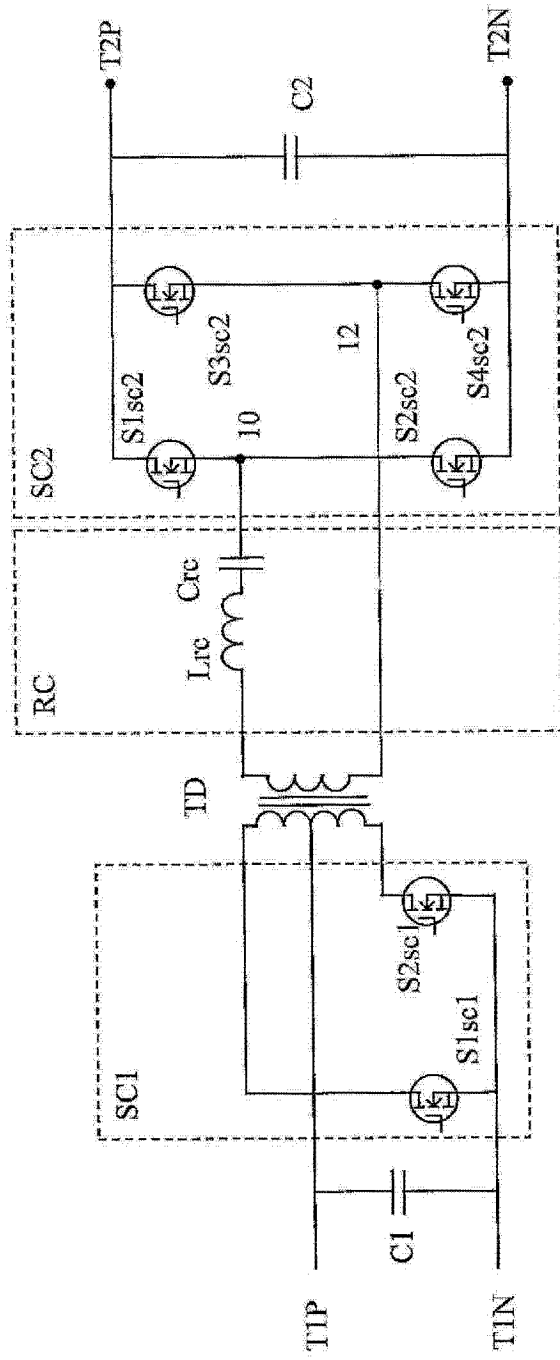


图 5

