

# Review of Photovoltaic Micro-Inverter Topology and Related Technologies

Xue Han, Shengwei Gao

School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin Polytechnic University, Tianjin  
Email: 376192640@qq.com

Received: Mar. 2<sup>nd</sup>, 2017; accepted: Mar. 20<sup>th</sup>, 2017; published: Mar. 24<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

In order to find the best solution to reduce costs and improve efficiency and reliability of micro-inverter, topologies of micro-inverter in photovoltaic power generation system are reviewed in this paper. Firstly, the advantages of grid-connected micro-inverter and its design objectives are introduced. Combined with the research status at home and abroad, this paper analyzed the typical single-stage and multi-stage micro-inverter topologies, and their advantages and disadvantages are discussed. Aiming at problems existing in micro-inverter, power decoupling technique, elimination of leakage current, and application of novel power devices were studied in order to achieve the goal of low cost, high efficiency, and long life. Through the summary and induction of all kinds of inverter topology, the research direction and future prospects of development are expected in this paper.

## Keywords

Micro-Inverter, Photovoltaic System, Power Decoupling, Leakage Current, SiC Power Device

---

# 微型光伏逆变器拓扑及相关技术研究综述

韩 雪, 高圣伟

天津工业大学电气工程与自动化学院, 天津  
Email: 376192640@qq.com

收稿日期: 2017年3月2日; 录用日期: 2017年3月20日; 发布日期: 2017年3月24日

---

## 摘 要

本文主要对光伏发电系统中的微型逆变器拓扑进行了综述, 旨在寻找能够降低成本并提升效率与可靠性的最佳方案。介绍了微型逆变器的并网优势及其设计目标。结合国内外研究现状, 分析了典型的单级式

和多级式逆变器拓扑, 阐述了各自优缺点。针对微型逆变器中存在的各种问题, 分别对功率解耦技术、漏电流的消除、以及新型功率器件的应用进行了研究, 以实现逆变器低成本、高效率、寿命长的目标。通过对各类逆变器拓扑的总结与归纳, 展望了未来的研究方向与发展前景。

## 关键词

微型逆变器, 光伏系统, 功率解耦, 漏电流, 碳化硅器件

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着环境保护问题的日益趋紧, 生产无污染的天然能源的需求已引起国际上的广泛关注。太阳能, 由于其清洁, 无污染, 取之不尽, 可作为未来的一种代替性能源。我国太阳能资源丰富, 太阳能作为传统能源的替代能源具有巨大的经济效益和战略意义。在过去的十年中, 光伏发电技术早已显示出其潜力, 成为了全世界发电的主要来源, 即使在金融和经济危机的时候, 也取得了强劲且持久的发展, 这一趋势在未来几年也会随着光伏发电优势的增加而持续。据 HIS 最新报告显示, 到 2017 年, 微型逆变器的全球市场规模将有望随着海外市场需求的持续增长而增长四倍以上, 出货量将增长到 2.1 GW。

传统的光伏逆变器包括: 集中式逆变器、组串式逆变器和多组串式逆变器。集中式逆变器通常应用在 10 kW 以上的三相高压场合, 其体积大, 安装复杂, 逆变器一旦出现故障, 将会涉及大量能量传输被打断; 组串式逆变器应用在低于 10 kW 的场合, 将光伏模块串联到一起, 通过串联获得了较高的输出电压, 避免了集中式逆变器的缺点; 多组串式逆变器是在组串式逆变器基础上的改进, 使每组的 DC-DC 部分连接到公共的 DC-AC 逆变器上, 可单独进行控制。各种光伏逆变器结构对比如图 1 所示。以上三种传统光伏逆变器, 系统的最大功率点跟踪针对整串进行, 无法保证每个光伏组件均达到最大功率点。并且由于各组件实际安装方向与角度不同, 每个组件发电效率不同, 从而降低了系统的发电效率[1]。

图 2 为微型逆变器实物图。具有微型逆变器的光伏并网系统, 应用在低于 300 W 的场合, 直接将单个光伏组件与逆变器集成, 每一组件的交直流变换和最大功率跟踪功能单独进行, 当某块电池板损坏或被遮挡的情况下, 不影响其他逆变器的正常工作, 可即插即用, 能够根据用于需求进行安装扩展, 寿命高达 25 年, 是目前光伏发电领域的研究热点之一[2]。

## 2. 微型逆变器设计目标

在光伏并网系统中, 如何实现不同功率配置下的高效功率输出是逆变器设计和运行的关键因素, 因此微型逆变器的设计应着重考虑以下几方面因素[3]:

1) 可靠性: 大多数商业光伏模块保证在指定的输出水平, 为 20 至 25 年, 然而逆变器的寿命通常在 5 到 15 年, 这就要求逆变器方便维护和更换。微逆的寿命为 25 年, 传统逆变器寿命在 10 年左右。

2) 效率: 逆变器的拓扑结构及控制方法对其效率至关重要, 效率的提升直接影响到产品功能和市场竞争, 应尽量减少不必要的损耗。

3) 成本: 逆变器的设计应考虑到初始投资成本与长期维护成本, 交流模块系统每一光伏组件均与微型逆变器相连, 电路中应包含较少的器件, 提高功率密度, 降低逆变器体积, 也会减少成本。



