

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2017年2月23日 (23.02.2017)



(10) 国际公布号  
WO 2017/028776 A1

- (51) 国际专利分类号:  
H02M 7/483 (2007.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/095363
- (22) 国际申请日: 2016年8月15日 (15.08.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
62/205,647 2015年8月14日 (14.08.2015) US
- (72) 发明人: 及
- (71) 申请人: 汪洪亮 (WANG, Hongliang) [CN/CN]; 中国安徽省合肥市政务区习友路融科九重锦7栋3301室, Anhui 230000 (CN)。刘雁飞 (LIU, Yanfei) [CA/CA]; 加拿大安大略省金斯顿市 Earnhart 路 1064 号, Ontario K7P 3C2 (CA)。
- (74) 代理人: 北京路浩知识产权代理有限公司 (CN-KNOWHOW INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LIMITED); 中国北京市海淀区丹棱街3号中国电子大厦B座18层, Beijing 100080 (CN)。

- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(54) Title: HIGH-VOLTAGE-GAIN FIVE-LEVEL INVERTER TOPOLOGICAL CIRCUIT

(54) 发明名称: 高电压增益的五电平逆变器拓扑电路

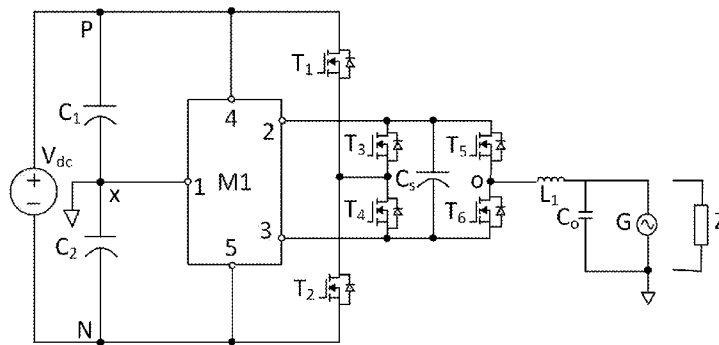


图 1

(57) Abstract: A high-voltage-gain five-level inverter topological circuit. A single-phase five-level inverter topological circuit comprises a half-bridge inverter circuit, and the half-bridge inverter circuit comprises a flying capacitor (Cs) and outputs five different levels comprising a zero level. The single-phase five-level inverter topological circuit adopts a five-level half-bridge structure, and only needs one alternating-current filter inductor (L1), thereby reducing the cost and the volume of a system, completely removing leak current, and having high efficiency and high stability. Under the same running condition, the voltage utilization rate of the high-voltage-gain five-level inverter topological circuit is twice of that of an existing half-bridge five-level inverter topological circuit; and neutral-point voltage at the direct current side can be automatically balanced without an additional circuit.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/028776 A1



---

一种高电压增益的五电平逆变器拓扑电路，单相五电平逆变器拓扑电路包括一个半桥逆变器电路，该半桥逆变器电路含有一个悬浮电容（ $C_s$ ）并且输出五个互不相同的电平，包括零电平。该单相五电平逆变器拓扑电路采用五电平半桥结构，只需要一个交流滤波电感（ $L_1$ ），因此降低了系统成本和体积，完全消除了漏电流，效率高，稳定性高。在相同的运行条件下，该高电压增益的五电平逆变器拓扑电路的电压利用率是现有半桥五电平逆变器拓扑电路的两倍；而且不需要附加电路，直流侧中点电压就可以自动平衡。

## 高电压增益的五电平逆变器拓扑电路

本申请要求2015年8月14日提交的美国临时专利申请US 62/205,647的优先权，其公开内容整体并入于此作为参考。

### 技术领域

本发明涉及电力电子领域中的电力变换器拓扑电路，特别是高电压增益的五电平逆变器拓扑电路。

### 背景技术

随着全球能源和环境问题加剧，可再生能源发展迅速。光伏发电因其资源丰富，分布广泛，具有很好的发展前景。对于光伏发电系统来说，如何降低成本，提高效率成为光伏发电的重要课题。

众所周知，光伏阵列产生直流电。在光伏发电系统中，逆变器用于将光伏阵列输出的直流电转化成交流电。非隔离型光伏逆变器存在共模回路。该共模回路产生高频漏电流，引起电磁干扰，同时危及设备和人身安全。因此，高频漏电流是非隔离型逆变器系统需要解决的一个重要问题。

根据电路结构，现有公开的逆变器拓扑电路分成两类。

第一类是双交流电感的对称拓扑电路，比如全桥逆变器拓扑电路。由于全桥逆变器拓扑电路所需的输入电压为半桥逆变器拓扑电路的一半，因此很多场合，无需额外的升压电路升压。但是，全桥逆变器由于其寄生参数的存在，很难完全消除高频漏电流。通过适当改进传统H4全桥电路，可以减小高频漏电流，并满足行业标准。但其为对称双电感工作模式，两个电感磁芯不能共用，增大了成本。

第二类是单电感的非对称拓扑电路，比如半桥逆变器拓扑电路或中点钳位逆变器拓扑电路。该类拓扑电路通过将交流电网或交流负载的一端直接钳位至直流母线电压的中点，很好保证了光伏电池板的寄

生电容两端电压恒定不变，从而很好地解决了漏电流。由于其电压利用率为第一类的一半，因此需要额外的升压电路，导致效率降低，成本增大。

三相逆变器系统通常采用三电平半桥逆变器拓扑电路。但是，(1) 电压利用率低；(2) 交流滤波感抗高；(3) 需要附加电路来提高输入电压，因此成本高。

## 发明内容

本发明提供了一种高电压增益的五电平逆变器拓扑电路，以解决现有技术中的上述问题中的至少部分技术问题。

为了让电流双向流动，每个开关管反向并联一个二极管。为了叙述方便，本申请中的术语“双向开关”指电流可以双向流动但只能承受单向电压的开关，比如带有反向并联二极管的IGBT，或内置并联二极管的MOSFET。

本发明提供的五电平逆变器拓扑电路，适于和两个串联连接的直流电源一起使用，至少包括：一个半桥逆变器电路。所述半桥逆变器电路输出五个互不相同的电平，包括零电平。所述半桥逆变器电路至少包括一个悬浮电容，一个电路模块，六个开关电路支路。所述悬浮电容由第一直流电源或第二直流电源充电。所述半桥逆变器电路由第一直流电源或者第二直流电源供电，或者，所述半桥逆变器电路由第一直流电源与悬浮电容代数叠加或者第二直流电源与悬浮电容代数叠加后供电。

可选地，所述两个直流电源由一个电源并联连接两个串联连接的电容实现。其中，每个电容充当一个直流电源。

第一方面，本发明提供了一种单相五电平逆变器拓扑电路，适于和两个串联连接的直流电源一起使用，其特征在于，包括：一个半桥逆变器电路，用于输出五个互不相同的电平，包括零电平；所述半桥逆变器电路至少包括一个悬浮电容，一个电路模块，六个开关电路支

路；

所述电路模块包括第一端、第二端、第三端、第四端和第五端，适于在控制信号的控制下提供至少四种工作模式：五个端子中，仅导通第一端与第二端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第三端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第四端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第五端之间的连接；

所述电路模块的第一端用于连接两个直流电源的公共端，第四端用于连接第一直流电源的正极，第五端用于连接第二直流电源的负极；

第一开关电路支路的第一端用于连接第一直流电源的正极，第二端连接第二开关电路支路的第一端；第二开关电路支路的第二端用于连接第二直流电源的负极；第三开关电路支路的第一端同时连接所述电路模块的第二端和悬浮电容的正极，第三开关电路支路的第二端连接第四开关电路支路的第一端；第四开关电路支路的第二端同时连接所述电路模块的第三端和悬浮电容的负极；第三、第四开关电路支路的公共端连接第一、第二开关电路支路的公共端；第五开关电路支路的第一端连接悬浮电容正极，第二端连接第六开关电路支路的第一端；第六开关电路支路的第二端用于连接悬浮电容的负极；第五、第六开关电路支路的公共端用于连接第一交流电压输出端。

可选的，所述单相五电平逆变器拓扑电路进一步包括第一电感，其中，第五、第六开关电路支路的公共端具体通过第一电感连接第一交流电压输出端。

可选的，所述六个开关电路支路中的任意一个开关电路支路至少包括一个双向开关；其中，每个所述双向开关的第一端连接该双向开关所在开关电路支路的第一端，每个所述双向开关的第二端连接该双向开关所在开关电路支路的第二端。

可选的，所述两个直流电源的公共端连接第二交流电压输出端。

可选的，所述电路模块包括多个电路支路；五个端子中的任意两个端子之间设置有至少一个电路支路，各个电路支路适于在控制信号的控制下导通，提供所述的四种工作模式。

可选的，所述电路模块进一步包括一个限流装置。

可选的，所述限流装置包括以下一种或者几种的组合：电感；电阻；运行在有源模式或线性模式的半导体器件。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管和第四二极管；

第一二极管的负极连接所述电路模块的第四端，正极连接第二二极管的负极；第二二极管的正极连接所述电路模块的第五端；所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端；第三二极管的正极连接第一二极管的正极，第三二极管的负极连接第七双向开关的第一端；第七双向开关的第二端连接所述电路模块的第二端；第四二极管的负极连接第二二极管的负极，第四二极管的正极连接第八双向开关的第二端；第八双向开关的第一端连接所述电路模块的第三端。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管、第五二极管和第六二极管；

第一二极管负极连接所述电路模块的第四端，正极连接第二二极管负极；第二二极管正极连接第三二极管负极；第三二极管正极连接第四二极管负极；第四二极管正极连接所述电路模块的第五端；所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第二、第三二极管的公共端；第五二极管负极同时连接第二二极管负极和第七双向开关的第一端，第五二极管正极连接所述电路模块的第三端；第六二极管正极同时连接第三二极管正极和第七双向开关

的第二端，第六二极管负极连接所述电路模块的第二端。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第十双向开关、第一二极管和第二二极管；

第一二极管的负极连接所述电路模块的第四端，第一二极管的正极连接第二二极管的负极；第二二极管的正极连接所述电路模块的第五端；所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端；第七双向开关的第二端连接第一二极管的正极，第七双向开关的第一端连接第八双向开关的第一端；第八双向开关的第二端连接所述电路模块的第二端；第九双向开关的第一端连接第二二极管的负极，第九双向开关的第二端连接第十双向开关的第二端；第十双向开关的第一端连接所述电路模块的第三端。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管、第五二极管、第六二极管、第七二极管、第八二极管、第九二极管和第十二二极管；

第一二极管的负极连接所述电路模块的第四端，第一二极管的正极连接第二二极管的负极；第二二极管的正极连接所述电路模块的第五端；所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端；第三二极管的负极同时连接第五二极管的负极和第七双向开关的第一端，第三二极管的正极连接第四二极管的负极；第四二极管的正极同时连接第六二极管的正极和第七双向开关的第二端；第三、第四二极管的公共端连接第一二极管的正极；第五二极管的正极连接第六二极管的负极；第五、第六二极管的公共端连接所述电路模块的第二端；第七二极管的负极同时连接第九二极管的负极和第八双向开关的第一端，第七二极管的正极

连接第八二极管的负极；第八二极管的正极同时连接第十二二极管的正极和第八双向开关的第二端；第七、第八二极管的公共端连接第二二极管的负极；第九二极管的正极连接第十二二极管的负极；第九、第十二二极管的公共端连接所述电路模块的第三端。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管、第五二极管、第六二极管、第七二极管、第八二极管、第九二极管和第十二二极管；

第一二极管的负极连接所述电路模块的第四端，第一二极管的正极连接第三二极管的负极；第三二极管的正极连接第四二极管的负极；第三二极管的负极同时连接第五二极管的负极和第七双向开关的第一端；第四二极管的正极同时连接第六二极管的正极和第七双向开关的第二端；第五二极管的正极连接第六二极管的负极；第五、第六二极管的公共端连接所述电路模块的第二端；第七二极管的负极同时连接第九二极管的负极和第八双向开关的第一端；第七二极管的正极连接第八二极管的负极，第八二极管的正极同时连接第十二二极管的正极和第八双向开关的第二端；第九二极管的正极连接第十二二极管的负极，第九、第十二二极管的公共端连接所述电路模块的第三端；第八二极管的正极还连接第二二极管的负极，第二二极管的正极连接所述电路模块的第五端；所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端同时连接第三、第四二极管的公共端和第七、第八二极管的公共端。

第二方面，本发明提供了一种单相五电平逆变器拓扑电路，适于和两个串联连接的直流电源一起使用，包括：一个半桥逆变器电路，该半桥逆变器电路用于输出五个互不相同的电平，包括零电平；该半桥逆变器电路包括一个悬浮电容，一个电路模块，六个开关电路支路；所述电路模块包括第一端、第二端和第三端，适于在控制信号的控制



下提供至少两种工作模式：三个端子中，仅导通第一端与第二端之间的连接；三个端子中，仅导通第一端与第三端之间的连接；

所述电路模块的第一端用于连接两个直流电源的公共端；第一开关电路支路的第一端连接用于第一直流电源的正极，第二端连接第二开关电路支路的第一端；第二开关电路支路的第二端用于连接第二直流电源的负极；第三开关电路支路的第一端同时连接所述电路模块的第二端和悬浮电容的正极，第三开关电路支路的第二端连接第四开关电路支路的第一端；第四开关电路支路的第二端同时连接所述电路模块的第三端和悬浮电容的负极；第三、第四开关电路支路的公共端连接第一、第二开关电路支路的公共端；第五开关电路支路的第一端连接悬浮电容正极，第二端连接第六开关电路支路的第一端；第六开关电路支路的第二端连接悬浮电容的负极；第五、第六开关电路支路的公共端连接第一交流电压输出端。

可选的，所述单相五电平逆变器拓扑电路进一步包括第一电感，其中，所述第一电感连接在第五、第六开关电路支路的公共端与第一交流电压输出端之间。

可选的，所述六个开关电路支路中的任意一个开关电路支路至少包括一个双向开关；其中，每个所述双向开关的第一端连接该双向开关所在开关电路支路的第一端，每个所述双向开关的第二端连接该双向开关所在开关电路支路的第二端。

可选的，所述两个直流电源的公共端连接第二交流电压输出端。

可选的，所述电路模块包括多个电路支路；三个端子中的任意两个端子之间设置有至少一个电路支路，各个电路支路适于在控制信号的控制下导通，提供所述的两种工作模式。

可选的，所述电路模块进一步包括一个限流装置。

可选的，所述限流装置包括以下一种或者几种的组合：电感；电阻；运行在有源模式或线性模式的半导体器件。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第十双向开关、第一二极管和第二二极管；

第七双向开关的第一端同时连接第九双向开关的第一端和第一二极管的负极；第九双向开关的第二端连接所述电路模块的第二端；第七双向开关的第二端连接第八双向开关的第一端，第八双向开关的第二端同时连接第二二极管的正极和第十双向开关的第二端；第十双向开关的第一端连接所述电路模块的第三端；第一二极管的正极连接第二二极管的负极；所述第二电感的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管和第四二极管；

第七双向开关的第一端同时连接第九双向开关的第一端和第一二极管的负极，第七双向开关的第二端连接第八双向开关的第一端；第八双向开关的第二端同时连接第二二极管的正极和第九双向开关的第二端；第一二极管正极连接第二二极管负极；第三二极管负极连接第九双向开关的第一端，第三二极管正极连接所述电路模块的第三端；第四二极管正极连接第九双向开关的第二端，第四二极管负极连接所述电路模块的第二端；所述第二电感的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第十双向开关、第十一双向开关和第十二双向开关；

