

浅谈如何利用光耦合器提高 PV 逆变器的性能

太阳能 (PV) 逆变器将太阳能板产生的直流电压转换成交流电压, 可用于公共电网和商用电器。光耦合器为此一过程重要组成部分, 因其能防止转换过程中因元件损坏或传输失真造成的高电压和瞬变电压。本文将探讨提高光耦合器功率缓冲, 使其不易受到杂讯干扰的设计技术。

光耦合器助力太阳能逆变器可靠度大增

将太阳光转化成能量的过程中, 太阳能面板通常会产生高电压的直流输出。将直流输出转换成高电压的交流输出, 可将线路损耗降至最低, 并让输出的电力进行长距离传输, 既可传输到电力公司电网, 亦可传输到安装太阳能板的建筑物内部电网。直流对交流 (DC-AC) 的转换, 系由称为太阳能逆变器的子系统所完成, 其既可设计成单一的太阳能面板, 亦可用作对太阳能面板阵列进行转换的中央单元。

如果太阳能逆变器安装于单一的太阳能面板, 此称为微型逆变器 (图 1), 此为较小型的解决方案, 适用于住宅和一般建筑物, 其太阳能板的电力可直接用于建筑物的内部网路和商用电器。此种情况下, 通常逆变器工作功率小于 300 瓦 (W)。

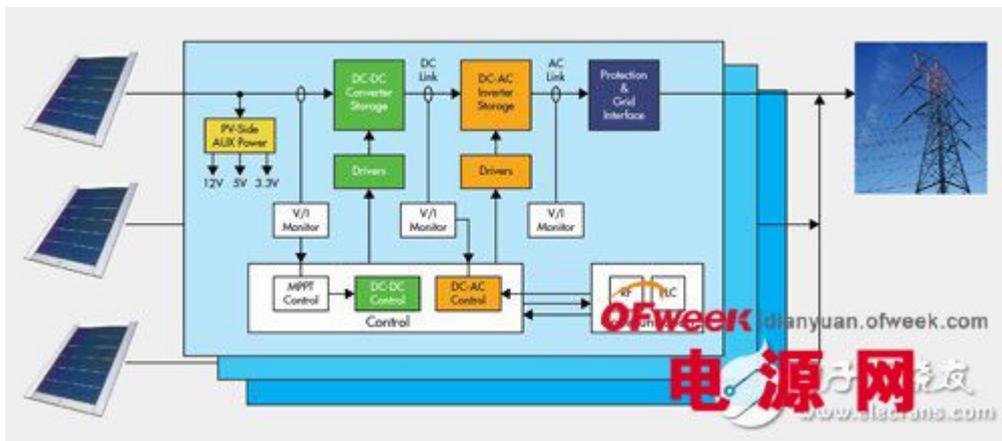


图 1 安装于单一 PV 板上的微型逆变器架构

当太阳能逆变器作为支援数个 PV 板的独立单元时, 称为中央逆变器 (Central Inverter) (图 2), 其块状图式本质上与微型逆变器相同, 只是多一个电池系统, 可存储多个太阳能板的能量, 然后输送到公用电网。中央逆变器的工作电压, 一般均在 1 千瓦 (kW) 或者以上。