最大功率跟踪, 第二阶段则将直流电逆变为并网所需的交流电。一般来说, 第一阶段是 Boost 或者 Buck-Boost 型拓扑。

文献[4]提出了一种两级式高电压增益升压型并网逆变器拓扑, 第一级为高电压增益开关电感升压变换器, 第二级为整流电路, 级联 H 桥逆变器作为折叠电路(图 3)。开关电感升压变换器中, 采用开关电感线圈替换了常规 DC 升压变换器线圈, 由两个线圈和三个二极管组成, 使得两个线圈导通状态下并联充电, 关闭状态下串联放电, 并能够完成最大功率跟踪功能; 而并网要求是由整流电路和 H 桥逆变器完成的, 整流电路利用充放电增量来产生正弦整流波, 然后折叠级联 H 桥逆变器将这一波形变为可注入电网的正弦电流波形, 该部分减小了接地漏电流, 改善了系统的接地性能, 并且减少了开关损耗, 从而提升了整体效率。经仿真实验分析, 该逆变器峰值效率大于 90%。

文献[5]提出了一种基于软开关全桥电路的微型逆变器拓扑(图 4), 前端采用了 LLC 谐振变换器, 以实现高工作频率和高转换效率, 将光伏板侧 20~40 V 的低压升至电网侧电压等级, 并实现最大功率跟踪功能, 峰值效率可达 97.3%; 后端采用了基于软开关技术的传统全桥逆变电路, 尽管增加了传导损耗, 却大大减少了开关损耗, 其中  $L_r = 2.2 \mu\text{H}$ ,  $C_r = 510 \text{ nF}$ ,  $L_m = 10 \text{ mH}$ ,  $L_f = 300 \mu\text{H}$ ,  $L_o = 1 \text{ mH}$ ,  $C_o = 1 \mu\text{F}$ , 峰值效率可达 98.5%。

文献[6]提出了一种两级式有源钳位反激式光伏逆变器拓扑(图 5), 由反激式变换器, 混合桥逆变器, 和输出 CL 滤波器组成。反激式逆变器的优点为所需器件少, 结构简单, 提供光伏组件和点网线间的隔离。在变换器级, 该拓扑考虑到了次级漏感的影响, 选择有源钳位电路用于降低变压器的漏感和主开关的输出电容之间的电压尖峰, 并实现软开关, 以减少开关损耗。在逆变器级, 混合桥由两个晶闸管和两个 MOSFET 构成, 分别在正负半周期导通。输出 CL 滤波器用于降低谐波分量, 为交流电网线路产生电流波。其中输入电压为 30~45 V, 输出电压为 220 V, 开关频率为 50 Hz,  $L_{m1} = 7.91 \mu\text{H}$ ,  $L_{LK1} = 7.91 \text{ nH}$ ,  $L_{LK2} = 7.91 \text{ nH}$ ,  $C_r = 470 \text{ nF}$ ,  $C_o = 150 \text{ nF}$ ,  $L_f = 5.6 \text{ mH}$ ,  $C_f = 33 \text{ nF}$ 。

目前微型逆变器的升压部分多才用高频变压器, 能够实现光伏阵列与网侧的电气隔离, 功率密度大, 且效率高。基于高频变压器的拓扑结构, 首先通过前级将直流电转换为高频交流电, 通过次级将其整流为直流电, 最后经逆变环节转换为并网所需工频交流电。

文献[7]提出了一种应用于微型逆变器的软开关单电感推挽式变换器(图 6), 通过变压器次级漏感和谐振电容的并联谐振, 使初级侧开关在零电压条件下打开, 零电流条件下关断。该拓扑可降低开关损耗, 主开关采用了软开关技术, 并实现了最大功率跟踪功能。此外, 二次侧电压倍增器的加入, 使得变压器的匝数比可减至一半。其中输入电压为 20~40 V, 输出电压为 400 V, 输出功率为 250 W, 升压电感为 127  $\mu\text{H}$ ,  $L_m = 950 \mu\text{H}$ ,  $L_k = 34 \mu\text{H}$ ,  $C_r = 4.7 \text{ nF}$ , 开关频率为 50~100 Hz。在应用该变换器和全桥逆变器的 250 W 光伏逆变器仿真实验中, 峰值效率可达 96.6%。

多级式拓扑结构的明显缺点是尺寸大, 可靠性低, 器件数量过多, 损耗大, 使得制造成本更高。因此, 最近的研究主要集中在如何减少功率变换等级, 并在这样的系统上实现拓扑优化。最佳选择是在光伏阵列与电网系统之间采用单级式拓扑, 使其兼具最大功率跟踪、升压以及逆变等功能。

### 3.2. 单级式

当前光伏逆变器的研究趋势在于功率级数的减少, 以达到提升整体效率和可靠性, 以及减少成本增大功率密度的目的, 单级式微型逆变器满足了这一目标。常见的单级式逆变器主要有 buck-boost 逆变器、H 桥逆变器、反激式逆变器等。