第七双向开关的第一端同时连接第九双向开关的第一端和第十

一双向开关的第一端，第七双向开关的第二端连接第八双向开关的第一端；第八双向开关的第二端同时连接第十双向开关的第二端和第十二双向开关的第二端；第九双向开关的第二端连接第十双向开关的第一端；第十双向开关的第二端连接所述电路模块的第二端；第十二双向开关的第一端连接所述电路模块的第三端；所述第二电感的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第九、第十双向开关的公共端。

可选的，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第十双向开关和八个二极管；

第七双向开关的第一端同时连接第九双向开关的第一端和第一二极管的负极，第七双向开关的第二端连接第八双向开关的第一端；第八双向开关的第二端同时连接第六二极管的正极和第十双向开关的第二端；第一二极管正极连接第二二极管负极；第二二极管正极同时连接第四二极管正极和第九双向开关的第二端；第三二极管负极连接第九双向开关的第一端，第三二极管正极同时连接第四二极管负极和所述电路模块的第二端；第五二极管负极同时连接第十双向开关的第一端和第七二极管负极，第五二极管正极连接第六二极管负极；第七二极管负极连接第十双向开关的第一端，第七二极管正极同时连接第八二极管负极和所述电路模块的第三端；第八二极管正极连接第十双向开关的第二端；所述第二电感的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端同时连接第一、第二二极管的公共端和第五、第六二极管的公共端。

第三方面，本发明提供了一种三相五电平逆变器拓扑电路，包括三个第一方面提供的单相五电平逆变器拓扑电路；其中，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端用于一对一连接三相交流电网的三个交流

电压输出端。

第四方面，本发明提供了一种三相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，包括三个第二方面提供的单相五电平逆变器拓扑电路；其中，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端用于一对一连接三相交流电网的三个交流电压输出端。

第五方面，本发明提供了一种三相五电平逆变器拓扑电路，包括：

一个第一方面提供的单相五电平逆变器拓扑电路和两个第二方面提供的单相五电平逆变器拓扑电路；或者，

两个第一方面提供的单相五电平逆变器拓扑电路和一个第二方面提供的单相五电平逆变器拓扑电路；

其中，三个单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端用于一对一连接三相交流电网的三个交流电压输出端。

本发明提供的单相五电平逆变器拓扑电路包括一个半桥逆变器电路。该半桥逆变器电路含有一个悬浮电容并且输出五个互不相同的电平，包括零电平。该单相五电平逆变器拓扑电路采用五电平半桥结构，只需要一个交流滤波电感，因此降低了系统成本和体积，完全消除了漏电流，效率高。

本发明还公开了三相五电平逆变器拓扑电路。在相同的运行条件下，本发明提供的五电平逆变器拓扑电路的电压利用率是现有半桥五电平逆变器拓扑电路的两倍；而且不需要附加电路，直流侧中点电压就可以自动平衡。

本发明提供了一种五电平逆变器拓扑电路，可以用于，但不限于可再生能源系统，比如单相或光伏系统。

**附图说明**

为了更全面地理解本发明的技术方案，对后面的实施例或现有技术描述中所需要使用的附图进行介绍如下。通过参考附图会更加清楚地理解本发明的特征信息和优点，附图是示意性的而不应理解为对本发明进行任何限制，在附图中：

图1为本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路的电路原理部分方框图；

图2为本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M1的第一种电路原理示意图；

图3为本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M1的第二种电路原理示意图；

图4为本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M1的第三种电路原理示意图；

图5为本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M1的第四种电路原理示意图；

图6为本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M1的第五种电路原理示意图；

图7为本发明实施例提供的含有图2所示的电路模块M1的第一种单相五电平逆变器拓扑电路电路原理示意图；

图8为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电路的第一种工作模态示意图；

图9为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电路的第二种工作模态示意图；

图10为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电路的第三种工作模态示意图；

图11为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电路的第四种工作模态示意图；

图12为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电

路的第五种工作模态示意图；

图13为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电路的第六种工作模态示意图；

图14为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电路的第一种续流模态示意图；

图15为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电路的第二种续流模态示意图；

图16为本发明实施例提供的图7所示的单相五电平逆变器拓扑电路的调制模态示意图；

图17为本发明实施例提供的含有图3所示的电路模块M1的第一种单相五电平逆变器拓扑电路电路原理示意图；

图18为本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路的电路原理部分方框示意图；

图19为本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M2的第一种电路原理示意图；

图20为本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M2的第二种电路原理示意图；

图21为本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M2的第三种电路原理示意图；

图22为本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M2的第四种电路原理示意图；

图23为本发明实施例提供的含有图19所示的电路模块M2的第二种单相五电平逆变器拓扑电路电路原理示意图；

图24 (a) 为本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路的等效方框图。

图24 (b) 为本发明实施例提供的基于图24 (a) 所示电路的三相五电平逆变器拓扑电路的电路原理部分方框图。

图25 (a) 为本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路的等效方框图。

图25 (b) 为本发明实施例提供的基于图25 (a) 所示电路的三相五电平逆变器拓扑电路的电路原理部分方框图。

图26 (a) 为本发明实施例提供的基于图24 (a) 和图25 (a) 所示电路的第一种三相五电平逆变器拓扑电路的电路原理部分方框图。

图26 (b) 为本发明实施例提供的基于图24 (a) 和图25 (a) 所示电路的第二种三相五电平逆变器拓扑电路的电路原理部分方框图

为了叙述方便，在各个附图中同一元器件采用相同的参考标号。同一附图中相同的符号，比如“ $\nabla$ ”，“ $\perp$ ”表示相互连接在一起。

## 具体实施方式

本发明提供了一种高电压增益的五电平逆变器拓扑电路。为了使本技术领域的人员更好地理解本发明中的技术方案及其如何实现，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本发明保护的范围。

**如附图所示**，本发明中使用的术语“ $V_{dc}$ ”表示直流电源电压，M1或M2表示半桥逆变器电路中的电路模块， $C_1$ 表示充当第一直流电源的第一电容， $C_2$ 表示充当第二直流电源的第二电容， $C_s$ 表示悬浮电容。

为了叙述方便，逆变器交流输出电压的峰峰值与最小直流输入电压的比值定义为电压利用率。注意，二极管被用作代表单方向导通元件，但本发明中的单方向导通元件不限于二极管。二极管的正极指阳极，负极指阴极。本发明中的单方向导通元件也可以采用二极管之外的其它单方向导通器件。

为了叙述方便，开关MOSFET被用作代表本发明中的可控型（导通和关断）开关管，但本发明中的可控型元件不限定于MOSFET。以N沟道MOSFET为例进行说明。N沟道MOSFET的第一端指漏极，第二端指源极，控制端指栅极。本发明中的每个可控型元件的控制端施加一个驱动控制信号。简洁起见，后面不再赘述。本发明中的可控型元件也可以采用MOSFET之外的其它可控型开关管器件实现。

为了保证每个开关管中的电流双向流动，本发明中的每个开关管反向并联一个二极管。简洁起见，术语“双向开关”指电流可以双向流动但只能承受单向电压的半导体开关，比如带有反向并联二极管的IGBT，或内置并联二极管的MOSFET。

本发明提供的五电平逆变器拓扑电路，能够和两个串联连接的直流电源一起使用以解决上述的技术问题，至少包括：一个半桥逆变器电路。所述半桥逆变器电路能够输出五个互不相同的电平，其中包括零电平。所述半桥逆变器电路至少包括一个悬浮电容。所述悬浮电容由第一直流电源或第二直流电源充电。所述半桥逆变器电路由第一直流电源或者第二直流电源供电，或者，所述半桥逆变器电路由第一直流电源与悬浮电容代数叠加或者第二直流电源与悬浮电容代数叠加后供电。

根据本发明上述核心思想，结合附图对实施例进行详细阐述。

图1给出了第一种单相五电平逆变器拓扑电路。所述第一种单相五电平逆变器拓扑电路和两个串联连接的电容（第一电容 $C_1$ 、第二电容 $C_2$ ）连接。其中，第一电容 $C_1$ 作为第一直流电源，第二电容 $C_2$ 作为第二直流电源。所述第一种单相五电平逆变器拓扑电路包括第一电感 $L_1$ 和一个半桥逆变器电路。所述半桥逆变器电路输出五个互不相同的电平，包括零电平。所述第一电感 $L_1$ 用于滤除开关频率的谐波，从而获得几乎正弦的负载电流。

所述半桥逆变器电路包括一个悬浮电容 $C_s$ ，一个电路模块M1和



六个开关电路支路。每个开关电路支路至少包括一个双向开关。为了叙述方便，每个所述双向开关的下标符号和该双向开关所在的开关电路支路的顺序号相同，比如，第一开关电路支路中的双向开关为 $T_1$ 。

所述电路模块M1包括第一端、第二端、第三端、第四端和第五端；适于在控制信号的控制下提供至少四种工作模式：五个端子中，仅导通第一端与第二端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第三端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第四端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第五端之间的连接。具体来说，可以在所述电路模块M1的五个端子之间设置多个电路支路，各个电路支路能够在控制信号的控制下提供上述各个工作模式（比如可以在任意两个端子之间设置相应的电路支路，通过控制各个电路支路的开关状态，实现端子之间的互通，从而提供上述的四个工作模式）。

所述电路模块M1的第一端连接第一电容 $C_1$ 、第二电容 $C_2$ 的公共端，第四端连接第一电容 $C_1$ 的正极，第五端连接第二电容 $C_2$ 的负极。

所述电路模块M1的基本功能是（1）给悬浮电容 $C_s$ 充电，使其电压值等于或者非常接近于第一电容 $C_1$ （第二电容 $C_2$ ）电压；（2）当悬浮电容 $C_s$ 充电时，抑制冲击电流。所述电路模块M1的第一端和第二端之间的电路支路或者第一端和第三端之间的电路支路构成从第一电容 $C_1$ 或第二电容 $C_2$ 到悬浮电容 $C_s$ 之间的部分充电路径。

所述电路模块M1包括一个限流装置，比如一个电感，或电阻，或运行在有源模式或线性模式的半导体器件，或者它们的组合。如图2至图6所示，所述电路模块M1的限流装置是第二电感 $L_2$ 。

第一双向开关 $T_1$ 的第一端连接所述电路模块M1的第四端，第二端连接第二双向开关 $T_2$ 的第一端。第二双向开关 $T_2$ 的第二端连接所述电路模块M1的第五端。第三双向开关 $T_3$ 的第一端同时连接所述电路模块M1的第二端和悬浮电容 $C_s$ 的正极，第三双向开关 $T_3$ 的第二端连接第四双向开关 $T_4$ 的第一端。第四双向开关 $T_4$ 的第二端同时连接所述

电路模块M1的第三端和悬浮电容 $C_s$ 的负极。第三、第四双向开关的公共端连接第一、第二双向开关的公共端。第五双向开关 $T_5$ 的第一端连接悬浮电容 $C_s$ 正极，第二端连接第六双向开关 $T_6$ 的第一端。第六双向开关 $T_6$ 的第二端连接悬浮电容 $C_s$ 的负极。第五、第六双向开关的公共端通过第一电感 $L_1$ 连接交流电网或交流负载的第一端，作为一个交流电压输出端使用。第一电容 $C_1$ 和第二电容 $C_2$ 的公共端连接交流电网或交流负载的第二端，作为另一个交流电压输出端使用。

图2示出了本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M1的第一种电路原理示意图。所述电路模块M1包括第二电感 $L_2$ 、第七双向开关 $T_{27}$ 、第八双向开关 $T_{28}$ 、第一二极管 $D_{21}$ 、第二二极管 $D_{22}$ 、第三二极管 $D_{23}$ 和第四二极管 $D_{24}$ 。

第一二极管 $D_{21}$ 的负极连接所述电路模块M1的第四端，正极连接第二二极管 $D_{22}$ 的负极。第二二极管 $D_{22}$ 的正极连接所述电路模块M1的第五端。所述第二电感 $L_2$ 的一端连接所述电路模块M1的第一端，所述第二电感 $L_2$ 的另一端连接第一、第二二极管的公共端。第三二极管 $D_{23}$ 的正极连接第一二极管 $D_{21}$ 的正极，第三二极管 $D_{23}$ 的负极连接第七双向开关 $T_{27}$ 的第一端。第七双向开关 $T_{27}$ 的第二端连接所述电路模块M1的第二端。第四二极管 $D_{24}$ 的负极连接第二二极管 $D_{22}$ 的负极，第四二极管 $D_{24}$ 的正极连接第八双向开关 $T_{28}$ 的第二端。第八双向开关 $T_{28}$ 的第一端连接所述电路模块M1的第三端。

所述第二电感 $L_2$ 用于抑制悬浮电容 $C_s$ 充电时的冲击电流和续流。

图3示出了本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M1的第二种电路原理示意图。所述电路模块M1包括第二电感 $L_2$ 、第七双向开关 $T_{37}$ 和六个二极管 $D_{31} \sim D_{36}$ 。

第一二极管 $D_{31}$ 负极连接所述电路模块M1的第四端，正极连接第二二极管 $D_{32}$ 负极。第二二极管 $D_{32}$ 正极连接第三二极管 $D_{33}$ 负极。第三二极管 $D_{33}$ 正极连接第四二极管 $D_{34}$ 负极。第四二极管 $D_{34}$ 正极连接所述

电路模块M1的第五端。所述第二电感 $L_2$ 的一端连接所述电路模块M1的第一端,所述第二电感 $L_2$ 的另一端连接第二、第三二极管的公共端。第五二极管 $D_{35}$ 负极同时连接第二二极管 $D_{32}$ 负极和第七双向开关 $T_{37}$ 的第一端,第五二极管 $D_{35}$ 正极连接所述电路模块M1的第三端。第六二极管 $D_{36}$ 正极同时连接第三二极管 $D_{33}$ 正极和第七双向开关 $T_{37}$ 的第二端,第六二极管 $D_{36}$ 负极连接所述电路模块M1的第二端。

图4示出了本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M1的第三种电路原理示意图。所述电路模块M1包括第二电感 $L_2$ 、第七双向开关 $T_{47}$ 、第八双向开关 $T_{48}$ 、第九双向开关 $T_{49}$ 、第十双向开关 $T_{410}$ 、第一二极管 $D_{41}$ 和第二二极管 $D_{42}$ 。

第一二极管 $D_{41}$ 的负极连接所述电路模块M1的第四端,第一二极管 $D_{41}$ 的正极连接第二二极管 $D_{42}$ 的负极。第二二极管 $D_{42}$ 的正极连接所述电路模块M1的第五端。所述第二电感 $L_2$ 的一端连接所述电路模块M1的第一端,所述第二电感 $L_2$ 的另一端连接第一、第二二极管的公共端。第七双向开关 $T_{47}$ 的第二端连接第一二极管 $D_{41}$ 的正极,第七双向开关 $T_{47}$ 的第一端连接第八双向开关 $T_{48}$ 的第一端。第八双向开关 $T_{48}$ 的第二端连接所述电路模块M1的第二端。第九双向开关 $T_{49}$ 的第一端连接第二二极管 $D_{42}$ 的负极,第九双向开关 $T_{49}$ 的第二端连接第十双向开关 $T_{410}$ 的第二端。第十双向开关 $T_{410}$ 的第一端连接所述电路模块M1的第三端。