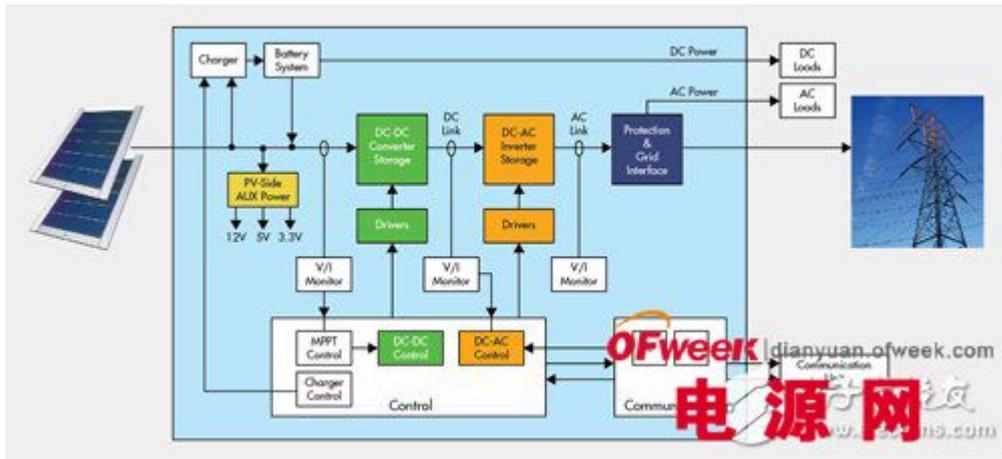


图 2 支援 PV 板阵列的中央逆变器架构

当光耦合器整合到驱动直流对直流（DC-DC）和 DC-AC 转换器的模组中，如图 1 和图 2 所示。在此两种类型的太阳能逆变器中，光耦合器皆为系统的重要组成部分，可防止线路一端的高电压和瞬变电压造成另一端的元件损坏或传输失真。

当用于隔离高杂讯、高电压和高电流的电路与低电压控制电路时，光耦合器可提高性能，让印刷电路板（PCB）尺寸变得更小，且电路设计更容易。将高电压元件与低电压控制电路隔离，亦有助于保护安装、操作或修理太阳能逆变器的电网员工或维修人员。

适用于太阳能逆变器的闸极驱动光耦合器，可驱动高速金属氧化物半导体场效电晶体（MOSFET）和绝缘闸双极电晶体（IGBT），并能优化启动性能、提高杂讯免疫力。

能驱动 1, 200 伏特（V）/20 安培（A）IGBT 和 MOSFET 的闸极驱动光耦合器，其高等级的共模抑制（CMR），使抗噪能力更强；100 奈秒（ns）的脉宽失真（PWD）可提高电源效率，让设计人员使用更小的滤波器，从而减小设计尺寸，降低成本；PWD 级支援 1, 414V 工作电压峰值，从而满足 1, 200VIGBT 切换。

简述光耦合器操作方式

可做为控制功率 MOSFET 或 IGBT 闸极的功率缓冲器（PowerBuffer）的光耦合器，以正电压（VOH）形式，为功率半导体的闸极提供峰值充电电流，从而开启设备。光耦合器将驱动设备的闸极拉至零电压（VOL）或更低，以便关闭闸极。

MOSFET 或 IGBT 通常以半桥拓扑配置排列。每个高压侧 N 通道 MOSFET/IGBT 的泄极连接到电源的正电极端，而每个源极连接到低压侧电晶体。低压侧电晶体的源极连接到系统电源的负电极。