#### 1) H 桥逆变器

文献[8]提出了一种软开关电流模式控制下的半桥三相微型逆变器拓扑, 如图 7 所示, 具有控制简单,

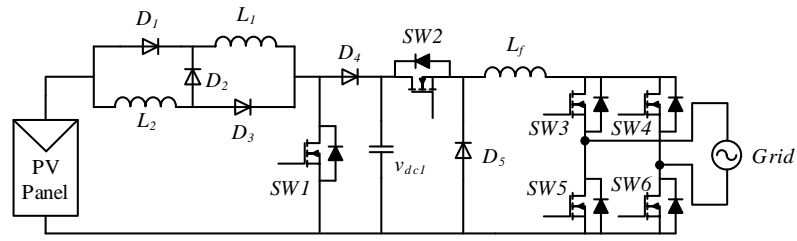


Figure 3. Topology proposed in reference [4]  
图 3. 文献[4]提出的拓扑

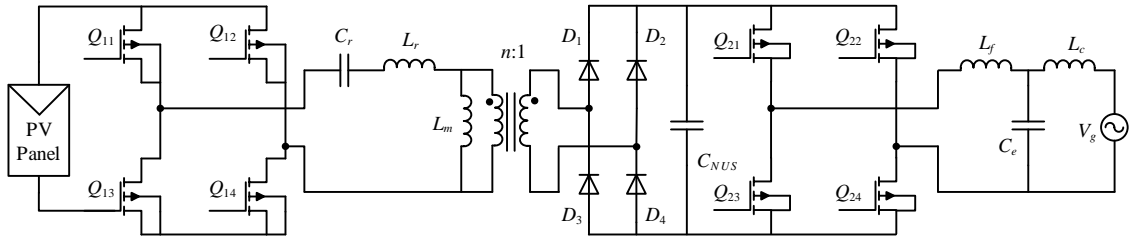


Figure 4. Topology proposed in reference [5]  
图 4. 文献[5]提出的拓扑

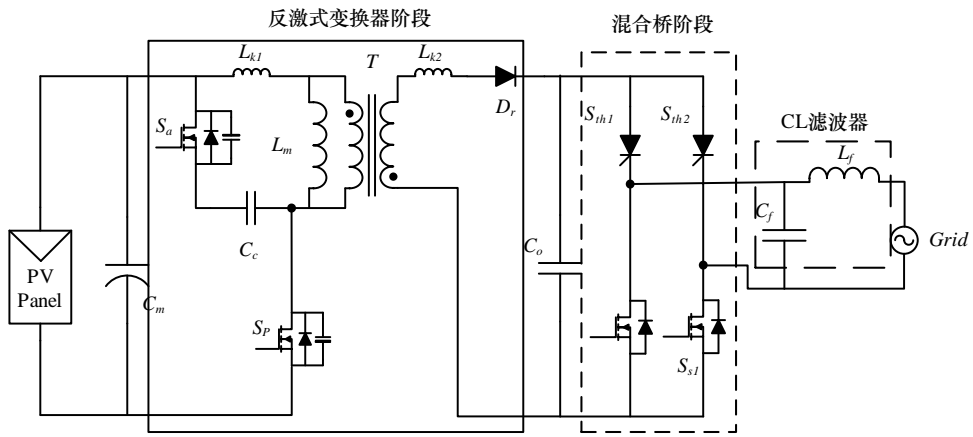


Figure 5. Topology proposed in reference [6]  
图 5. 文献[6]提出的拓扑

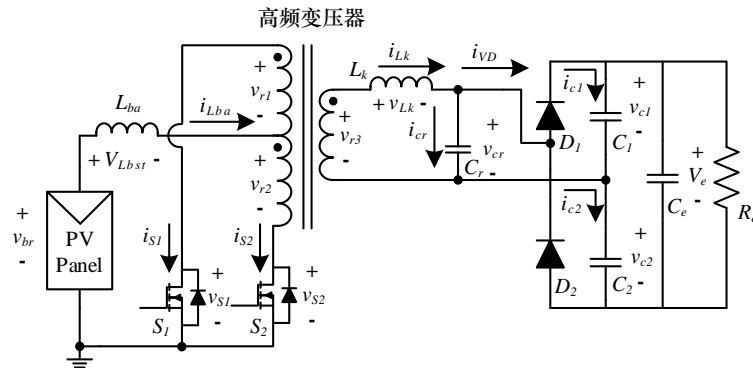
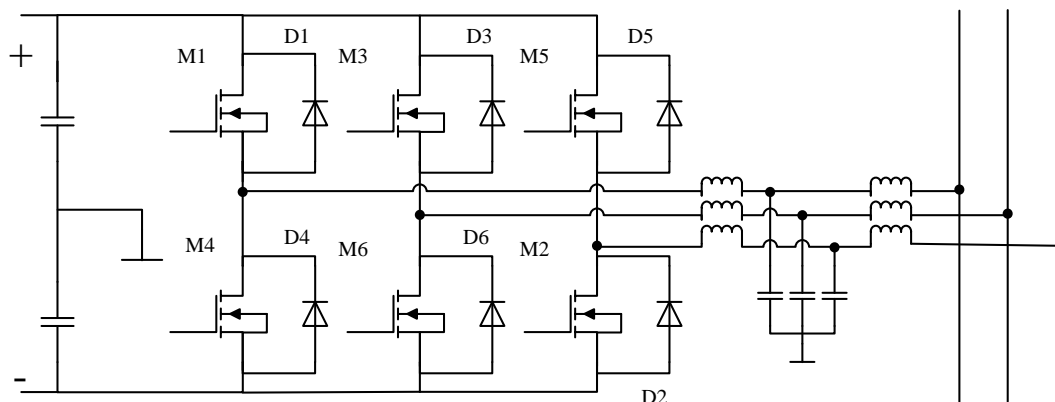


Figure 6. Topology proposed in reference [7]  
图 6. 文献[7]提出的拓扑



**Figure 7.** Three-phase half bridge inverter topology  
**图 7.** 半桥三相逆变器拓扑

高频高效的特点，每相都可独立进行控制，当开关频率在 200 kHz 左右时，峰值效率可达 97.6%。其中输出功率为 133 W， $L_a = 200 \mu\text{H}$ ， $C_a = 2.2 \mu\text{F}$ 。