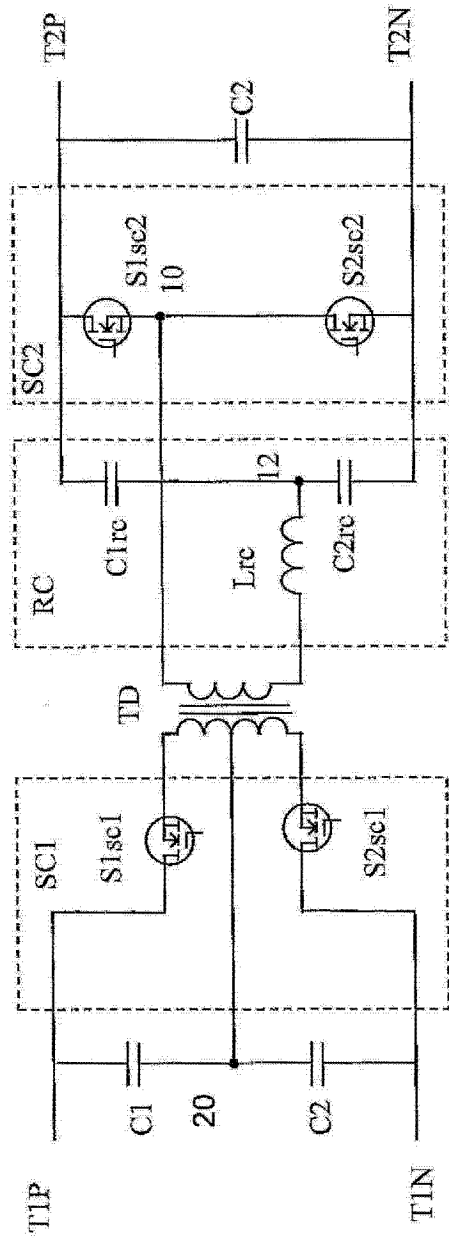


图 6

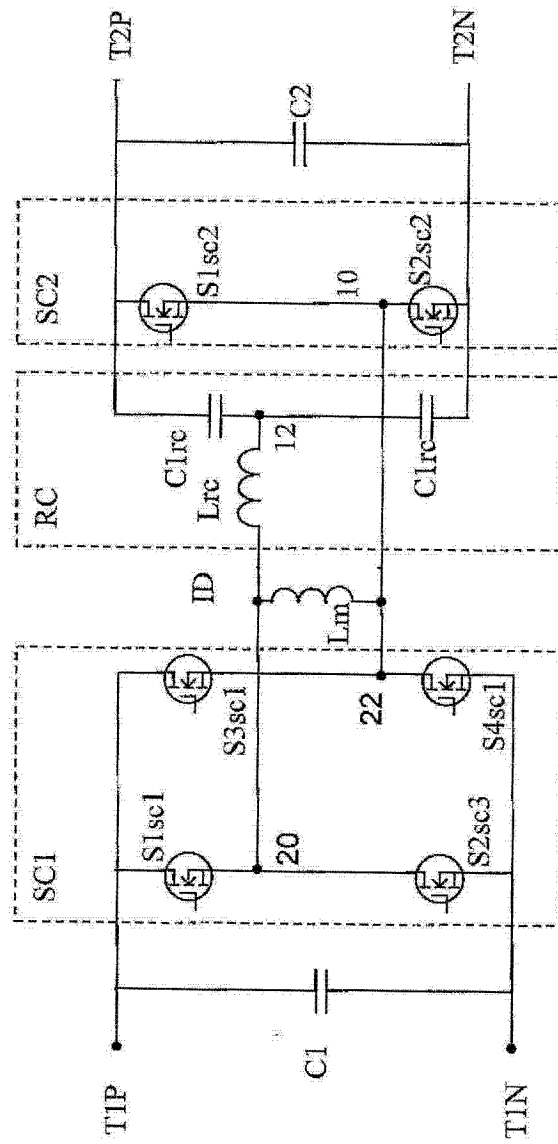