图 3 为光耦合器的内部方块图。驱动器每一部分，皆由一个普通电源或偏压电源供电。启动过程中，第一次打开电源时，电路的复杂性会造成延迟，这会造

成闸极输出随着 VDD 电源而不断提高；它会不断上升，直到电源稳定。然后，一旦偏置电压正确，闸极驱动器输出就返回由发光二极管 (LED) 控制的正确状态。

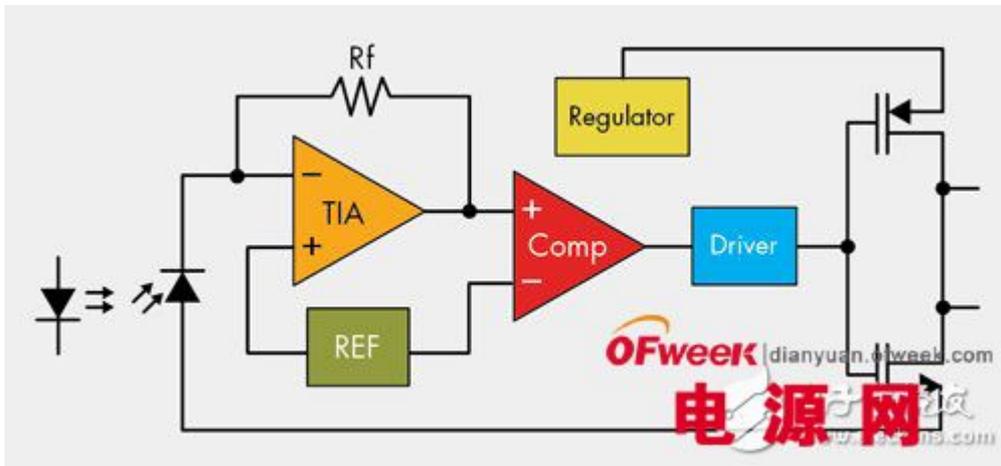


图 3 光耦合器方块图

设定好电源开启的顺序，可尽量减小等待光耦合器偏压电源稳定所造成的影响。太阳能逆变器通常有三个电源，一个逻辑电源 (3.3、5 或 10V)、光耦合器电源，以及一个高压电源对 MOSFET/IGBT 供电。按照电源排列顺序依次开启，首先逻辑电源，然后光耦合器电源，最后是 MOSFET/IGBT 电源。如此一来，有助于抵消稳定偏压电源造成的影响。这样的开启顺序，亦满足逻辑控制的上电复位 (Power-onReset) 和隔离驱动器电源的靴带式 (Bootstrap) 充电时间。

对于 LED 驱动器，正向电流峰值 $I_F \ll 1A$ (1 微秒 (μs), 300pps)。建议的工作电流是 10~16 毫安培 (mA)。电流上升时间小于 250 奈秒 (ns)，这样的特性可尽量降低传输延时，并减少输出开关抖动。

高增益 (23dB)、高功率输出的光学放大器，需要一个超过直流范围，高达 40MHz 的低阻抗电源；使用低 ESR 旁路电容和讯号地平面，可协助降低自发电源杂讯，并防止输出上升和下降时间的消褪。

共模抑制为衡量杂讯指标

高频瞬变为杂讯的一种，可能会损坏光耦合器的隔离屏障的资料传输。CMR 系对光耦合器抵御瞬变杂讯能力的衡量标准。CMR 为衡量光耦合器性能的最重要指标之一，其他指标还有隔离等级和工作电压等。

八接脚 DIP 共面 (Coplanar) 结构的光耦合器，可提供输出电容高电介质 (Dielectric) 绝缘和低输入。八接脚 DIP 封装允许大于 8 毫米 (mm) 的沿面和间隙距离及 0.5mm 绝缘距离，以实现可靠的高电压绝缘。

因此，闸极驱动器光耦合器解决方案，可提供更多的绝缘安全缓冲区，而电容性或电感式解决方案的绝缘距离不到 0.1mm。如此一来，优化安全并降低杂讯

耦合。这装置采用共面光学耦合技术，以阻挡由负载切换产生的电子杂讯所引起的干扰。而且还有一个特殊电光学遮罩，可降低开关瞬态和光耦合器的主动电路之间发生电容耦合的机率。

一般 240V 交流电源转换器会产生 800V 开关瞬态，以及大于 $6\text{kV}/\mu\text{s}$ 的转动率。此大幅度的瞬态，会导致 3mA 峰值电流于输入和输出之间流动（用于 CIO 只有 0.5 皮法 (pF) 的隔离设备时）。图 4 显示一则范例，一个电容耦合了耦合器的输入和输出之间的杂讯电流。