三相逆变器具有的优势：1) 各光伏板都可达到最大功率；2) 消除光伏板不匹配的损耗；3) 更容易和更灵活的安装；4) 较少的直流配电损耗。

#### 2) buck-boost 逆变器

文献[9]研究了一种单级式高增益 buck-boost 并网逆变器拓扑，如图 8 所示。该拓扑由开关电感 buck-boost 变换器级联 H 桥逆变器构成，变换器开关通过 PWM 调制，工作在断续模式，使变换器输出电压为整流正弦波；H 桥逆变器作为折叠级联单元，开关工作在电网频率，以减少损耗改善效率。该拓扑具有开关损耗低，高效，低成本，尺寸小和控制简单的特点，实验测得峰值效率可达 85%。

#### 3) 反激式逆变器

传统的反激式变换器由一个主开关，两个次开关，两个二极管和一个反激变压器构成。其功能是产生交流电源，并提供光伏阵列与电网间的隔离。文献[10]提出了一种对传统反激式逆变器的改进，如图 9 所示，在传统拓扑的基础上，加入了由二极管  $D_3$ ，电容  $C_r$  和两个耦合电感  $L_{r1}$ ， $L_{r2}$  构成的辅助电路，并采用了软开关技术来减少开关损耗，提升整体效率。

单级式拓扑相对于多级式拓扑，具有结构简单，集成度高，附加损耗低，效率相对较高等优点。因此，近年来学者们更加专注于研究能够便于模块集成，减轻重量，降低成本，高可靠性以及高系统性能的单级式光伏逆变器。但由于单级式逆变器需要在同一级内完成升压并网、最大功率跟踪等功能，其控制方法往往较为复杂。

## 4. 微型逆变器相关技术

微型逆变器由于能量收获大，转换效率高，安装花费低，已成为光伏并网系统的研究热点，其在操作上可即插即用，实现了模块化，更具有灵活性。然而，为了实现制造成本低、转换效率高、寿命长的目标，微型逆变器仍需要诸多技术支持。

### 4.1. 功率解耦技术

光伏组件在光照条件下会产生特定的输入功率，而传输到电网的瞬时功率却含有两倍工频的功率脉动。这是光伏逆变器中普遍存在的瞬时功率不平衡的现象。传统的功率解耦方法是利用电解电容减小功率脉动，将大容量的电解电容并联在光伏组件两侧，用于平缓逆变器输入电压和平衡逆变器的瞬时输



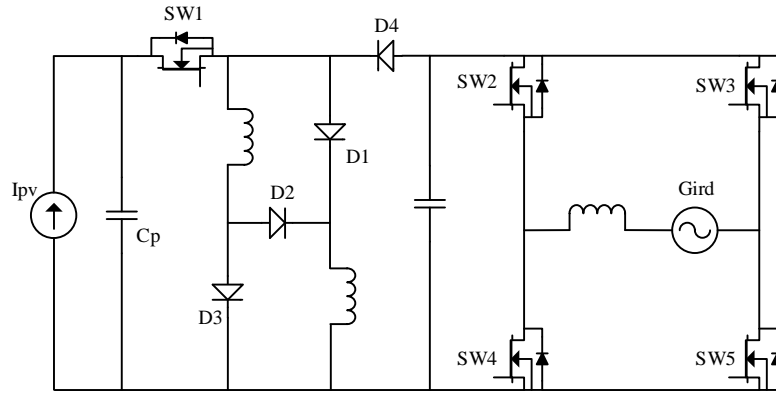


Figure 8. Buck-boost inverter topology  
图 8. Buck-boost 逆变器拓扑

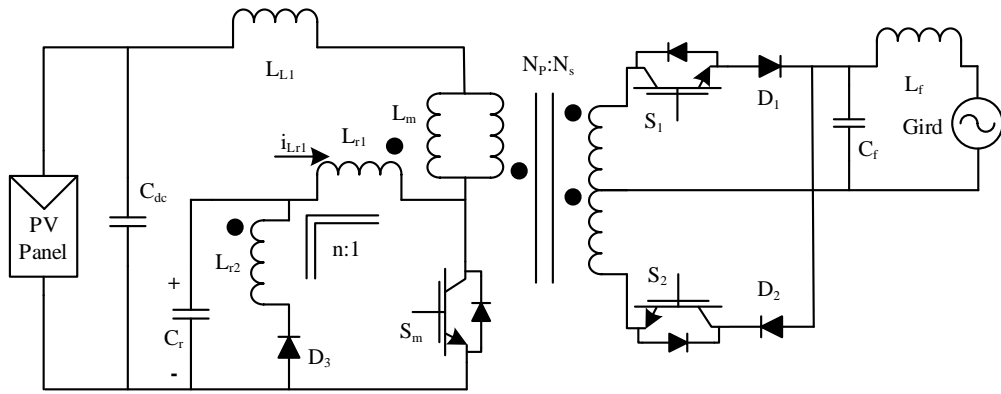


Figure 9. Flyback inverter topology  
图 9. 反激式逆变器拓扑

入输出功率，也就是功率解耦。根据解耦电路位置的不同，功率解耦技术可分为三种类型：光伏侧解耦；直流侧解耦；交流侧解耦。然而，一般的电解电容器有较短的寿命并且体积大，进而使得逆变器寿命缩短，降低了可靠性。使用薄膜电容代替电解电容，可使逆变器寿命延长[11]。

解耦电容容值可表示为：

$$C = \frac{P_{PV}}{2 \cdot \omega_{grid} \cdot V_C \cdot \Delta V_C}$$

其中  $P_{PV}$  是电容平均功率， $\omega_{grid}$  是电网的角频率， $V_C$  是电容两端平均电压， $\Delta V_C$  是纹波幅度[12]。