图 7

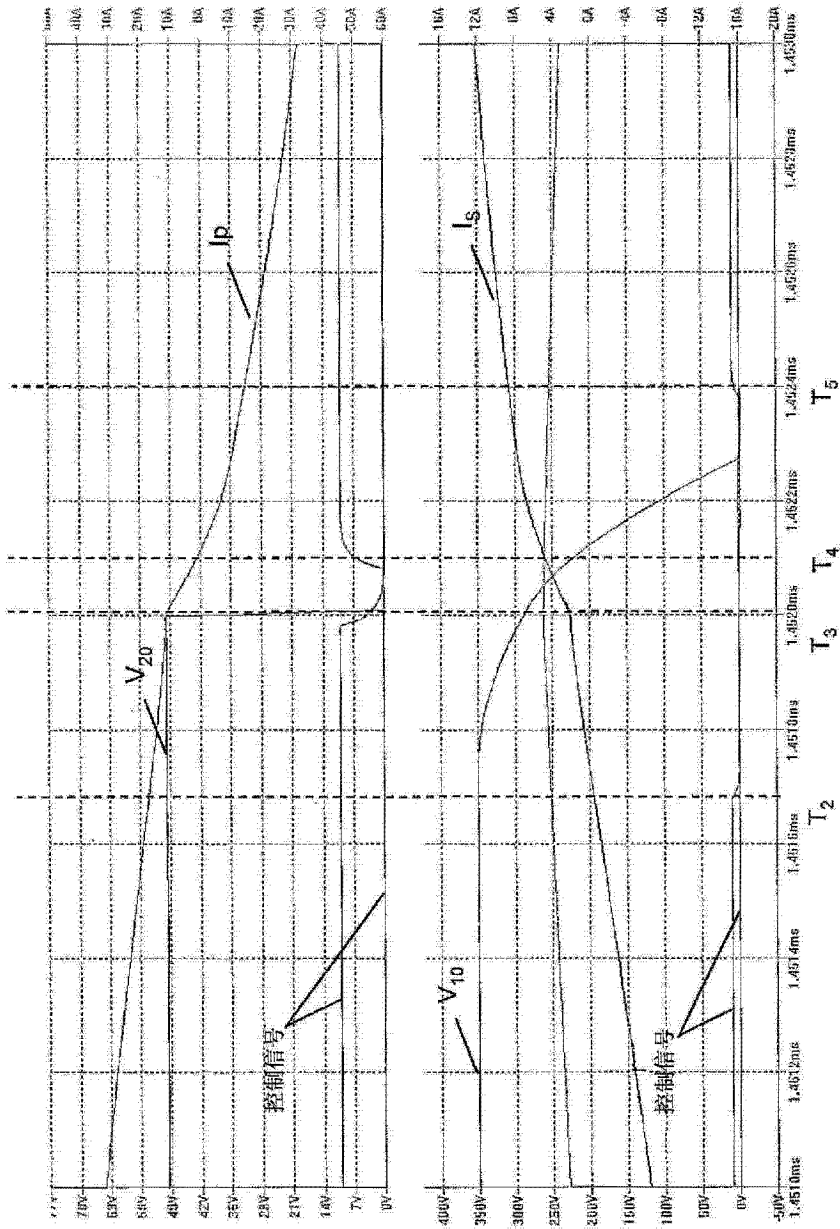


图 9