图5示出了本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M1的第四种电路原理示意图。所述电路模块M1包括第二电感 $L_2$ 、第七双向开关 $T_{57}$ 、第八双向开关 $T_{58}$ 和十个二极管 $D_{51}\sim D_{510}$ 。

第一二极管 $D_{51}$ 的负极连接所述电路模块M1的第四端,第一二极管 $D_{51}$ 的正极连接第二二极管 $D_{52}$ 的负极。第二二极管 $D_{52}$ 的正极连接所述电路模块M1的第五端。所述第二电感 $L_2$ 的一端连接所述电路模块

M1的第一端，所述第二电感 $L_2$ 的另一端连接第一、第二二极管的公共端。

第三二极管 $D_{53}$ 的负极同时连接第五二极管 $D_{55}$ 的负极和第七双向开关 $T_{57}$ 的第一端，第三二极管 $D_{53}$ 的正极连接第四二极管 $D_{54}$ 的负极。第四二极管 $D_{54}$ 的正极同时连接第六二极管 $D_{56}$ 的正极和第七双向开关 $T_{57}$ 的第二端。第三、第四二极管的公共端连接第一二极管 $D_{51}$ 的正极。第五二极管 $D_{55}$ 的正极连接第六二极管 $D_{56}$ 的负极。第五、第六二极管的公共端连接所述电路模块M1的第二端。

第七二极管 $D_{57}$ 的负极同时连接第九二极管 $D_{59}$ 的负极和第八双向开关 $T_{58}$ 的第一端，第七二极管 $D_{57}$ 的正极连接第八二极管 $D_{58}$ 的负极。第八二极管 $D_{58}$ 的正极同时连接第十二二极管 $D_{510}$ 的正极和第八双向开关 $T_{58}$ 的第二端。第七、第八二极管的公共端连接第二二极管 $D_{52}$ 的负极。第九二极管 $D_{59}$ 的正极连接第十二二极管 $D_{510}$ 的负极。第九、第十二二极管的公共端连接所述电路模块M1的第三端。

图6示出了本发明实施例提供的第一种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M1的第五种电路原理示意图。所述电路模块M1包括第二电感 $L_2$ 、第七双向开关 $T_{67}$ 、第八双向开关 $T_{68}$ 和十个二极管 $D_{61}\sim D_{610}$ 。

第一二极管 $D_{61}$ 的负极连接所述电路模块M1的第四端，第一二极管 $D_{61}$ 的正极连接第三二极管 $D_{63}$ 的负极。第三二极管 $D_{63}$ 的正极连接第四二极管 $D_{64}$ 的负极。第三二极管 $D_{63}$ 的负极同时连接第五二极管 $D_{65}$ 的负极和第七双向开关 $T_{67}$ 的第一端。第四二极管 $D_{64}$ 的正极同时连接第六二极管 $D_{66}$ 的正极和第七双向开关 $T_{67}$ 的第二端。第五二极管 $D_{65}$ 的正极连接第六二极管 $D_{66}$ 的负极。第五、第六二极管的公共端连接所述电路模块M1的第二端。

第七二极管 $D_{67}$ 的负极同时连接第九二极管 $D_{69}$ 的负极和第八双向开关 $T_{68}$ 的第一端。第七二极管 $D_{67}$ 的正极连接第八二极管 $D_{68}$ 的负

极, 第八二极管 $D_{68}$ 的正极同时连接第十二极管 $D_{610}$ 的正极和第八双向开关 $T_{68}$ 的第二端。第九二极管 $D_{69}$ 的正极连接第十二极管 $D_{610}$ 的负极, 第九、第十二极管的公共端连接所述电路模块M1的第三端。第八二极管 $D_{68}$ 的正极还连接第二二极管 $D_{62}$ 的负极, 第二二极管 $D_{62}$ 的正极连接所述电路模块M1的第五端。所述第二电感 $L_2$ 的一端连接所述电路模块M1的第一端, 所述第二电感 $L_2$ 的另一端同时连接第三、第四二极管的公共端和第七、第八二极管的公共端。

如图7所示, 以带有图2所示电路模块M1的单相五电平逆变器为例, 说明本发明提供的单相五电平逆变器的工作原理。下面给出了六个工作模态。

根据本实施例, 假设直流电源的直流输出电压为 $V_{dc}$ 。假定第一电容 $C_1$ 的电容值等于第二电容 $C_2$ 的电容值。显然, 本发明并不限定第一电容 $C_1$ 的电容值与第二电容 $C_2$ 的电容值之间的大小关系。根据本实施例的假定, 第一电容 $C_1$ 电压和第二电容 $C_2$ 电压都等于 $0.5V_{dc}$ 。由于悬浮电容 $C_s$ 由第一电容 $C_1$ 或第二电容 $C_2$ 充电, 因此, 所述悬浮电容电压也为 $0.5V_{dc}$ 。定义附图电路中的第一电感 $L_1$ 电流从左向右流动为正向电流, 反之为负向电流。

本发明实施例提供的单相五电平逆变器的第一工作模态如图8所示, 正向电流路径为:  $C_1 \rightarrow T_1 \rightarrow T_4 \rightarrow C_s \rightarrow T_5 \rightarrow L_1 \rightarrow G \rightarrow C_1$ ; 负向电流路径为:  $C_1 \rightarrow G \rightarrow L_1 \rightarrow T_5 \rightarrow C_s \rightarrow T_4 \rightarrow T_1 \rightarrow C_1$ 。逆变器输出电压 $U_{OX}$ 等于所述悬浮电容电压和第一电容电压之和, 即 $U_{OX} = V_{dc}/2 + V_{dc}/2 = V_{dc}$ 。

本发明实施例提供的单相五电平逆变器的第二工作模态如图9所示, 正向电流路径为:  $C_1 \rightarrow T_1 \rightarrow T_3 \rightarrow T_5 \rightarrow L_1 \rightarrow G \rightarrow C_1$ 。负向电流路径为:  $C_1 \rightarrow G \rightarrow L_1 \rightarrow T_5 \rightarrow T_3 \rightarrow T_1 \rightarrow C_1$ 。逆变器输出电压 $U_{OX}$ 等于第一电容电压, 即 $U_{OX} = V_{dc}/2$ 。

第二工作模态下, 悬浮电容 $C_s$ 由第一电容 $C_1$ 充电。充电回路为:  $C_1 \rightarrow T_1 \rightarrow T_3 \rightarrow C_s \rightarrow D_{24} \rightarrow T_{28} \rightarrow L_2 \rightarrow C_1$ 。

本发明实施例提供的单相五电平逆变器的第三工作模态如图10所示，正向电流路径为： $C_1 \rightarrow T_1 \rightarrow T_3 \rightarrow C_s \rightarrow T_6 \rightarrow L_1 \rightarrow G \rightarrow C_1$ 。负向电流路径为： $C_1 \rightarrow G \rightarrow L_1 \rightarrow T_6 \rightarrow C_s \rightarrow T_3 \rightarrow T_1 \rightarrow C_1$ 。逆变器输出电压 $U_{OX}$ 等于第一电容电压与负的悬浮电容电压之和，即 $U_{OX} = V_{dc}/2 + (-V_{dc}/2) = 0$ 。此时悬浮电容 $C_s$ 的充电回路和第二模态的充电回路相同。

本发明实施例提供的单相五电平逆变器的第四工作模态如图11所示，正向电流路径为： $L_2 \rightarrow D_{23} \rightarrow T_{27} \rightarrow T_5 \rightarrow L_1 \rightarrow G \rightarrow L_2$ 。此时悬浮电容 $C_s$ 的充电回路： $L_2 \rightarrow D_{23} \rightarrow T_{27} \rightarrow C_s \rightarrow T_4 \rightarrow T_2 \rightarrow C_2 \rightarrow L_2$ 。逆变器输出电压 $U_{OX}$ 等于悬浮电容电压与负的第二电容电压之和，即 $U_{OX} = V_{dc}/2 + (-V_{dc}/2) = 0$ 。

本发明实施例提供的单相五电平逆变器的第五工作模态如图12所示，正向电流路径为： $L_2 \rightarrow D_{23} \rightarrow T_{27} \rightarrow C_s \rightarrow T_6 \rightarrow L_1 \rightarrow G \rightarrow L_2$ 。此时第二电容 $C_2$ 为悬浮电容 $C_s$ 充电，充电回路和第四模态的充电回路相同。逆变器输出电压 $U_{OX}$ 等于负的悬浮电容电压，即 $U_{OX} = -V_{dc}/2$ 。

本发明实施例提供的单相五电平逆变器的第六工作模态如图13所示，正向电流路径为： $C_2 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3 \rightarrow C_s \rightarrow T_6 \rightarrow L_1 \rightarrow G \rightarrow C_2$ 。负向电流路径为： $C_2 \rightarrow G \rightarrow L_1 \rightarrow T_6 \rightarrow C_s \rightarrow T_3 \rightarrow T_2 \rightarrow C_2$ 。逆变器输出电压 $U_{OX}$ 等于负的悬浮电容电压与负的第二电容电压之和，即 $U_{OX} = (-V_{dc}/2) + (-V_{dc}/2) = -V_{dc}$ 。

通过控制相应的开关管导通或关断，图7所示的单相五电平逆变器在上述的六种工作模态下交替工作，从而获得需要的逆变输出电压。简洁起见，术语“A”、“B”、“C”、“D”、“E”、“F”分别被用来表示所述单相五电平逆变器的上述六个工作模态。

在第一工作模态下，所述单相五电平逆变器输出电压 $U_{OX}$ 等于所述悬浮电容电压和第一电容电压之和；在第六工作模态下，所述单相五电平逆变器输出电压 $U_{OX}$ 等于负的悬浮电容电压与负的第二电容电压之和。因此，在相同的运行条件下，所述单相五电平逆变器的电压

利用率是现有单相五电平半桥逆变器电压利用率的两倍。由于所述单相五电平逆变器输出五个包括零在内的相互不同的电平，因此纹波电压小于单相三电平逆变器的纹波电压。所以，第一电感 $L_1$ 的感抗小于单相三电平逆变器中的对应电感的感抗。

当双向开关 $T_{27}$ 和 $T_{28}$ 关断时，存在一个第二电感 $L_2$ 续流回路。当附图中的第二电感 $L_2$ 电流从左流向右时，续流回路为： $L_2 \rightarrow D_{21} \rightarrow C_1 \rightarrow L_2$ ，如图14所示；反之，续流回路为： $L_2 \rightarrow C_2 \rightarrow D_{22} \rightarrow L_2$ ，如图15所示。

图16给出了图7所示的单相五电平逆变器的第一种调制策略示意图。

如图16所示， $t_1$ - $t_2$ 时间段内，电网电压处于正半周。电网电压大于 $0.5V_{dc}$ 但小于 $V_{dc}$ ，所述单相五电平逆变器交替工作在第一工作模式A和第二工作模式B。

$t_4$ - $t_5$ 时间段内，电网电压处于负半周。电网电压处于负的 $0.5V_{dc}$ 和负的 $V_{dc}$ 之间，所述单相五电平逆变器交替工作在第五工作模式E和第六工作模式F。

$t_0$ - $t_1$ 和 $t_2$ - $t_3$ 时间段内，电网电压处于正半周。电网电压小于 $0.5V_{dc}$ 但大于零，所述单相五电平逆变器交替工作在第二工作模式B和第三工作模式C。

$t_3$ - $t_4$ 和 $t_5$ - $t_6$ 时间段内，电网电压处于负半周。电网电压处于负的 $0.5V_{dc}$ 和零之间，所述单相五电平逆变器交替工作在第四工作模式D和第五工作模式E。

通过对上述的调制策略分析可以看出， $t_0$ - $t_1$ 和 $t_2$ - $t_3$ 时间段内，电网电压处于正半周，悬浮电容 $C_s$ 由第一电容 $C_1$ 充电； $t_3$ - $t_4$ 和 $t_5$ - $t_6$ 时间段内，电网电压处于负半周，悬浮电容 $C_s$ 由第二电容 $C_2$ 充电。由于电网电压正负半周对称，因此，在正半周由第一电容 $C_1$ 转移到悬浮电容 $C_s$ 的电荷和在负半周由第二电容 $C_2$ 转移到悬浮电容 $C_s$ 的电荷相等。所以，第

一电容 $C_1$ 和第二电容 $C_2$ 之间的中点电压自动平衡。

图17给出了第一种单相五电平逆变器拓扑电路的另一个电路，包括图3所示的电路模块M1。它的工作原理和调制策略类似于图7所示的单相五电平逆变器。简洁起见，此处不再描述。

图18给出了第二种单相五电平逆变器拓扑电路。所述第二种单相五电平逆变器拓扑电路和两个串联连接的电容（第一电容 $C_1$ 、第二电容 $C_2$ ）连接。其中，第一电容 $C_1$ 作为第一直流电源，第二电容 $C_2$ 作为第二直流电源。所述第二种单相五电平逆变器拓扑电路包括第一电感 $L_1$ 和一个半桥逆变器电路。所述半桥逆变器电路输出五个互不相同的电平，包括零电平。所述第一电感 $L_1$ 用于滤除开关频率的谐波，从而获得几乎正弦的负载电流。

所述半桥逆变器电路包括一个悬浮电容 $C_s$ ，一个电路模块M2和六个开关电路支路。每个开关电路支路至少包括一个双向开关。为了叙述方便，每个所述双向开关的下标符号和该双向开关所在的开关电路支路的顺序号相同，比如，第一开关电路支路中的双向开关为 $T_1$ 。

所述电路模块M2包括第一端、第二端和第三端。所述电路模块M2的三个端子，适于在控制信号的控制下提供至少两种工作模式：三个端子中，仅导通第一端与第二端之间的连接；三个端子中，仅导通第一端与第三端之间的连接；在具体实施时，可以在电路模块M2中设置多个电路支路；各个电路支路对应连接在三个端子之间，适于在控制信号的控制下提供上述各个工作模式（比如，任意两个端子之间至少有一个电路支路，通过对电路支路施加对应的控制信号，使得任意两个端子之间可以相互导通，从而提供上述的两种工作模式）。所述电路模块M2的第一端连接第一电容 $C_1$ 、第二电容 $C_2$ 的公共端。

所述电路模块M2的基本功能是（1）给悬浮电容 $C_s$ 充电，使其电压值等于或者非常接近于第一电容 $C_1$ （第二电容 $C_2$ ）电压；（2）当悬浮电容 $C_s$ 充电时，抑制冲击电流。所述电路模块M2的第一端和第二



端之间的电路支路或者第一端和第三端之间的电路支路构成从第一电容 $C_1$ 或第二电容 $C_2$ 到悬浮电容 $C_s$ 之间的部分充电路径。

所述电路模块M2包括一个限流装置，比如一个电感，或电阻，或运行在有源模式或线性模式的半导体器件，或者它们的组合。如图19至图22所示，所述电路模块M2的限流装置是第二电感 $L_2$ 。