### 1) 光伏侧解耦

基于反激式变换器的功率解耦电路大部分位于光伏组件输出侧，这是由于反激式逆变器的直流链部分没有相应的电容器。文献[13]提出了一种单级反激式逆变器，其拓扑由三部分构成：1) 光伏板；2) 解耦电路；3) 反激式逆变器(图 10)。解耦电路在不同时刻存储与释放能量，以保持光伏输出功率恒定，并减少功率脉动，其中解耦电感  $L_a$  和解耦电容  $C_D$  被用作储能元件。其中  $L_a = 8 \mu\text{H}$ ， $C_D = 30 \mu\text{F}$ 。

### 2) 直流侧解耦

为了减少解耦电路成本，并实现高转换效率，三端口式逆变器由于具有较少元器件、高集成度、高转换效率而成为了研究热点。三端口式逆变器中，一个端口用来实现最大功率跟踪，一个端口用来实现功率解耦。

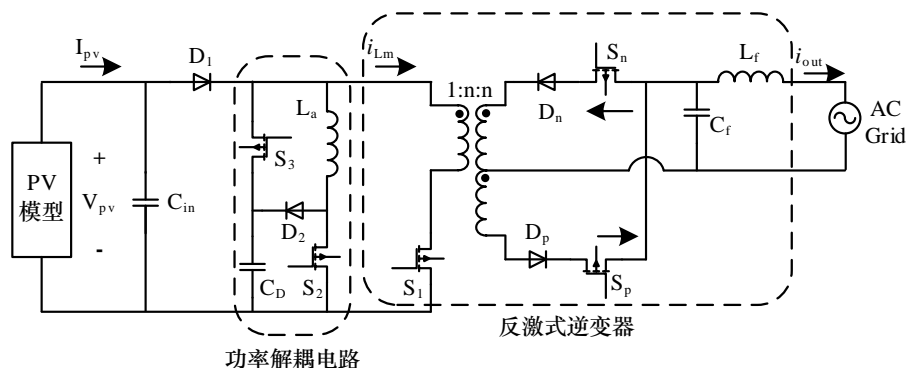


Figure 10. Topology proposed in reference [13]

图 10. 文献[13]提出的拓扑

文献[14]提出了一种带有功率解耦电路的单相三端口反激式微型逆变器(图 11)。反激变压器含有两个输出绕组, 一个输出经过滤波和全桥工频逆变至电网, 另一个与一个全桥电路构成解耦电路。在此拓扑中, 光伏组件先输出恒定的能量给原边励磁电感, 当  $P_{pv}$  大于  $P_{ac}(t)$  时, 电网所需的功率由 L2 输出, 其余的能量则通过 L3 储存在解耦电容  $C_x$  中; 当  $P_{pv}$  小于  $P_{ac}(t)$  时, 原边励磁电感的能量全部传递到副边, 解耦电容也要释放能量以补充负载的需要。解耦电路采用全桥变换器满足了解耦电容上能量双向传输的需要。

### 3) 交流侧解耦

文献[15]提出了一种单级式电流源全桥光伏逆变器(图 12), 在逆变器的交流侧, 桥臂 A 和 C 通过 LC 滤波器连接到电网, 滤波器由  $L_f$  和  $C_f$  构成, 桥臂 B 经由解耦电容  $C_b$  连接到电网。电容  $C_b$  上只有电流  $i_b$  流过, 通过对电流  $i_b$  的适当控制, 可以实现恒定瞬时功率的输出。

## 4.2. 漏电流的消除

近年来, 相比于隔离式光伏逆变器拓扑, 研究者们更倾向于无变压器的非隔离式逆变器拓扑, 这是由于拓扑中含有变压器结构使得效率降低, 尺寸增大, 成本增加。然而, 无变压器的拓扑结构由于电网和光伏阵列间没有隔离, 也会产生安全问题, 而且无变压器的光伏系统在光伏阵列和地之间的寄生电容中会流经接地漏电流。

文献[16]提出了一种为消除接地漏电流的两级式微型逆变器拓扑(图 13), 前级是具有双极性输出的单开关高压 DC-DC 变换器, 由反激式变换器、耦合电感、开关电容单元、再生钳位电路和输出电压倍增器构成, 回收了漏感能量并吸收了升压开关上的电压尖峰, 减少了开关损耗, 便于控制, 实现了最大功率跟踪; 后级是常规半桥 DC-AC 并网逆变器, 开关管和二极管均采用零电流开关模式, 峰值效率可达 96.2%。其中, 电网电压为 220 V, 开关频率为 20 KHz,  $L_m = 1.25$  mH,  $L_{lk} = 12$   $\mu$ H,  $C_1 = C_2 = 4.4$   $\mu$ F,  $C_{o1} = 33$   $\mu$ F,  $C_{o2} = C_{o3} = 68$   $\mu$ F。

文献[17]提出的两级式升压反激式逆变器拓扑, 第一级由 Boost 变换器和反激式变换器构成(图 14), 将光伏模块侧的低电压升高到第二级的电压水平, 并实现最大功率跟踪功能, 第二级是半桥逆变电路, 其直流环节电容器的中间点与电网中性点相连, 可使接地漏电流显著减少。其中, 输入电压为 50 V, 电网频率为 50 Hz, 输出电压为 220 V,  $L_m = 600$   $\mu$ H,  $C_m = 10$   $\mu$ F。