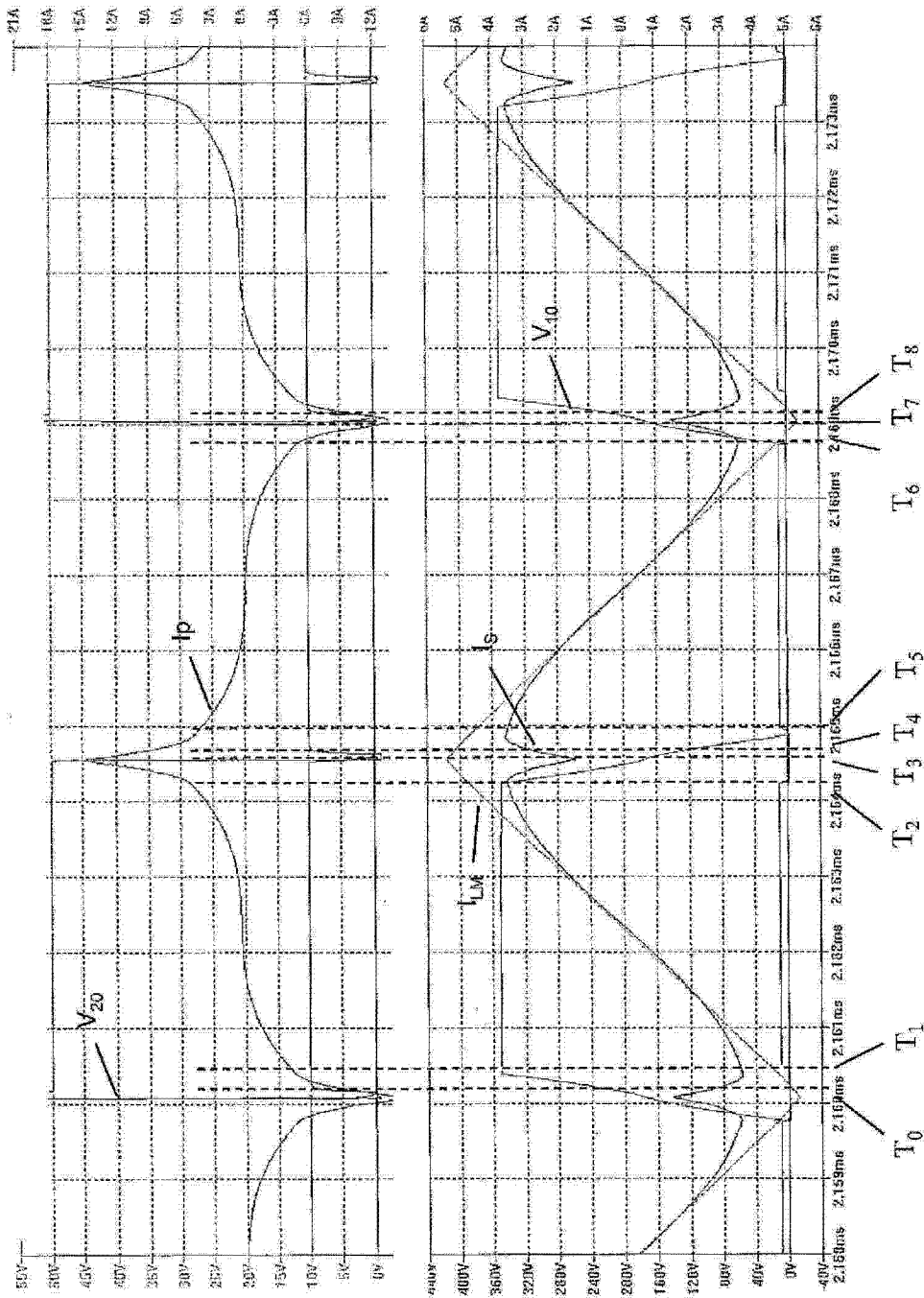


图 10