第一双向开关 $T_1$ 的第一端连接所述第一电容 $C_1$ 正极，第二端连接第二双向开关 $T_2$ 的第一端。第二双向开关 $T_2$ 的第二端连接所述第二电容 $C_2$ 负极。第三双向开关 $T_3$ 的第一端同时连接所述电路模块M2的第二端和悬浮电容 $C_s$ 的正极，第三双向开关 $T_3$ 的第二端连接第四双向开关 $T_4$ 的第一端。第四双向开关 $T_4$ 的第二端同时连接所述电路模块M2的第三端和悬浮电容 $C_s$ 的负极。第三、第四双向开关的公共端连接第一、第二双向开关的公共端。第五双向开关 $T_5$ 的第一端连接悬浮电容 $C_s$ 正极，第二端连接第六双向开关 $T_6$ 的第一端。第六双向开关 $T_6$ 的第二端连接悬浮电容 $C_s$ 的负极。第五、第六双向开关的公共端通过第一电感 $L_1$ 连接交流电网或交流负载的第一端。第一电容 $C_1$ 和第二电容 $C_2$ 的公共端连接交流电网或交流负载的第二端。

图19示出了本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M2的第一种电路原理示意图。所述电路模块M2包括第二电感 $L_2$ 、第七双向开关 $T_{197}$ 、第八双向开关 $T_{198}$ 、第九双向开关 $T_{199}$ 、第十双向开关 $T_{1910}$ 、第一二极管 $D_{191}$ 和第二二极管 $D_{192}$ 。

第七双向开关 $T_{197}$ 的第一端同时连接第九双向开关 $T_{199}$ 的第一端和第一二极管 $D_{191}$ 的负极。第九双向开关 $T_{199}$ 的第二端连接所述电路模块M2的第二端。第七双向开关 $T_{197}$ 的第二端连接第八双向开关 $T_{198}$ 的第一端，第八双向开关 $T_{198}$ 的第二端同时连接第二二极管 $D_{192}$ 的正极和第十双向开关 $T_{1910}$ 的第二端。第十双向开关 $T_{1910}$ 的第一端连接所述电路模块M2的第三端。第一二极管 $D_{191}$ 的正极连接第二二极管 $D_{192}$ 的负极。所述第二电感 $L_2$ 的一端同时连接第七、第八双向开关的公共

端和所述电路模块M2的第一端，所述第二电感L<sub>2</sub>的另一端连接第一、第二二极管的公共端。

图20示出了本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M2的第二种电路原理示意图。所述电路模块M2包括第二电感L<sub>2</sub>、第七双向开关T<sub>207</sub>、第八双向开关T<sub>208</sub>、第九双向开关T<sub>209</sub>、第一二极管D<sub>201</sub>、第二二极管D<sub>202</sub>、第三二极管D<sub>203</sub>和第四二极管D<sub>204</sub>。

第七双向开关T<sub>207</sub>的第一端同时连接第九双向开关T<sub>209</sub>的第一端和第一二极管D<sub>201</sub>的负极，第七双向开关T<sub>207</sub>的第二端连接第八双向开关T<sub>208</sub>的第一端。第八双向开关T<sub>208</sub>的第二端同时连接第二二极管D<sub>202</sub>的正极和第九双向开关T<sub>209</sub>的第二端。第一二极管D<sub>201</sub>正极连接第二二极管D<sub>202</sub>负极。第三二极管D<sub>203</sub>负极连接第九双向开关T<sub>209</sub>的第一端，第三二极管D<sub>203</sub>正极连接所述电路模块M2的第三端。第四二极管D<sub>204</sub>正极连接第九双向开关T<sub>209</sub>的第二端，第四二极管D<sub>204</sub>负极连接所述电路模块M2的第二端。所述第二电感L<sub>2</sub>的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块M2的第一端，所述第二电感L<sub>2</sub>的另一端连接第一、第二二极管的公共端。

图21示出了本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M2的第三种电路原理示意图。所述电路模块M2包括第二电感L<sub>2</sub>和六个双向开关T<sub>217</sub>~T<sub>2112</sub>。

第七双向开关T<sub>217</sub>的第一端同时连接第九双向开关T<sub>219</sub>的第一端和第十双向开关T<sub>2110</sub>的第一端，第七双向开关T<sub>217</sub>的第二端连接第八双向开关T<sub>218</sub>的第一端。第八双向开关T<sub>218</sub>的第二端同时连接第十双向开关T<sub>2110</sub>的第二端和第十二双向开关T<sub>2112</sub>的第二端。第九双向开关T<sub>219</sub>的第二端连接第十双向开关T<sub>2110</sub>的第一端。第十双向开关T<sub>2110</sub>的第二端连接所述电路模块M2的第二端。第十二双向开关T<sub>2112</sub>的第一端连接所述电路模块M2的第三端。所述第二电感L<sub>2</sub>的一端同时连

接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块M2的第一端，所述第二电感 $L_2$ 的另一端连接第九、第十双向开关的公共端。

图22示出了本发明实施例提供的第二种单相五电平逆变器拓扑电路的所述电路模块M2的第四种电路原理示意图。所述电路模块M2包括第二电感 $L_2$ 、第七双向开关 $T_{227}$ 、第八双向开关 $T_{228}$ 、第九双向开关 $T_{229}$ 、第十双向开关 $T_{2210}$ 和八个二极管 $D_{221} \sim D_{228}$ 。

第七双向开关 $T_{227}$ 的第一端同时连接第九双向开关 $T_{229}$ 的第一端和第一二极管 $D_{221}$ 的负极，第七双向开关 $T_{227}$ 的第二端连接第八双向开关 $T_{228}$ 的第一端。第八双向开关 $T_{228}$ 的第二端同时连接第六二极管 $D_{226}$ 的正极和第十双向开关 $T_{2210}$ 的第二端。

第一二极管 $D_{221}$ 正极连接第二二极管 $D_{222}$ 负极。第二二极管 $D_{222}$ 正极同时连接第四二极管 $D_{224}$ 正极和第九双向开关 $T_{229}$ 的第二端。第三二极管 $D_{223}$ 负极连接第九双向开关 $T_{229}$ 的第一端，第三二极管 $D_{223}$ 正极同时连接第四二极管 $D_{224}$ 负极和所述电路模块M2的第二端。

第五二极管 $D_{225}$ 负极同时连接第十双向开关 $T_{2210}$ 的第一端和第七二极管 $D_{227}$ 负极，第五二极管 $D_{225}$ 正极连接第六二极管 $D_{226}$ 负极。第七二极管 $D_{227}$ 负极连接第十双向开关 $T_{2210}$ 的第一端，第七二极管 $D_{227}$ 正极同时连接第八二极管 $D_{228}$ 负极和所述电路模块M2的第三端。第八二极管 $D_{228}$ 正极连接第十双向开关 $T_{2210}$ 的第二端。

所述第二电感 $L_2$ 的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块M2的第一端，所述第二电感 $L_2$ 的另一端同时连接第一、第二二极管的公共端和第五、第六二极管的公共端。

图18所示的第二种单相五电平逆变器拓扑电路的工作原理类似于图1所示的第一种单相五电平逆变器拓扑电路。参考第一种单相五电平逆变器拓扑电路的工作模态和调制策略分析，不难对第二种单相五电平逆变器拓扑电路进行类似分析。简洁起见，此处不再描述。但是，第二种单相五电平逆变器拓扑电路中的第二电感 $L_2$ 的续流回路不

同于第一种单相五电平逆变器拓扑电路。

图23给出了含有图19所示电路模块M2的第二种单相五电平逆变器电路。以图23所示的逆变器电路为例说明第二电感 $L_2$ 的续流回路。当第二电感 $L_2$ 电流从左流向右时，续流回路为： $L_2 \rightarrow D_{191} \rightarrow T_{197} \rightarrow L_2$ ，反之，续流回路为： $L_2 \rightarrow T_{198} \rightarrow D_{192} \rightarrow L_2$ 。

不管是第一种单相五电平逆变器拓扑电路还是第二种单相五电平逆变器拓扑电路，都只需要一个交流滤波电感，因此，降低了系统成本和减小了系统体积。同时，由于输入侧没有附加升压电路且采用五电平拓扑电路，因此效率高。而且，由于采用了半桥逆变器电路，所以完全消除了漏电流。在相同的运行条件下，本发明提供的单相五电平逆变器的电压利用率和单相全桥五电平逆变器（比如H5，Heric，H6）的电压利用率相同，即现有单相半桥五电平逆变器的两倍。

图24(a)是第一种单相五电平逆变器拓扑电路的等效方框图。如图24(a)所示，定义电路模块M1的第四端为第一种单相五电平逆变器拓扑电路的第一直流输入端 $I_1$ ，类似地，电路模块M1的第一端为其第二直流输入端 $I_2$ ，电路模块M1的第五端为其第三直流输入端 $I_3$ 。

图24(b)是基于图24(a)中的等效电路的第一种三相五电平逆变器拓扑电路的部分方框电路图。如图24(b)所示，所述第一种三相五电平逆变器拓扑电路包括三个第一种单相五电平逆变器拓扑电路。所述三个第一种单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接。也就是说，所述三个第一种单相五电平逆变器拓扑电路的第一直流输入端 $I_1$ 均连接第一电容 $C_1$ 正极，第二直流输入端 $I_2$ 均连接第一电容 $C_1$ 与第二电容 $C_2$ 的公共端，第三直流输入端 $I_3$ 均连接第二电容 $C_2$ 负极。所述三个第一种单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端与三相交流电网或交流负载接入端一一对应连接。

所述三个第一种单相五电平逆变器拓扑电路中的每个电路模块M1可以采用图2至图6所示的任一个电路。这三个电路模块M1优先选

择相同的电路以便于集成，比如，都采用图3所示的电路。

图25(a)是第二种单相五电平逆变器拓扑电路的等效方框图。如图25(a)所示，定义第一开关电路支路( $T_1$ )的第一端为第二种单相五电平逆变器拓扑电路的第一直流输入端 $I_1$ ，类似地，电路模块M2的第一端为其第二直流输入端 $I_2$ ，第二开关电路支路( $T_2$ )的第二端为其第三直流输入端 $I_3$ 。

图25(b)是基于图25(a)中的等效电路的第二种三相五电平逆变器拓扑电路的部分方框电路图。如图25(b)所示，所述第二种三相五电平逆变器拓扑电路包括三个第二种单相五电平逆变器拓扑电路。所述三个第二种单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接。也就是说，所述三个第二种单相五电平逆变器拓扑电路的第一直流输入端 $I_1$ 均连接第一电容 $C_1$ 正极，第二直流输入端 $I_2$ 均连接第一电容 $C_1$ 与第二电容 $C_2$ 的公共端，第三直流输入端 $I_3$ 均连接第二电容 $C_2$ 负极。所述三个第二种单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端与三相交流电网或交流负载接入端一一对应连接。

所述三个第二种单相五电平逆变器拓扑电路中的每个电路模块M2可以采用图19至图22所示的任一个电路。这三个电路模块M2优先选择相同的电路以便于集成，比如，都采用图19所示的电路。

图26(a)是基于图24(a)和图25(a)中的等效电路的第三种三相五电平逆变器拓扑电路的部分方框电路图。如图26(a)所示，所述第三种三相五电平逆变器拓扑电路包括一个第一种单相五电平逆变器拓扑电路和两个第二种单相五电平逆变器拓扑电路。所述三个单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接。也就是说，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的第一直流输入端 $I_1$ 均连接第一电容 $C_1$ 正极，第二直流输入端 $I_2$ 均连接第一电容 $C_1$ 与第二电容 $C_2$ 的公共端，第三直流输入端 $I_3$ 均连接第二电容 $C_2$ 负极。所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端与三相交流电网或交流负载接入端一一对应连接。

图26(b)是基于图24(a)和图25(a)中的等效电路的第四种三相五电平逆变器拓扑电路的部分方框电路图。如图26(b)所示,所述第四种三相五电平逆变器拓扑电路包括两个第一种单相五电平逆变器拓扑电路和一个第二种单相五电平逆变器拓扑电路。所述三个单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接。也就是说,所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的第一直流输入端 $I_1$ 均连接第一电容 $C_1$ 正极,第二直流输入端 $I_2$ 均连接第一电容 $C_1$ 与第二电容 $C_2$ 的公共端,第三直流输入端 $I_3$ 均连接第二电容 $C_2$ 负极。所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端与三相交流电网或交流负载接入端一一对应连接。

图26(a)和图26(b)所示三相五电平逆变器拓扑电路中的电路模块M1可以采用图2至图6所示的任一个电路,电路模块M2可以采用图19至图22所示的任一个电路。

注意,实际应用中广泛使用三相交流电压,因此,以三相五电平逆变器拓扑电路为例进行说明。采用上述方法,本领域的普通技术人员不难获得其它多相结构,比如四相,五相等。

在相同的运行条件下,本发明提供的三相五电平逆变器的电压利用率是现有三相五电平半桥逆变器的两倍,因此其电流减小了一半。所以,本发明提供的三相五电平逆变器采用的器件成本低,交流滤波感抗小。

本发明提供的五电平逆变器拓扑电路,可以用于,但不限于可再生能源系统,比如单相或三相并网光伏系统。

本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同或相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。

需要说明的是,在本文中,诸如“第一”和“第二”,“上”和“下”等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这

种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备同时还存在另外的其它要素。

以上所述仅是本发明的具体实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，比如，根据本实施例中的拓扑电路电路利用对称特性得到的拓扑电路，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

## 权 利 要 求 书

1. 一种单相五电平逆变器拓扑电路，适于和两个串联连接的直流电源一起使用，其特征在于，包括：一个半桥逆变器电路，用于输出五个互不相同的电平，包括零电平；所述半桥逆变器电路至少包括一个悬浮电容，一个电路模块，六个开关电路支路；

所述电路模块包括第一端、第二端、第三端、第四端和第五端，适于在控制信号的控制下提供至少四种工作模式：五个端子中，仅导通第一端与第二端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第三端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第四端之间的连接；五个端子中，仅导通第一端与第五端之间的连接；

所述电路模块的第一端用于连接两个直流电源的公共端，第四端用于连接第一直流电源的正极，第五端用于连接第二直流电源的负极；

第一开关电路支路的第一端用于连接第一直流电源的正极，第二端连接第二开关电路支路的第一端；第二开关电路支路的第二端用于连接第二直流电源的负极；第三开关电路支路的第一端同时连接所述电路模块的第二端和悬浮电容的正极，第三开关电路支路的第二端连接第四开关电路支路的第一端；第四开关电路支路的第二端同时连接所述电路模块的第三端和悬浮电容的负极；第三、第四开关电路支路的公共端连接第一、第二开关电路支路的公共端；第五开关电路支路的第一端连接悬浮电容正极，第二端连接第六开关电路支路的第一端；第六开关电路支路的第二端用于连接悬浮电容的负极；第五、第六开关电路支路的公共端用于连接第一交流电压输出端。

2. 根据权利要求1所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，进一步包括第一电感，其中，第五、第六开关电路支路的公共端具体通过第一电感连接第一交流电压输出端。

3. 根据权利要求1所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在



于,所述六个开关电路支路中的任意一个开关电路支路至少包括一个双向开关;其中,每个所述双向开关的第一端连接该双向开关所在开关电路支路的第一端,每个所述双向开关的第二端连接该双向开关所在开关电路支路的第二端。