## 4.3. 新型功率器件的应用

宽禁带半导体被称为第三代半导体材料, 具有禁带宽度大、电子漂移饱和速率高、导电性能好、介



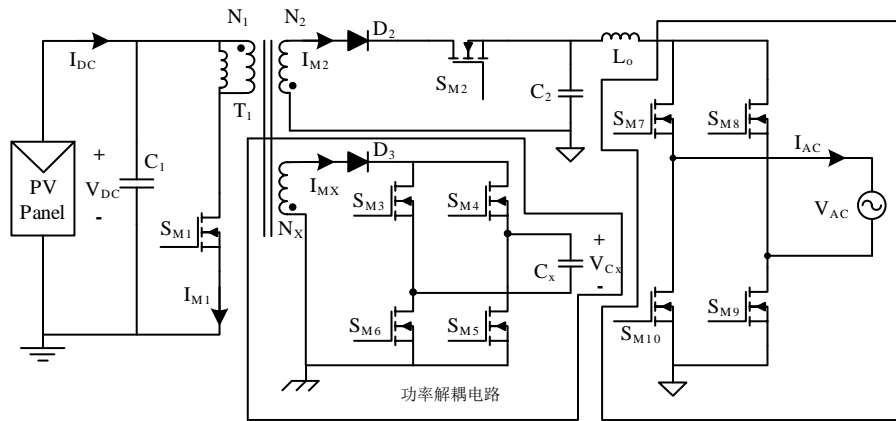


Figure 11. Topology proposed in reference [14]  
图 11. 文献[14]提出的拓扑

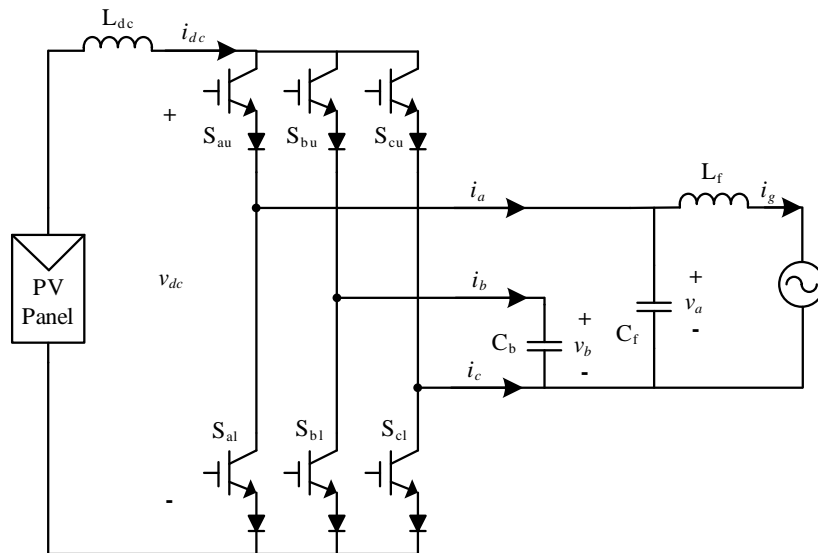


Figure 12. Topology proposed in reference [15]  
图 12. 文献[15]提出的拓扑

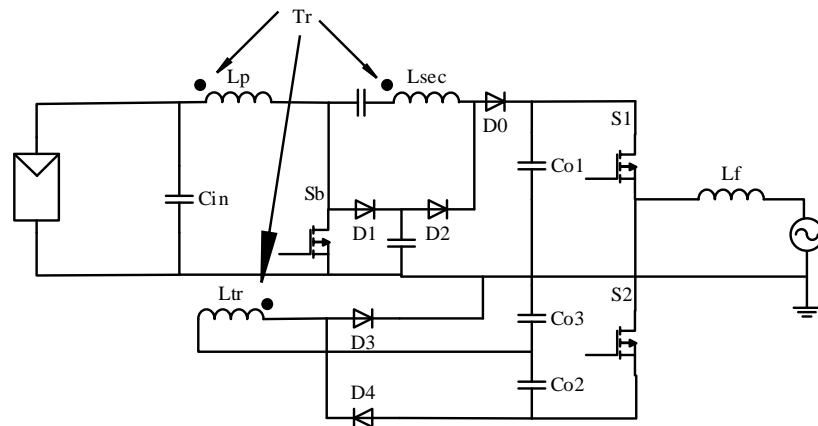


Figure 13. Topology proposed in reference [16]  
图 13. 文献[16]提出的拓扑

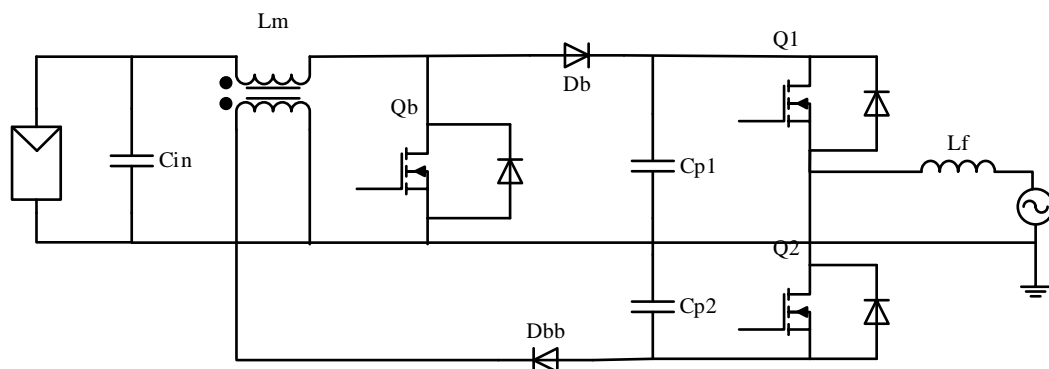


Figure 14. Topology proposed in reference [17]

图 14. 文献[17]提出的拓扑

电常数小等特点, 其优越性能在电力电子器件领域中具有广大前景, 可广泛应用于高温、高压、大功率、抗辐射、高集成密度等场合中。常规的半导体材料制成的功率器件, 受到自身材料的限制, 已经无法适应于高温、高压、大功率等环境下的工作, 因而如 SiC、GaN 的宽禁带半导体功率器件受到了极大关注, 图 15 为 Cree 公司第二代 SiC MOSFET 实物图。