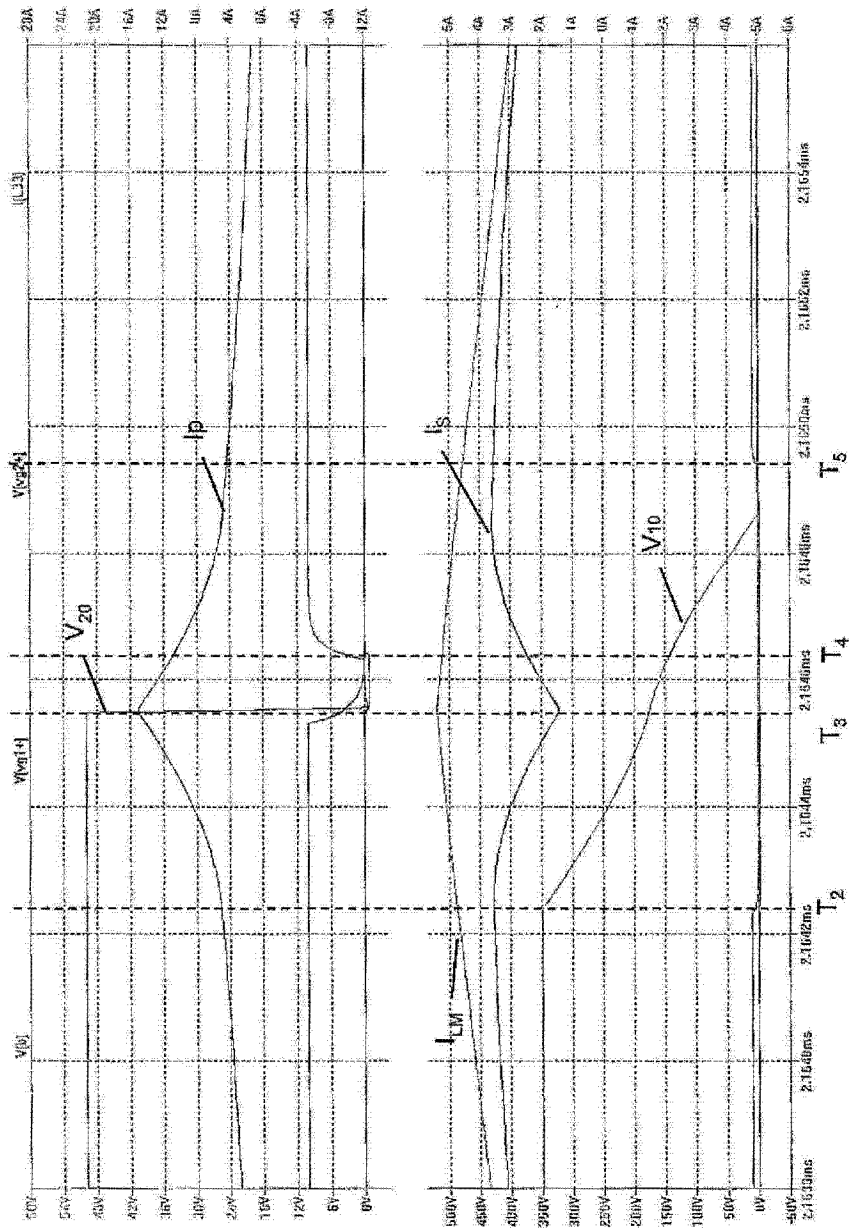


图 11

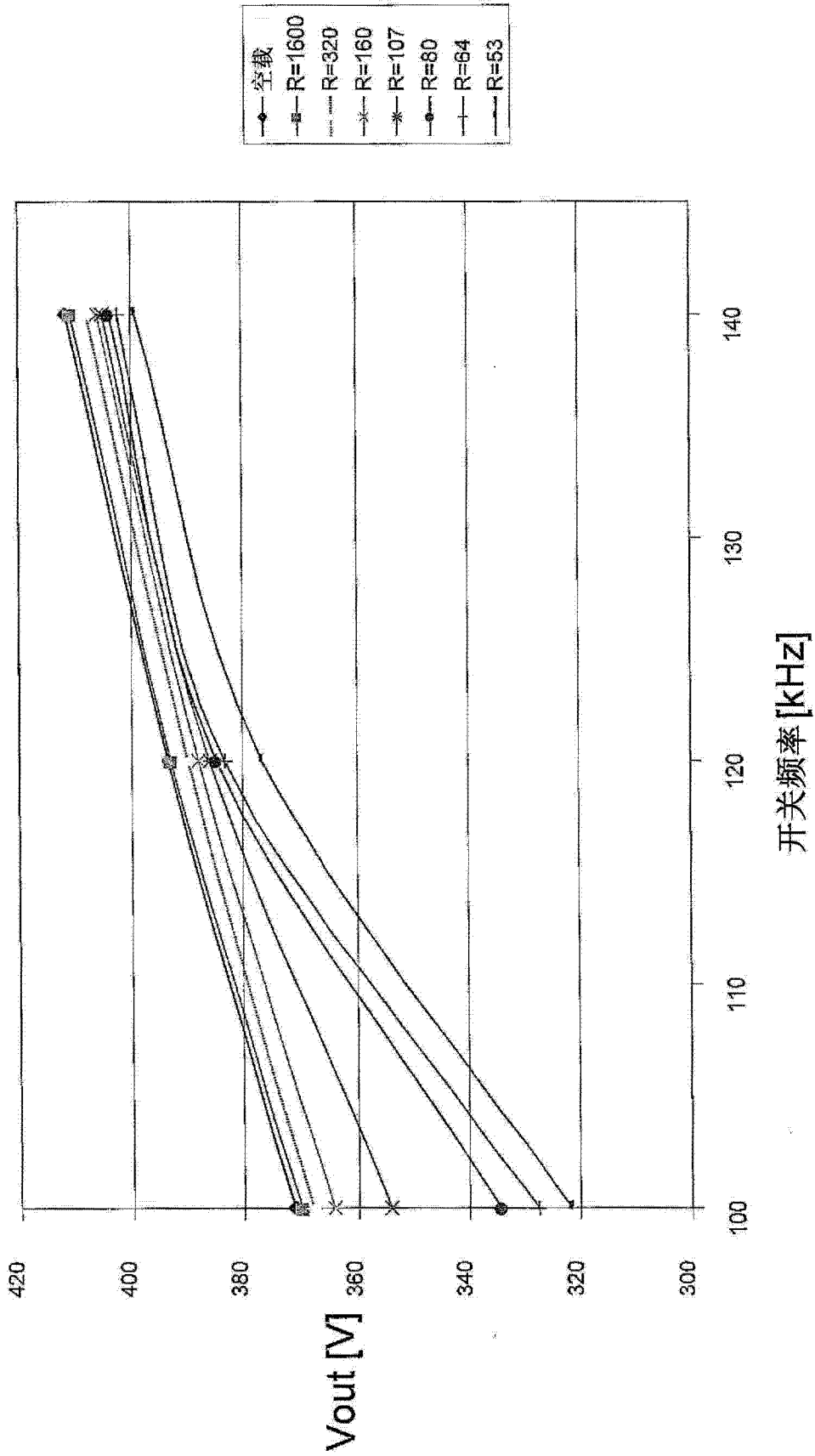