4. 根据权利要求1所述的单相五电平逆变器拓扑电路,其特征在于,

所述两个直流电源的公共端连接第二交流电压输出端。

5. 根据权利要求1所述的单相五电平逆变器拓扑电路,其特征在于,

所述电路模块包括多个电路支路;五个端子中的任意两个端子之间设置有至少一个电路支路,各个电路支路适于在控制信号的控制下导通,提供所述的四种工作模式。

6. 根据权利要求5所述的单相五电平逆变器拓扑电路,其特征在于,所述电路模块进一步包括一个限流装置。

7. 根据权利要求6所述的单相五电平逆变器拓扑电路,其特征在于,所述限流装置包括以下一种或者几种的组合:电感;电阻;运行在有源模式或线性模式的半导体器件。

8. 根据权利要求6所述的单相五电平逆变器拓扑电路,其特征在于,所述限流装置包括第二电感;所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管和第四二极管;

第一二极管的负极连接所述电路模块的第四端,正极连接第二二极管的负极;第二二极管的正极连接所述电路模块的第五端;所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端,所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端;第三二极管的正极连接第一二极管的正极,第三二极管的负极连接第七双向开关的第一端;第七双向开关的第二端连接所述电路模块的第二端;第四二极管的负极连接第二二极管的负极,第四二极管的正极连接第八双向开关的第二端;第八双

向开关的第一端连接所述电路模块的第三端。

9. 根据权利要求6所述的单相五电平逆变器拓扑电路, 其特征在于, 所述限流装置包括第二电感; 所述电路模块还包括第七双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管、第五二极管和第六二极管;

第一二极管负极连接所述电路模块的第四端, 正极连接第二二极管负极; 第二二极管正极连接第三二极管负极; 第三二极管正极连接第四二极管负极; 第四二极管正极连接所述电路模块的第五端; 所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端, 所述第二电感的另一端连接第二、第三二极管的公共端; 第五二极管负极同时连接第二二极管负极和第七双向开关的第一端, 第五二极管正极连接所述电路模块的第三端; 第六二极管正极同时连接第三二极管正极和第七双向开关的第二端, 第六二极管负极连接所述电路模块的第二端。

10. 根据权利要求6所述的单相五电平逆变器拓扑电路, 其特征在于, 所述限流装置包括第二电感; 所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第十双向开关、第一二极管和第二二极管;

第一二极管的负极连接所述电路模块的第四端, 第一二极管的正极连接第二二极管的负极; 第二二极管的正极连接所述电路模块的第五端; 所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端, 所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端; 第七双向开关的第二端连接第一二极管的正极, 第七双向开关的第一端连接第八双向开关的第一端; 第八双向开关的第二端连接所述电路模块的第二端; 第九双向开关的第一端连接第二二极管的负极, 第九双向开关的第二端连接第十双向开关的第二端; 第十双向开关的第一端连接所述电路模块的第三端。

11. 根据权利要求6所述的单相五电平逆变器拓扑电路, 其特征

在于，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管、第五二极管、第六二极管、第七二极管、第八二极管、第九二极管和第十二二极管；

第一二极管的负极连接所述电路模块的第四端，第一二极管的正极连接第二二极管的负极；第二二极管的正极连接所述电路模块的第五端；所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端；第三二极管的负极同时连接第五二极管的负极和第七双向开关的第一端，第三二极管的正极连接第四二极管的负极；第四二极管的正极同时连接第六二极管的正极和第七双向开关的第二端；第三、第四二极管的公共端连接第一二极管的正极；第五二极管的正极连接第六二极管的负极；第五、第六二极管的公共端连接所述电路模块的第二端；第七二极管的负极同时连接第九二极管的负极和第八双向开关的第一端，第七二极管的正极连接第八二极管的负极；第八二极管的正极同时连接第十二二极管的正极和第八双向开关的第二端；第七、第八二极管的公共端连接第二二极管的负极；第九二极管的正极连接第十二二极管的负极；第九、第十二二极管的公共端连接所述电路模块的第三端。

12. 根据权利要求 6 所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第四二极管、第五二极管、第六二极管、第七二极管、第八二极管、第九二极管和第十二二极管；

第一二极管的负极连接所述电路模块的第四端，第一二极管的正极连接第三二极管的负极；第三二极管的正极连接第四二极管的负极；第三二极管的负极同时连接第五二极管的负极和第七双向开关的第一端；第四二极管的正极同时连接第六二极管的正极和第七双

向开关的第二端；第五二极管的正极连接第六二极管的负极；第五、第六二极管的公共端连接所述电路模块的第二端；第七二极管的负极同时连接第九二极管的负极和第八双向开关的第一端；第七二极管的正极连接第八二极管的负极，第八二极管的正极同时连接第十二二极管的正极和第八双向开关的第二端；第九二极管的正极连接第十二二极管的负极，第九、第十二二极管的公共端连接所述电路模块的第三端；第八二极管的正极还连接第二二极管的负极，第二二极管的正极连接所述电路模块的第五端；所述第二电感的一端连接所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端同时连接第三、第四二极管的公共端和第七、第八二极管的公共端。

13. 一种单相五电平逆变器拓扑电路，适于和两个串联连接的直流电源一起使用，其特征在于，包括：一个半桥逆变器电路，该半桥逆变器电路用于输出五个互不相同的电平，包括零电平；该半桥逆变器电路包括一个悬浮电容，一个电路模块，六个开关电路支路；所述电路模块包括第一端、第二端和第三端，适于在控制信号的控制下提供至少两种工作模式：三个端子中，仅导通第一端与第二端之间的连接；三个端子中，仅导通第一端与第三端之间的连接；

所述电路模块的第一端用于连接两个直流电源的公共端；第一开关电路支路的第一端用于连接第一直流电源的正极，第二端连接第二开关电路支路的第一端；第二开关电路支路的第二端用于连接第二直流电源的负极；第三开关电路支路的第一端同时连接所述电路模块的第二端和悬浮电容的正极，第三开关电路支路的第二端连接第四开关电路支路的第一端；第四开关电路支路的第二端同时连接所述电路模块的第三端和悬浮电容的负极；第三、第四开关电路支路的公共端连接第一、第二开关电路支路的公共端；第五开关电路支路的第一端连接悬浮电容正极，第二端连接第六开关电路支路的第一端；第六开关电路支路的第二端连接悬浮电容的负极；第五、第六开关电路支路的

公共端连接第一交流电压输出端。

14. 根据权利要求13所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，进一步包括第一电感，其中，所述第一电感连接在第五、第六开关电路支路的公共端与第一交流电压输出端之间。

15. 根据权利要求13所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述六个开关电路支路中的任意一个开关电路支路至少包括一个双向开关；其中，每个所述双向开关的第一端连接该双向开关所在开关电路支路的第一端，每个所述双向开关的第二端连接该双向开关所在开关电路支路的第二端。

16. 根据权利要求13所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述两个直流电源的公共端连接第二交流电压输出端。

17. 根据权利要求13所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述电路模块包括多个电路支路；三个端子中的任意两个端子之间设置有至少一个电路支路，各个电路支路适于在控制信号的控制下导通，提供所述的两种工作模式。

18. 根据权利要求17所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述电路模块进一步包括一个限流装置。

19. 根据权利要求18所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述限流装置包括以下一种或者几种的组合：电感；电阻；运行在有源模式或线性模式的半导体器件。

20. 根据权利要求18所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第十双向开关、第一二极管和第二二极管；

第七双向开关的第一端同时连接第九双向开关的第一端和第一二极管的负极；第九双向开关的第二端连接所述电路模块的第二端；第七双向开关的第二端连接第八双向开关的第一端，第八双向开关的

第二端同时连接第二二极管的正极和第十双向开关的第二端；第十双向开关的第一端连接所述电路模块的第三端；第一二极管的正极连接第二二极管的负极；所述第二电感的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端。

21. 根据权利要求18所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第一二极管、第二二极管、第三二极管和第四二极管；

第七双向开关的第一端同时连接第九双向开关的第一端和第一二极管的负极，第七双向开关的第二端连接第八双向开关的第一端；第八双向开关的第二端同时连接第二二极管的正极和第九双向开关的第二端；第一二极管正极连接第二二极管负极；第三二极管负极连接第九双向开关的第一端，第三二极管正极连接所述电路模块的第三端；第四二极管正极连接第九双向开关的第二端，第四二极管负极连接所述电路模块的第二端；所述第二电感的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第一、第二二极管的公共端。

22. 根据权利要求18所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第十双向开关、第十一双向开关和第十二双向开关；

第七双向开关的第一端同时连接第九双向开关的第一端和第十一双向开关的第一端，第七双向开关的第二端连接第八双向开关的第一端；第八双向开关的第二端同时连接第十双向开关的第二端和第十二双向开关的第二端；第九双向开关的第二端连接第十双向开关的第一端；第十一双向开关的第二端连接所述电路模块的第二端；

第十二双向开关的第一端连接所述电路模块的第三端；所述第二电感的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端连接第九、第十双向开关的公共端。

23. 根据权利要求18所述的单相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，所述限流装置包括第二电感；所述电路模块还包括第七双向开关、第八双向开关、第九双向开关、第十双向开关和八个二极管；

第七双向开关的第一端同时连接第九双向开关的第一端和第一二极管的负极，第七双向开关的第二端连接第八双向开关的第一端；第八双向开关的第二端同时连接第六二极管的正极和第十双向开关的第二端；第一二极管正极连接第二二极管负极；第二二极管正极同时连接第四二极管正极和第九双向开关的第二端；第三二极管负极连接第九双向开关的第一端，第三二极管正极同时连接第四二极管负极和所述电路模块的第二端；第五二极管负极同时连接第十双向开关的第一端和第七二极管负极，第五二极管正极连接第六二极管负极；第七二极管负极连接第十双向开关的第一端，第七二极管正极同时连接第八二极管负极和所述电路模块的第三端；第八二极管正极连接第十双向开关的第二端；所述第二电感的一端同时连接第七、第八双向开关的公共端和所述电路模块的第一端，所述第二电感的另一端同时连接第一、第二二极管的公共端和第五、第六二极管的公共端。

24. 一种三相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，包括三个权利要求1至12任一项所述的单相五电平逆变器拓扑电路；其中，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端用于一对一连接三相交流电网的三个交流电压输出端。

25. 一种三相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，包括三个权利要求13至23任一项所述的单相五电平逆变器拓扑电路；其中，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接，所述三个单

相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端用于一对一连接三相交流电网的三个交流电压输出端。

26. 一种三相五电平逆变器拓扑电路，其特征在于，包括：  
一个权利要求 1 至 12 任一项所述的单相五电平逆变器拓扑电路和两个权利要求 13 至 23 任一项所述的单相五电平逆变器拓扑电路；或者，两个权利要求 1 至 12 任一项所述的单相五电平逆变器拓扑电路和一个权利要求 13 至 23 任一项所述的单相五电平逆变器拓扑电路；