文献[18]提出了一种伪直流链式的交错反激式微型逆变器拓扑(图 16), 开关频率为 100 KHz, 输出功率为 200 W。拓扑前端为交错反激式变换器, 产生与电网电压同相的正弦半波电流; 后端为全桥逆变器, 将反激整流输出电流折叠为满足电网需求的 50 Hz 正弦电流波。该拓扑具有器件数量少, 控制方法简单, 升压比高, 光伏板与电网间有隔离的优点。在此基础上, 分析了该拓扑分别采用 Si 二极管、SiC 二极管及 SiC MOSFET 同步整流管的效率对比。实验结果表明, 应用 SiC 二极管时较应用 Si 二极管的逆变器效率提升了 1.5%, 应用 SiC MOSFET 同步整流管时较应用 SiC 二极管的逆变器效率提升了 1%, 微型逆变器的峰值效率可达 94.2%。

## 5. 拓扑对比分析

表 1 为本文所述部分微型逆变器拓扑结构参数与性能对比, 由表 1 可知:

1) 单级式微型逆变器相对于多级式拓扑, 结构简单, 集成度高, 附加损耗少, 效率相对较高。但由于单级式逆变器需要在同一级内完成升压并网、最大功率跟踪等功能, 其控制方法比较复杂。

2) 隔离式拓扑结构中, 高频变压器的应用使得逆变器效率得到了极大的提升, 然而非隔离式无变压器结构的微型逆变器效率更高, 体积更轻, 尺寸更小, 成本更低, 但接地漏电流的出现是一大问题, 具有消除接地漏电流功能的改进拓扑结构, 使得其效率得到了提升。

3) 功率解耦电路的增加和薄膜电容的采用可以减小储能电容的尺寸, 从而提高微型逆变器的寿命。然而, 解耦电路的增加也会产生附加损耗, 导致整体效率的降低。为了降低成本并提升转换效率, 三端口逆变器由于其器件数量少, 集成度高, 转换效率高而成为了较好的选择, 其一个端口用来实现最大功率跟踪, 另一个端口用于功率解耦。

4) 例如碳化硅的宽禁带功率器件的采用, 替代了传统的硅器件, 可应用于大功率集成度要求高的场合, 使微型逆变器的效率与功率密度得到了极大的提升。

通过目前的分析对比可知, 单级式逆变器由于结构简单, 损耗低, 效率高, 如果能选择适当的控制方法, 使电路工作在软开关状态, 同时考虑到功率解耦技术以及漏电流的消除, 采用新型宽禁带功率器件, 将会使微型逆变器整体效率得到提升, 逆变器寿命得到延长, 系统可靠性得到提高。



Figure 15. Second generation SiC MOSFET of Cree Corporation  
图 15. Cree 公司第二代 SiC MOSFET

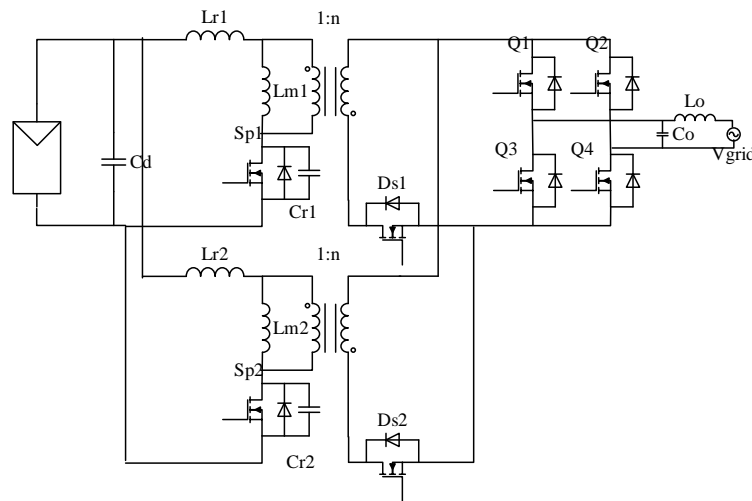


Figure 16. Topology proposed in reference [18]  
图 16. 文献[18]提出的拓扑

Table 1. Comparison of parameters and performance of topology  
表 1. 拓扑结构参数与性能对比

拓扑	功率(w)	开关	二极管	电感	电容	解耦电容	变压器绕组	效率	
单级式	图 7	133	6	6	6	5	0	97.60%	
	图 8	85	5	4	3	2	0	85%	
	—	217	4	4	0	3	0	97.50%	
	图 9	100	3	6	6	3	0	—	
	图 10	100	5	4	2	3	30 $\mu$ F	98.60%	
	图 12	—	6	0	2	2	—	0	—
	图 4	250	8	0	2	3	0	2	97.30%
多级式	图 5	250	3	7	2	3	0	2	—
	图 6	250	2	4	2	4	0	3	96.60%
	图 3	120	6	11	3	1	0	0	90%
	图 11	200	3	5	1	3	50 $\mu$ F	2	—
	图 13	150	3	5	1	4	0	3	96.20%
	图 14	100	10	2	1	3	—	3	—
	图 16	200	8	8	5	4	0	4	94.20%