图 12

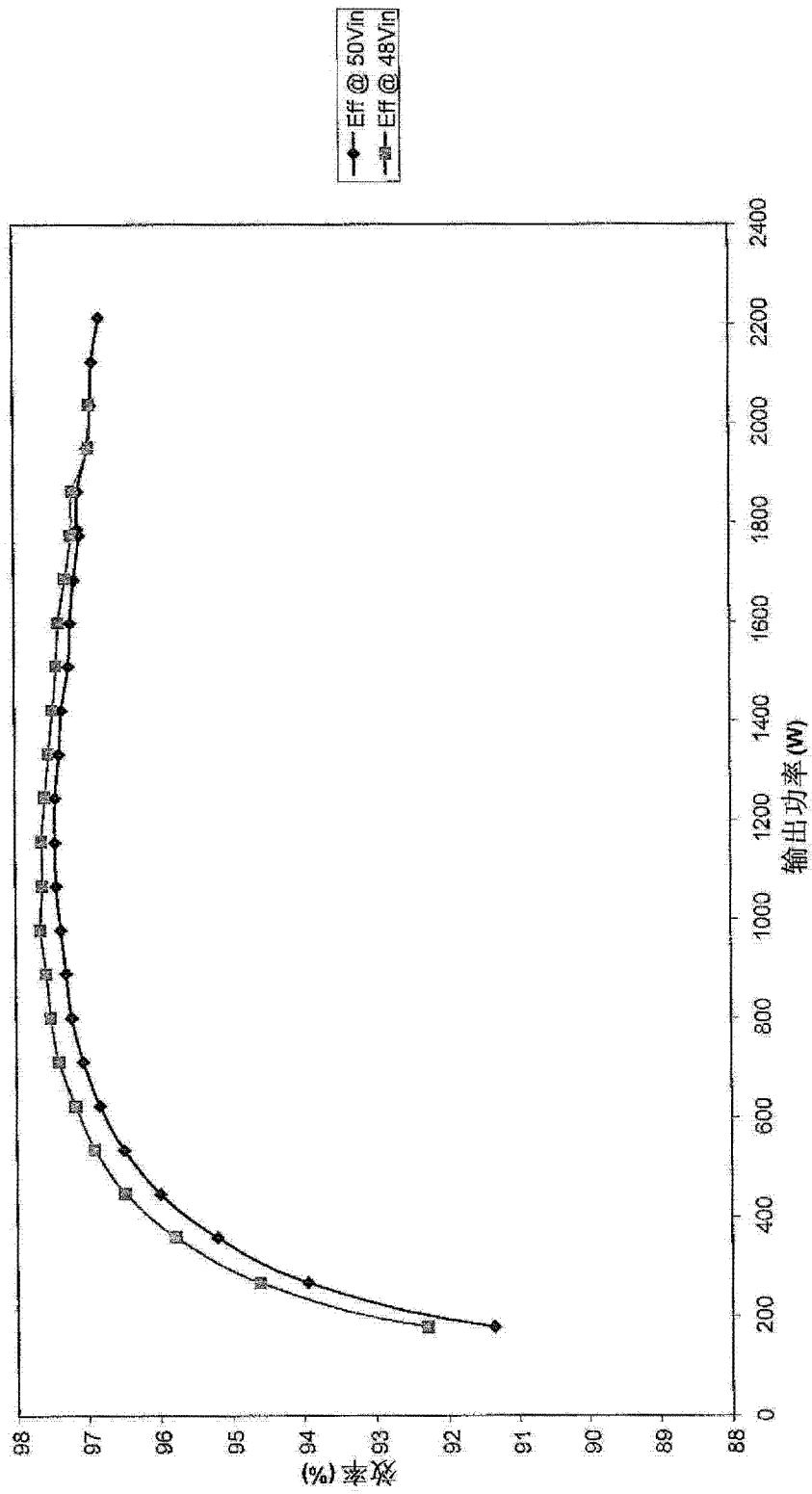


图 13