其中，三个单相五电平逆变器拓扑电路输入侧并联连接，所述三个单相五电平逆变器拓扑电路的交流输出端用于一对一连接三相交流电网的三个交流电压输出端。



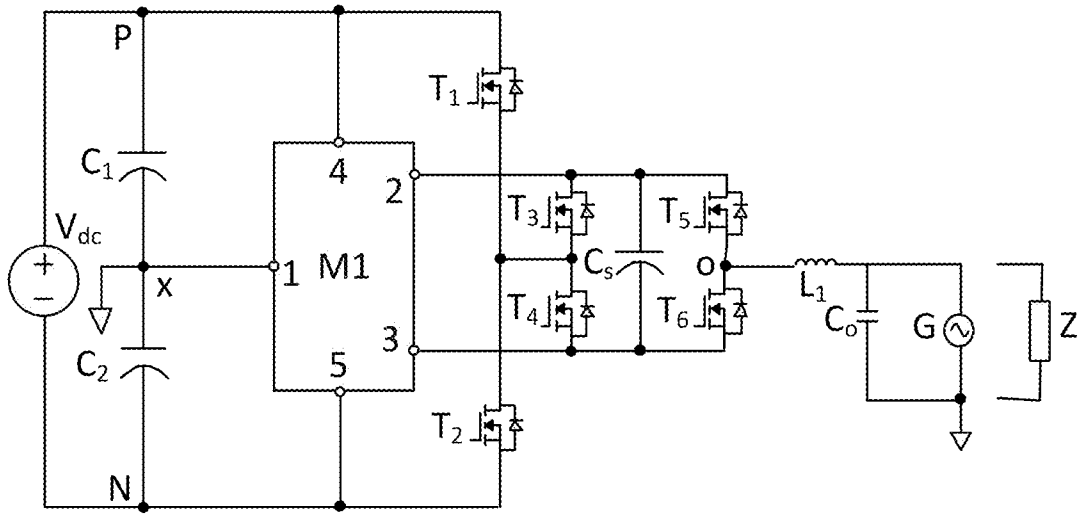


图 1

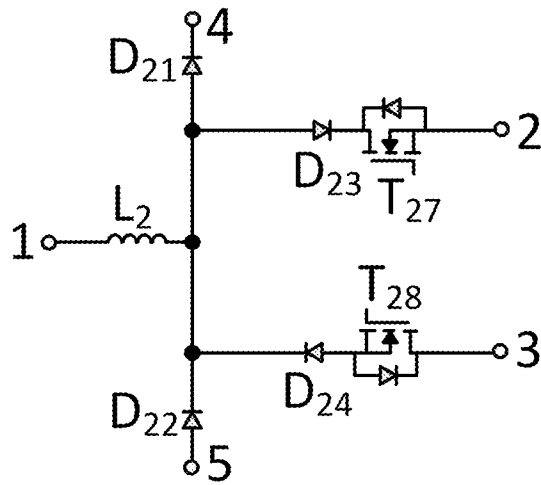


图 2

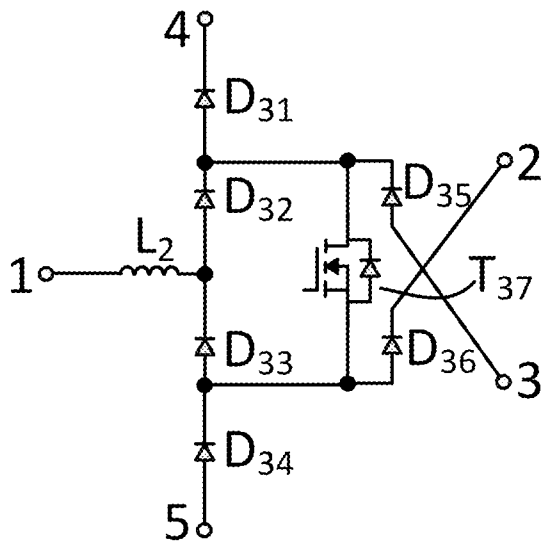


图 3

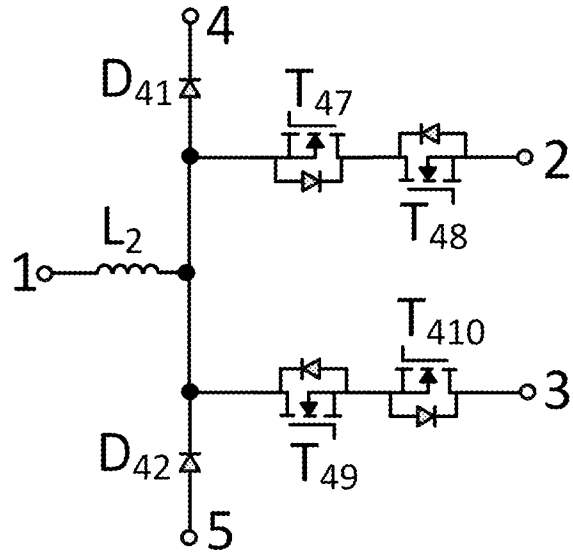


图 4

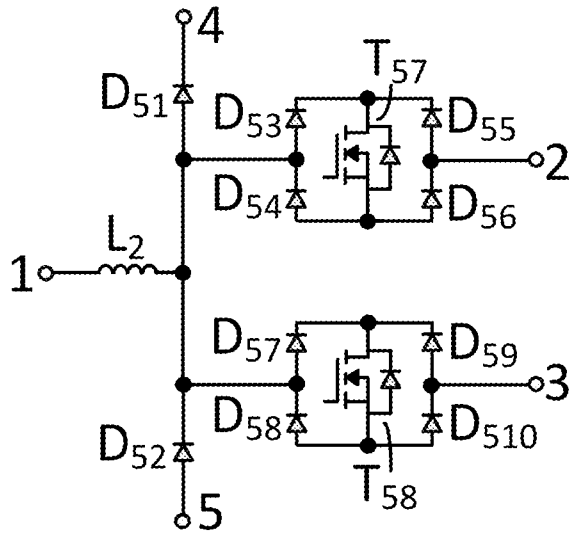


图 5

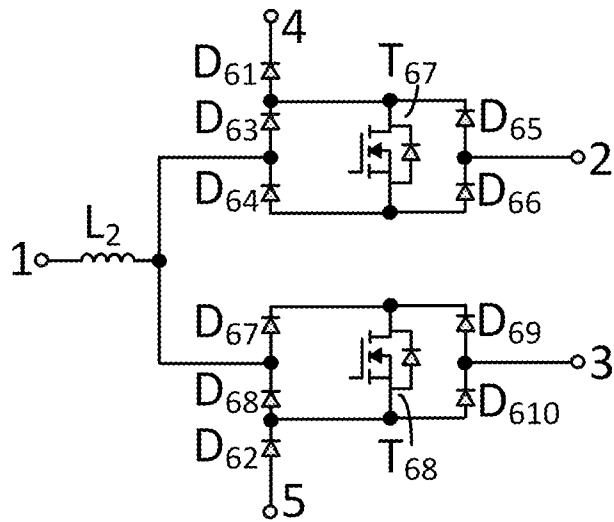


图 6

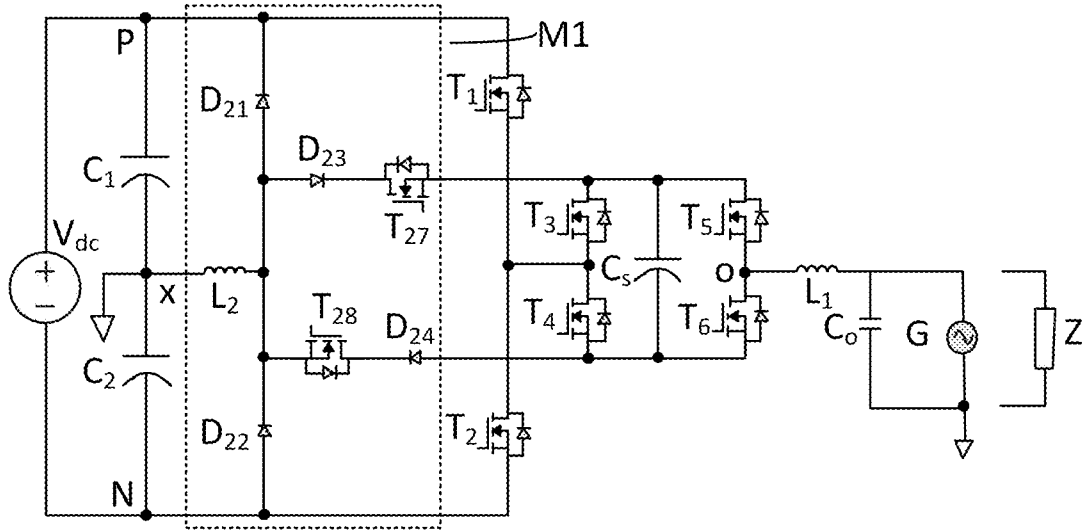


图 7

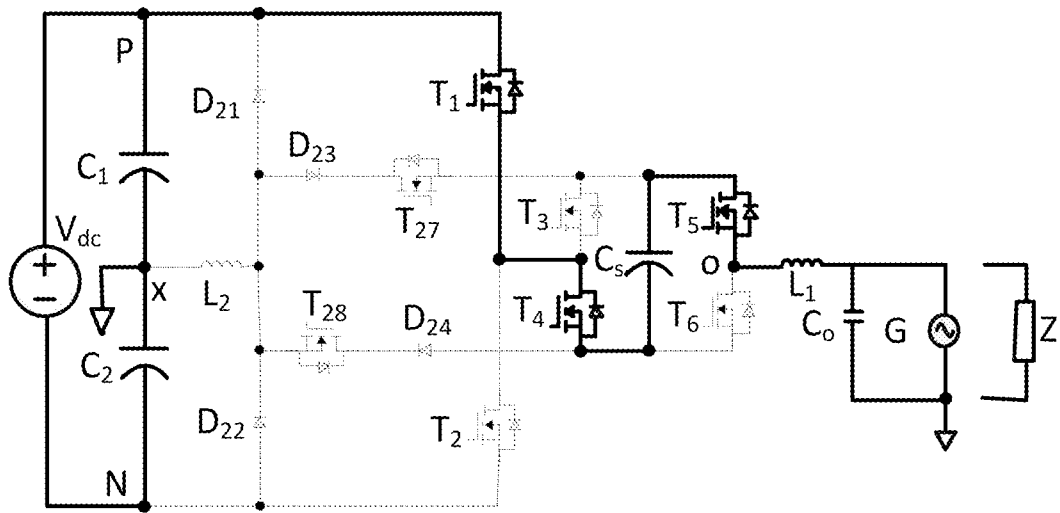


图 8

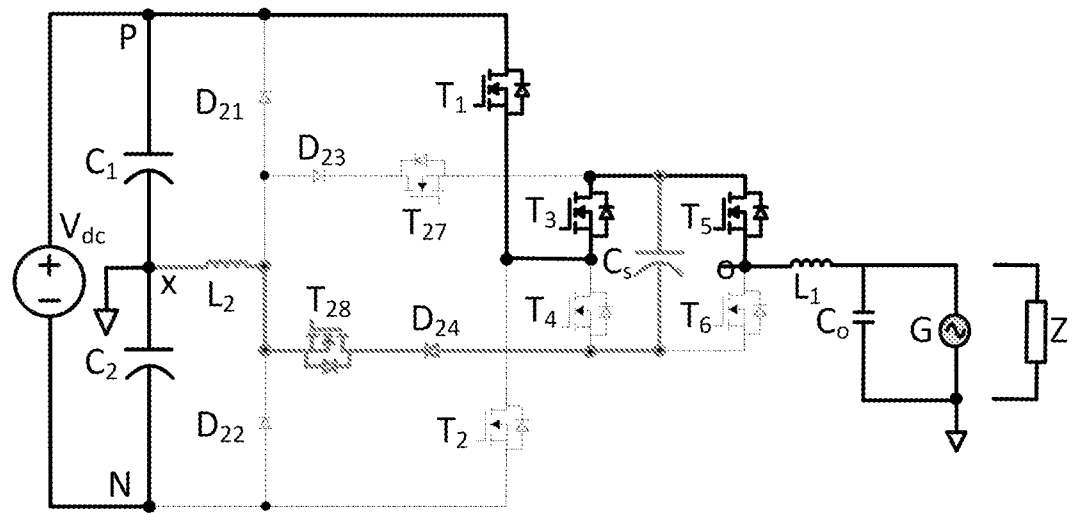


图 9

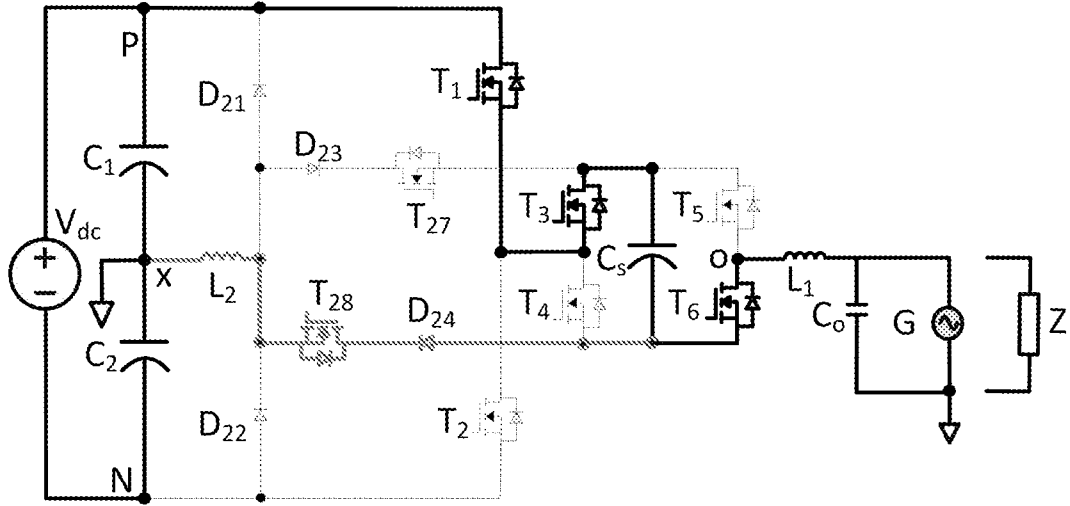


图 10

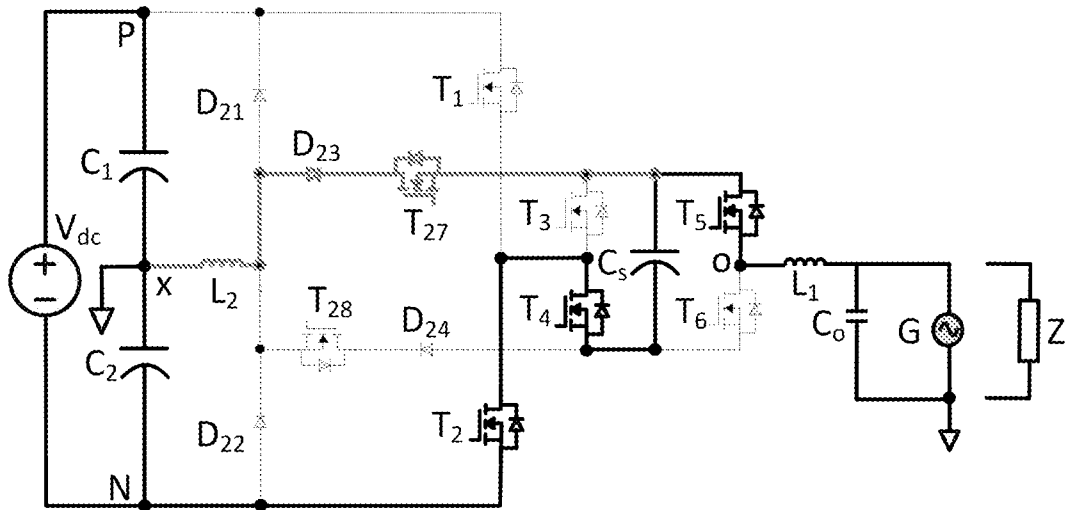


图 11