## 6. 结论

本文阐述了微型逆变器的优势所在, 对比了单级式与多级式拓扑结构, 分析了各自的优缺点, 并分别对功率解耦技术、漏电流的消除、新型功率器件的采用进行了具体介绍, 提出了微型逆变器拓扑方案优化构思。并得出结论: 单级式微型逆变器拓扑相较于多级式拓扑, 由于结构简单, 集成度高, 附加损耗低, 效率相对较高等优点, 成为了近年来的研究趋势。高效率、高功率密度、高可靠行、低成本是光伏逆变器未来的发展方向, 因此若能在优化拓扑结构的基础上, 选择适当的控制方法, 使电路工作在软开关状态, 同时考虑到功率解耦技术以及漏电流的消除, 采用新型宽禁带功率器件, 将会使微型逆变器整体效率得到提升, 逆变器寿命得到延长, 系统可靠性得到提高。所面临的挑战以及具体优化方案, 值得更加深入的探讨。

## 基金项目

国家级中小企业创新项目(14c26211200316); 天津市科委项目: 高性能 LED 植物生长灯驱动电源关键技术研究(16JCTPJC46600)。

## 参考文献 (References)

- [1] Noor, S.Z.M., Omar, A.M., Mahzan, N.N. and Ibrahim, I.R. (2013) A Review of Single-Phase Single Stage Inverter Topologies for Photovoltaic System. *IEEE 4th Control and System Graduate Research Colloquium*, Shah Alam, 19-20 August 2013, 69-74.
- [2] Kjaer, S.B., Pedersen, J.K. and Blaabjerg, F. (2005) A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **41**, 1292-1306. <https://doi.org/10.1109/TIA.2005.853371>
- [3] 高文祥, 王明渝, 王立健, 等. 光伏微型逆变器研究综述[J]. *电力系统保护与控制*, 2012, 40(21): 147-155.
- [4] Ahmed, M.E.S., Orabi, M. and AbdelRahim, O.M. (2013) Two-Stage Micro-Grid Inverter with High-Voltage Gain for Photovoltaic Applications. *IET Power Electronics*, **6**, 1812-1821. <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2012.0666>
- [5] Zhao, Y., Wei, T., Hu, H. and Xing, Y. (2015) A High-Efficiency pv Grid-Tied Micro-Inverter with Soft Switching for Dc/Ac Stage. *IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications*, Auckland, 15-17 June 2015, 1150-1154.
- [6] Kang, J.S., Kim, Y.H., Youn, S.J., Won, C.-Y. and Jung, Y.-C. (2012) Active Clamp Fly Back Inverter Considering Leakage Inductance of Transformer for Photovoltaic AC Modules. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Seoul, 9-12 October 2012, 1379-1383.
- [7] Kim, Y.H., Shin, S.C., Lee, J.H., Won, C.-Y. and Jung, Y.-C. (2014) Soft-Switching Current-Fed Push-Pull Converter for 250-W AC Module Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **29**, 863-872. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2013.2258942>
- [8] Zhang, D., Zhang, Q., Hu, H., Grishina, A., Shen, J. and Batarseh, I. (2012) High Efficiency Current Mode Control for Three-Phase Micro-Inverters. *27th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Orlando, 5-9 February 2012, 892-897.
- [9] Abdel-Rahim, O., Orabi, M. and Ahmed, M.E. (2011) High Gain Single-Stage Inverter for Photovoltaic AC Modules. *26th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Fort Worth, 6-11 March 2011, 1961-1967.
- [10] Khalilian, M., Rad, M.M., Adib, E. and Farzanehfard, H. (2015) New Single-Stage Soft-Switching Fly Back Inverter for AC Module Application with Simple Circuit. *6th Power Electronics, Drives Systems & Technologies Conference*, Tehran, 3-4 February 2015, 41-46.
- [11] Fang, Y., Ma, X. and Xing, Y. (2012) Study on PV Micro-Inverter with Coupled Inductors and Double Boost Topology. *7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Singapore, 18-20 July 2012, 2054-2058.
- [12] Hu, H., Harb, S., Kutkut, N., Batarseh, I. and Shen, Z.J. (2013) A Review of Power Decoupling Techniques for Micro-inverters with Three Different Decoupling Capacitor Locations in PV Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **28**, 2711-2726. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2221482>
- [13] Nshaastegaran, P. and Karshenas, H.R. (2014) A Power Decoupling Technique for Single-Stage Micro Inverter in Ac-Module Application. *5th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference*, Tehran, 5-6 February

2014, 120-125. <https://doi.org/10.1109/PEDSTC.2014.6799355>

- [14] Chen, Y.M. and Liao, C.Y. (2011) Three-Port Fly Back-Type Single-Phase Micro-Inverter with Active Power Decoupling Circuit. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Phoenix, 17-22 September 2011, 501-506.
- [15] Bush, C.R. and Wang, B. (2009) A Single-Phase Current Source Solar Inverter with Reduced-Size DC Link. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, San Jose, 20-24 September 2009, 54-59.
- [16] Arshadi, S.A., Poorali, B., Adib, E., *et al.* (2016) High Step-Up DC-AC Inverter Suitable for AC Module Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **63**, 832-839. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2480387>
- [17] Arshadi, S.A., Adib, E. and Farzanehfard, H. (2014) Novel Grid-Connected Step-Up Boost-Fly Back Inverter with Ground Leakage Current Elimination for Ac-Module Application. *5th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference*, Tehran, 5-6 February 2014, 539-543. <https://doi.org/10.1109/PEDSTC.2014.6799432>
- [18] Tan, S., Lin, P., Hu, C., Chen, L. and Xu, D. (2014) Interleaved Fly Back Micro-Inverter with SiC Mosfet. *International Power Electronics and Application Conference and Exposition*, Shanghai, 5-8 November 2014, 285-290.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jee@hanspub.org](mailto:jee@hanspub.org)