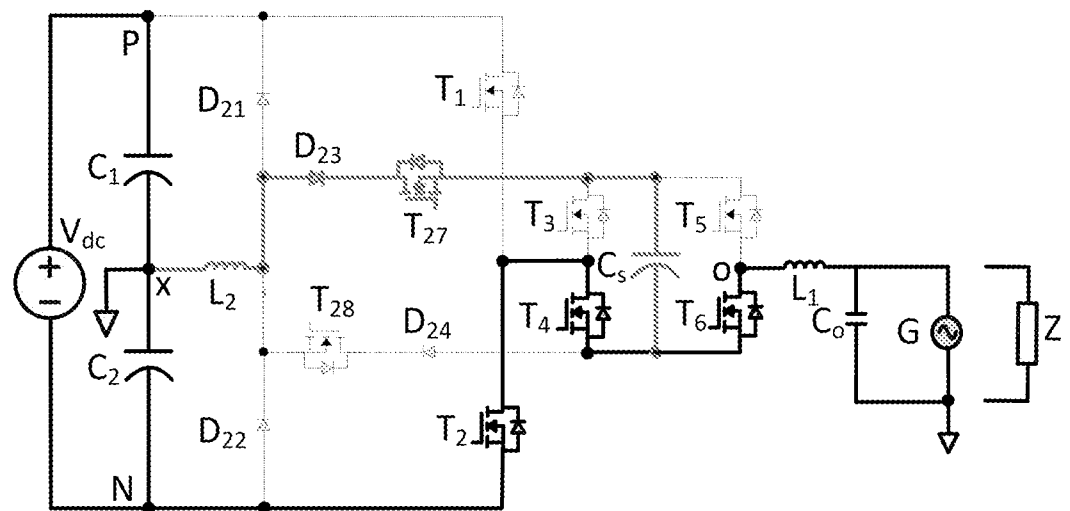


图 12

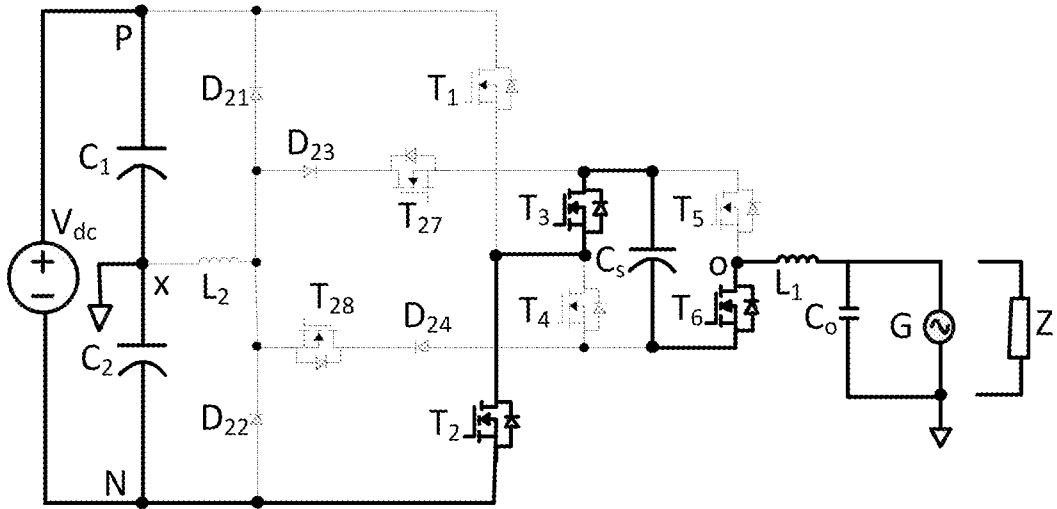


图 13

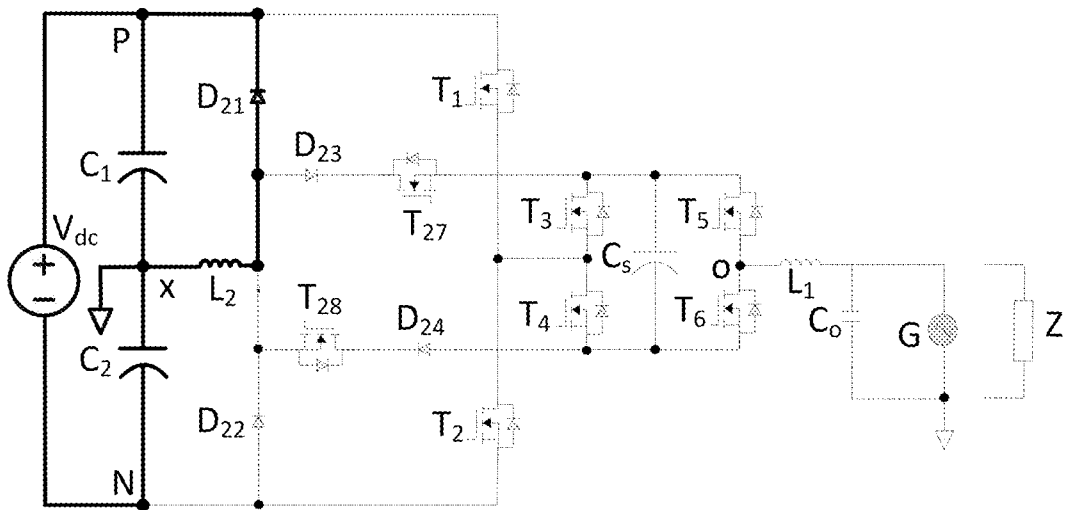


图 14

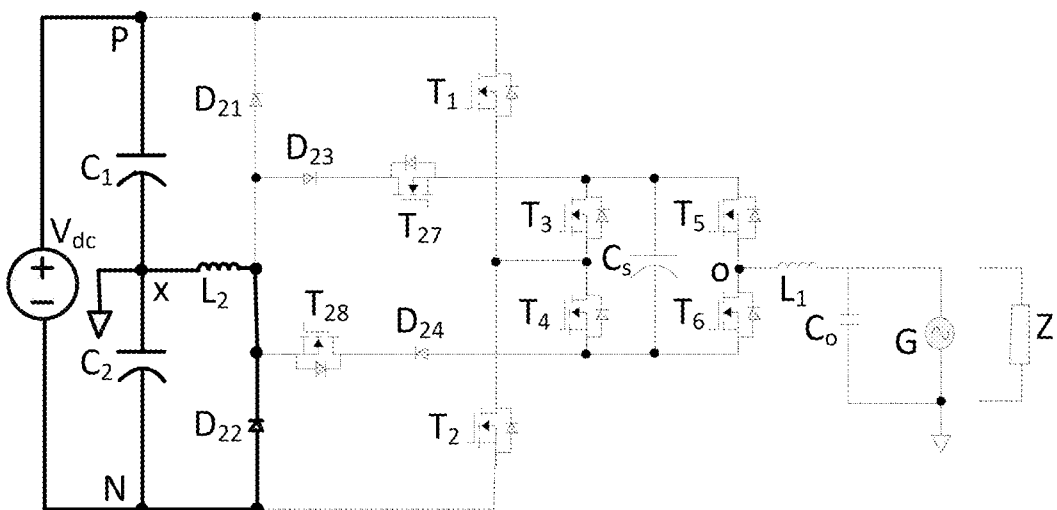


图 15

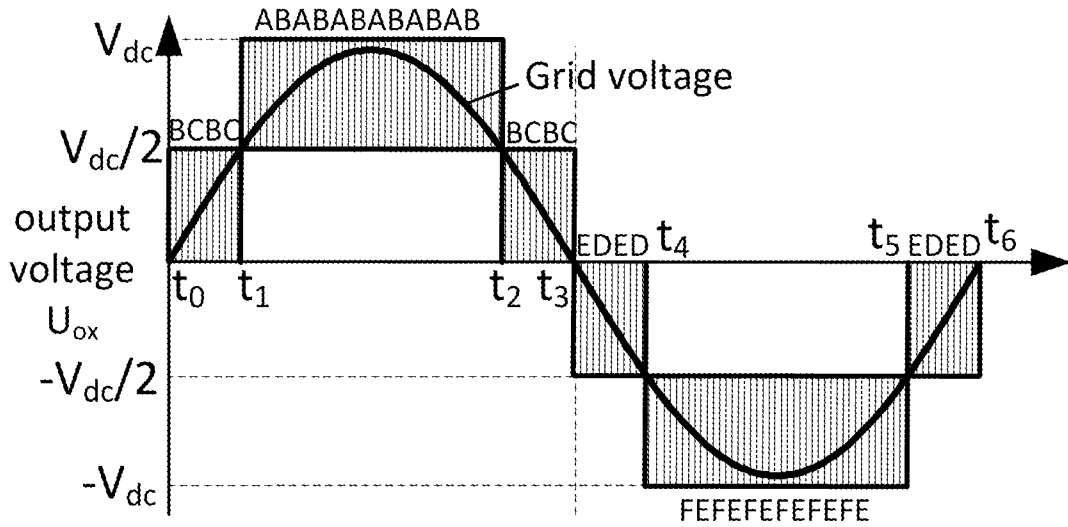


图 16

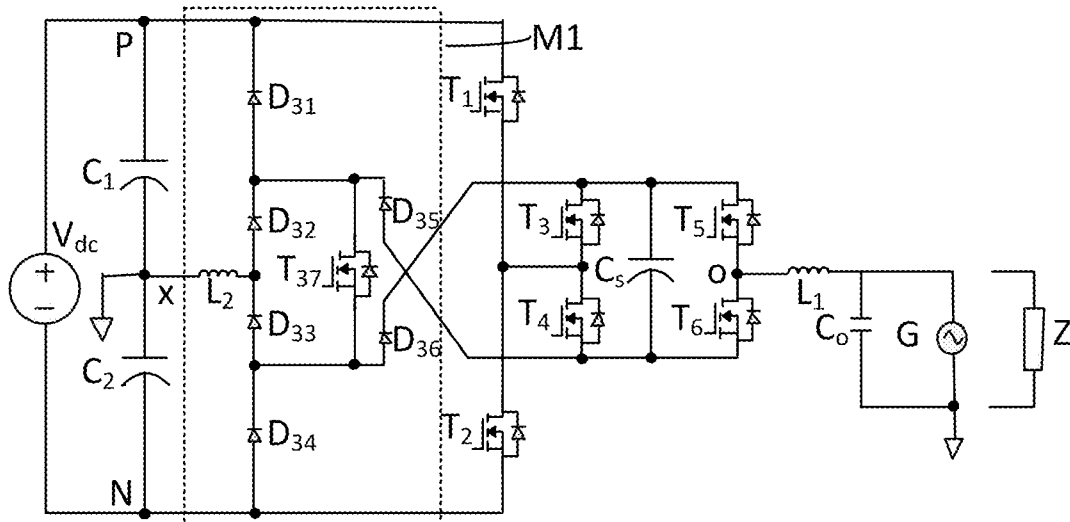


图 17

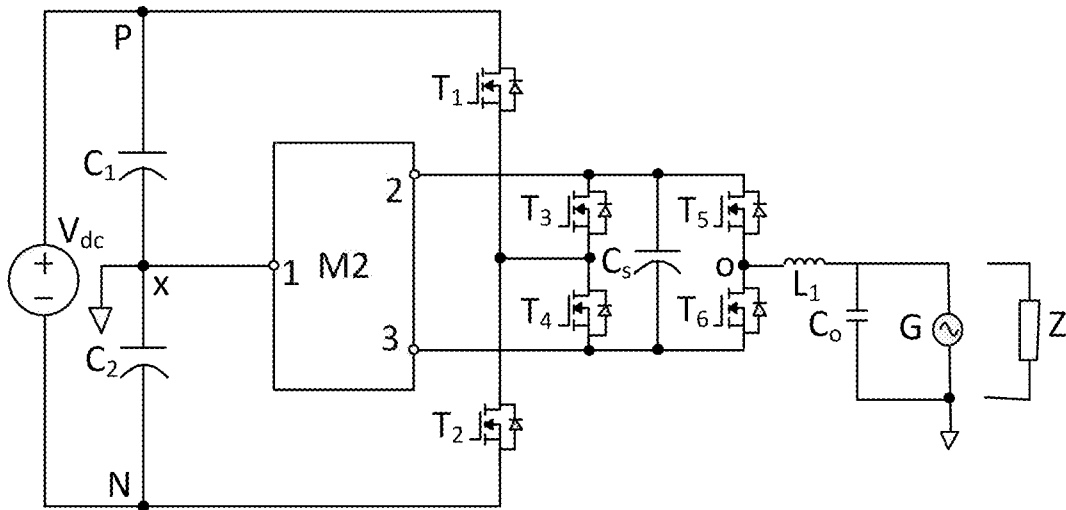


图 18

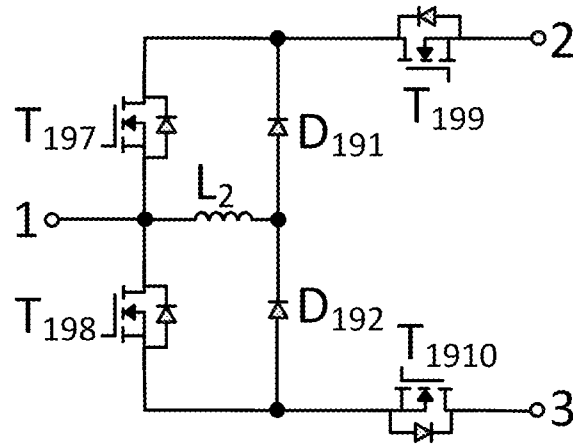


图 19

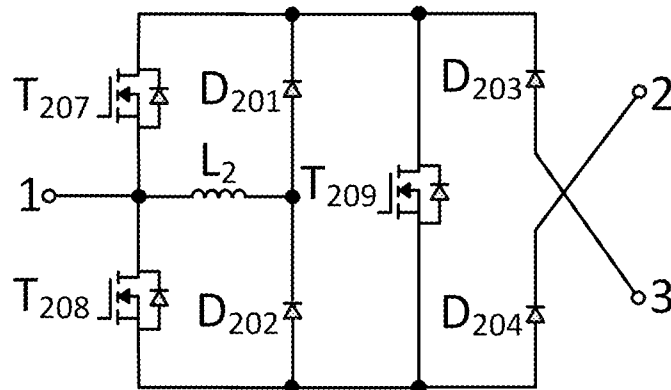


图 20

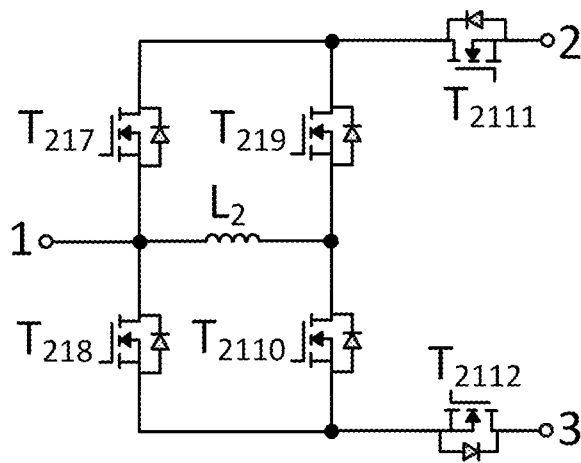


图 21

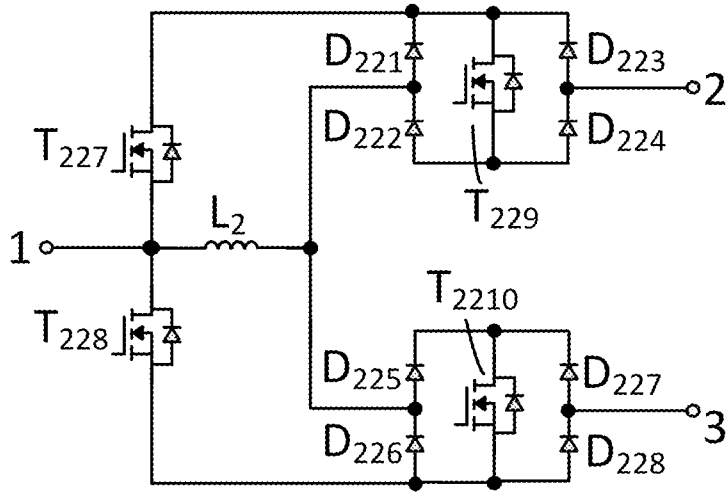


图 22

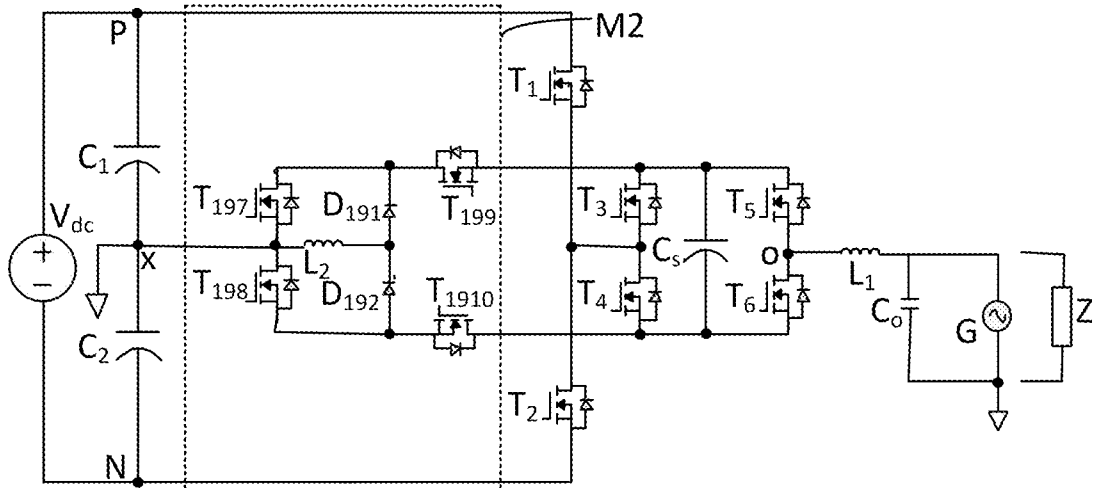


图 23

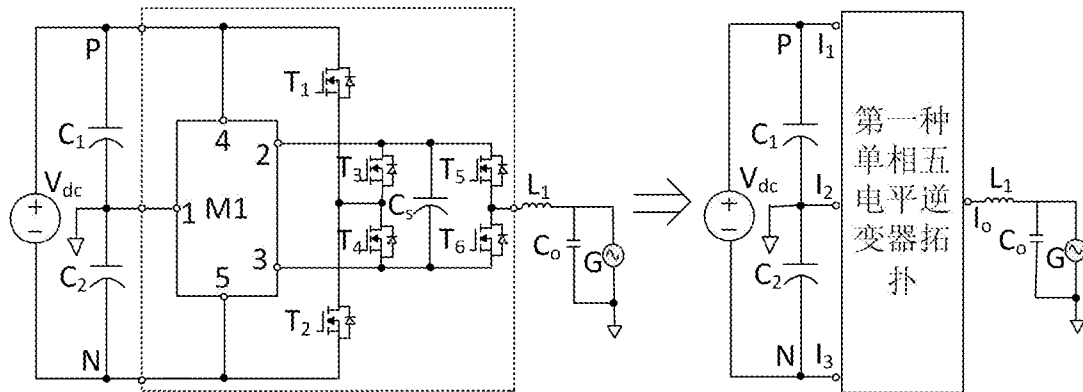


图 24(a)



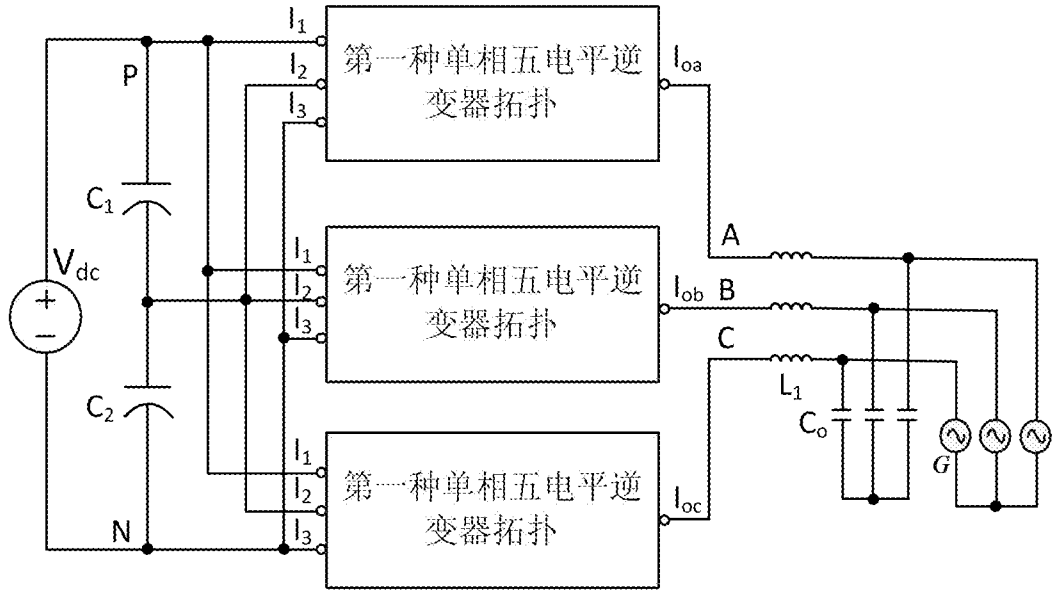


图 24(b)

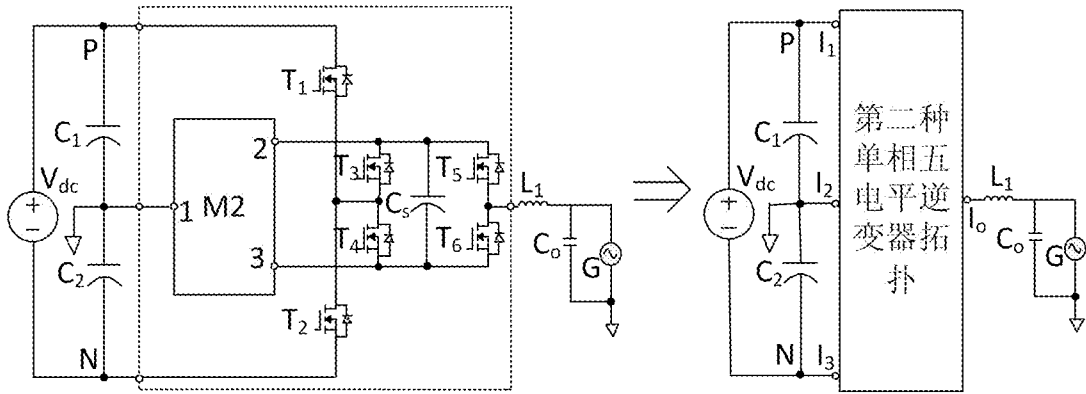


图 25(a)

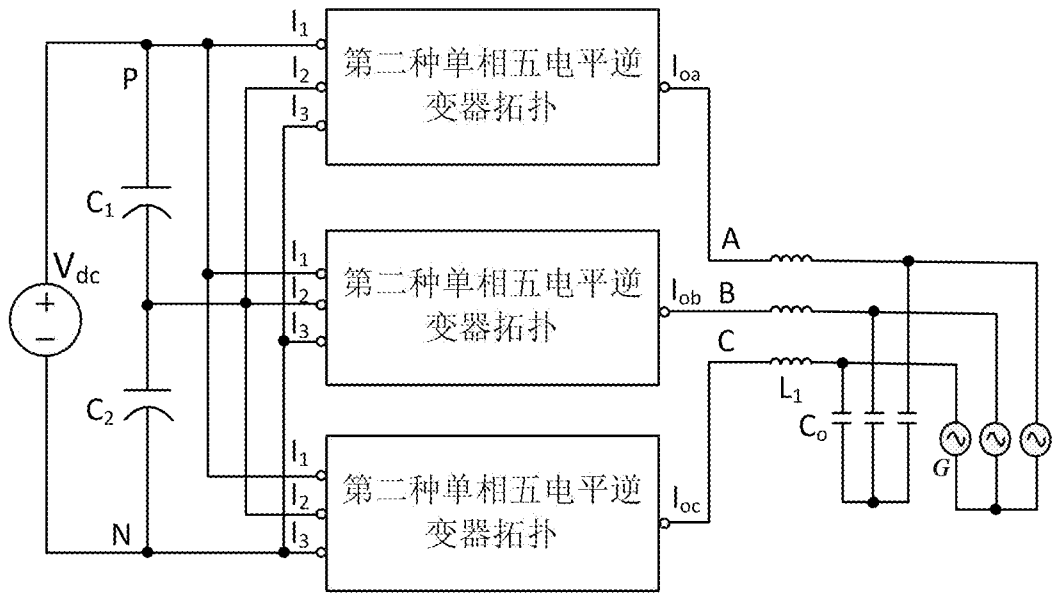


图 25(b)

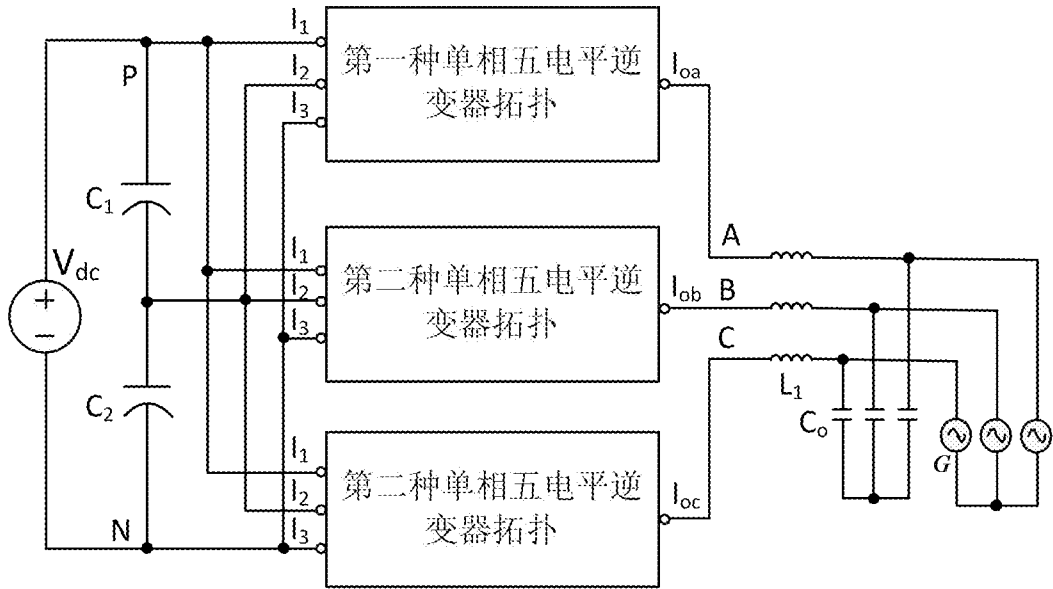


图 26(a)

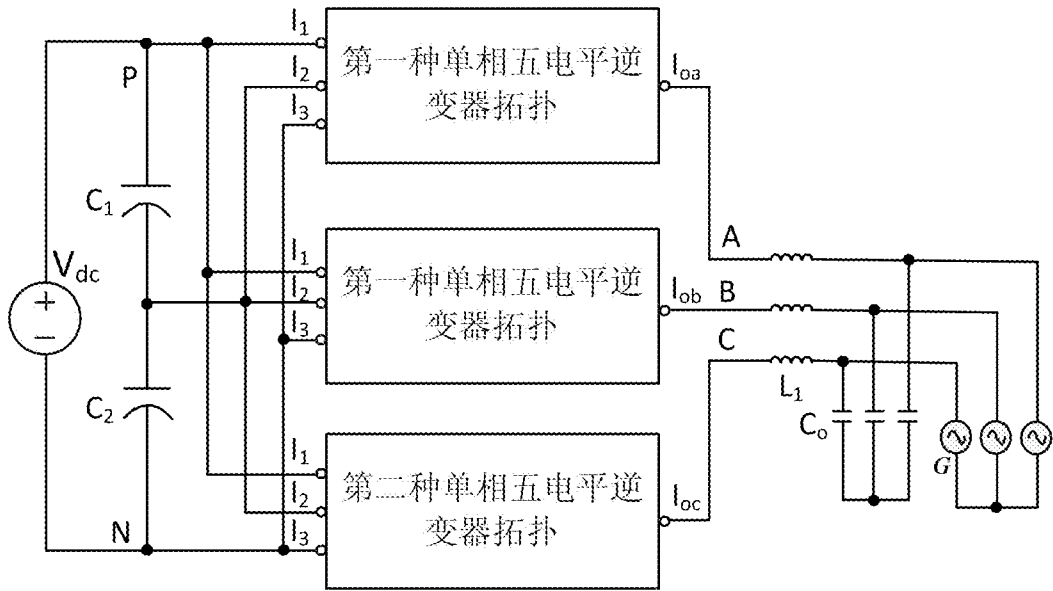


图 26(b)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/CN2016/095363

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M 7/483 (2007.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: multi +, level?, five, invert+, inversion, half, bridge, terminal?, switch??. transistor?, capacitor?, DC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102510232 A (CHINA MINING DRIVES & AUTOMATION CO., LTD.) 20 June 2012 (20.06.2012) description, paragraphs [0002]-[0012] and figures 1 and 2	1-26
A	CN 104218832 A (SUNGROW POWER SUPPLY CO., LTD.) 17 December 2014 (17.12.2014) the whole document	1-26
A	CN 101980437 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 23 February 2011 (23.02.2011) the whole document	1-26
A	CN 102769401 A (SUNGROW POWER SUPPLY CO., LTD.) 07 November 2012 (07.11.2012) the whole document	1-26
A	JP 2013258791 A (MEIDENSHA CORP.) 26 December 2013 (26.12.2013) the whole document	1-26
A	US 2013301314 A1 (FUTUREWEI TECHNOLOGIES, INC.) 14 November 2013 (14.11.2013) the whole document	1-26

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  
17 October 2016

Date of mailing of the international search report  
31 October 2016

Name and mailing address of the ISA  
State Intellectual Property Office of the P. R. China  
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao  
Haidian District, Beijing 100088, China  
Facsimile No. (86-10) 62019451

Authorized officer  
DENG, Xiaoting  
Telephone No. (86-10) 010-62413267

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/CN2016/095363

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102510232 A	20 June 2012	None	
CN 104218832 A	17 December 2014	None	
CN 101980437 A	23 February 2011	CN 101980437 B	07 July 2012
CN 102769401 A	07 November 2012	CN 102769401 B	18 February 2015
JP 2013258791 A	26 December 2013	JP 5910334 B2	27 April 2016
US 2013301314 A1	14 November 2013	WO 2013166870 A1	14 November 2013
		US 9413268 B2	09 August 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2016/095363

<p>A. 主题的分类</p> <p>H02M 7/483 (2007.01) i</p> <p>按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类</p>																							
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)</p> <p>H02M</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))</p> <p>CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 五电平, 多电平, 逆变, 半桥, 三端, 五端, 开关, 晶体管, 电容, 直流, multi+, level?, five, invert+, inversion, half, bridge, terminal?, switch??. transistor?, capacitor?, DC</p>																							
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 102510232 A (徐州中矿大传动与自动化有限公司) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 说明书第[0002]-[0012]段, 图1-2</td> <td>1-26</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104218832 A (阳光电源股份有限公司) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17) 全文</td> <td>1-26</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101980437 A (南京航空航天大学) 2011年 2月 23日 (2011 - 02 - 23) 全文</td> <td>1-26</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102769401 A (阳光电源股份有限公司) 2012年 11月 7日 (2012 - 11 - 07) 全文</td> <td>1-26</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2013258791 A (MEIDENSHA CORP.) 2013年 12月 26日 (2013 - 12 - 26) 全文</td> <td>1-26</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2013301314 A1 (FUTUREWEI TECHNOLOGIES, INC.) 2013年 11月 14日 (2013 - 11 - 14) 全文</td> <td>1-26</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型:          “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件          “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利          “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)          “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件          “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件          “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件          “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性          “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性          “&amp;” 同族专利的文件</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 102510232 A (徐州中矿大传动与自动化有限公司) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 说明书第[0002]-[0012]段, 图1-2	1-26	A	CN 104218832 A (阳光电源股份有限公司) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17) 全文	1-26	A	CN 101980437 A (南京航空航天大学) 2011年 2月 23日 (2011 - 02 - 23) 全文	1-26	A	CN 102769401 A (阳光电源股份有限公司) 2012年 11月 7日 (2012 - 11 - 07) 全文	1-26	A	JP 2013258791 A (MEIDENSHA CORP.) 2013年 12月 26日 (2013 - 12 - 26) 全文	1-26	A	US 2013301314 A1 (FUTUREWEI TECHNOLOGIES, INC.) 2013年 11月 14日 (2013 - 11 - 14) 全文	1-26
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
A	CN 102510232 A (徐州中矿大传动与自动化有限公司) 2012年 6月 20日 (2012 - 06 - 20) 说明书第[0002]-[0012]段, 图1-2	1-26																					
A	CN 104218832 A (阳光电源股份有限公司) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17) 全文	1-26																					
A	CN 101980437 A (南京航空航天大学) 2011年 2月 23日 (2011 - 02 - 23) 全文	1-26																					
A	CN 102769401 A (阳光电源股份有限公司) 2012年 11月 7日 (2012 - 11 - 07) 全文	1-26																					
A	JP 2013258791 A (MEIDENSHA CORP.) 2013年 12月 26日 (2013 - 12 - 26) 全文	1-26																					
A	US 2013301314 A1 (FUTUREWEI TECHNOLOGIES, INC.) 2013年 11月 14日 (2013 - 11 - 14) 全文	1-26																					
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2016年 10月 17日</p>	<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2016年 10月 31日</p>																						
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>	<p>受权官员</p> <p>丁小汀</p> <p>电话号码 (86-10)010-62413267</p>																						

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/095363

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102510232	A	2012年 6月 20日	无			
CN	104218832	A	2014年 12月 17日	无			
CN	101980437	A	2011年 2月 23日	CN	101980437	B	2012年 7月 4日
CN	102769401	A	2012年 11月 7日	CN	102769401	B	2015年 2月 18日
JP	2013258791	A	2013年 12月 26日	JP	5910334	B2	2016年 4月 27日
US	2013301314	A1	2013年 11月 14日	WO	2013166870	A1	2013年 11月 14日
				US	9413268	B2	2016年 8月 9日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)