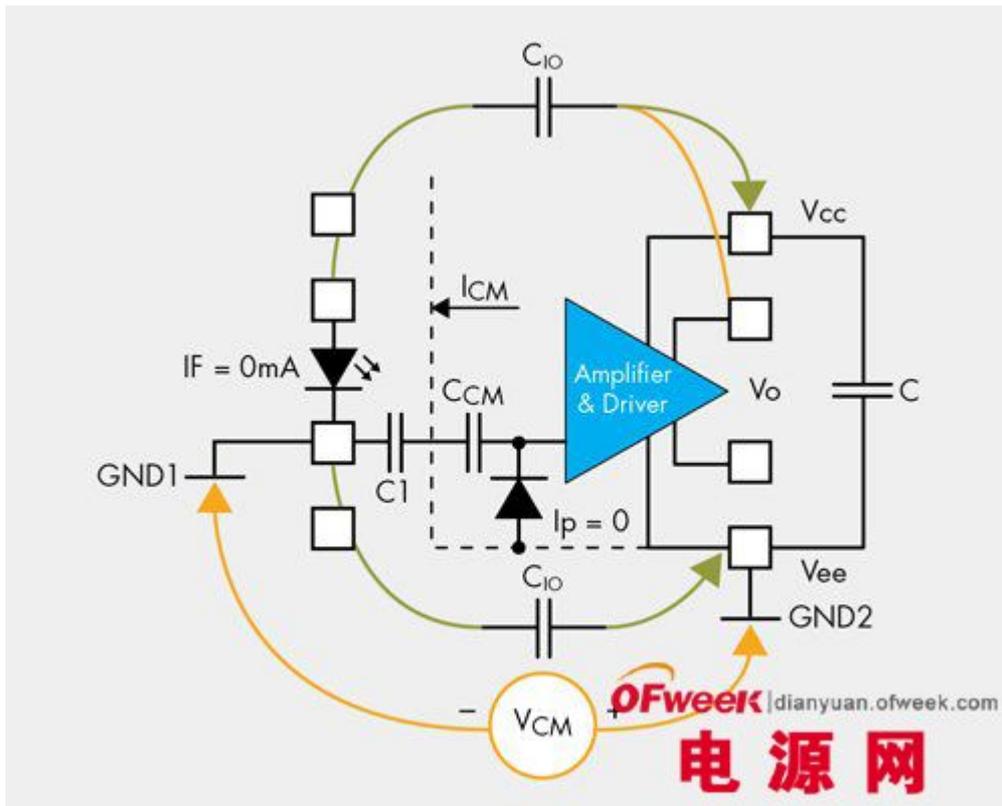


图 4 电流模式抑制 LED 「OFF」

共模瞬变具有负电压摆动率，与耦合器的输出接地 (GND2) 引用一样；该瞬态可将耦合器的输出牵引到输出；包电容 (PackageCapacitance) 即 CIO，提供输入和输出之间的主要耦合阻抗；当 LED 关闭时，闸极的输出为低状态；如果有充裕的共模电流 i_{CM} 从输入端牵引到光学放大器，放大器则会开启。

杂讯电流 i_{CM} 为极小，因为有特殊共模遮罩可阻挡电子遮罩变化造成的影响，该遮罩会最小化流入或流出光学放大器的耦合，将有效的共模耦合电容限制到小于 50pF。如此一来，光耦合器能轻松抑制最大幅度为 1.5kV 放入正或负的共模瞬变，以及超过 $15\text{kV}/\mu\text{s}$ 的转动率。

当通过 LED，IF 的控制电流等于 10mA 时，驱动器输出电流为高，源电流流向负载。正 dv/dt 会从放大器中牵引出电流，增强光电流；负 dv/dt 会将电流引向放大器，抵销光电流，并可能导致放大器因而从高过渡到低。

当 I_F 等于 0mA 时，驱动器输入为低，会从负载汲入电流。正 dv/dt 会从放大器拉出电流，并可能导致放大器从低过渡到高。负 dv/dt 会将电流引入放大器，并协助维持放大器维持输出为低状态。

一般情况下，尽量减少逻辑控制和功率半导体之间的耦合电容，可大幅度降低共模杂讯瞬变成为正常模式脉冲杂讯的能力。于驱动点使用低且平衡的阻抗，可提高抗干扰能力，使用电化隔离 (Galvanic Isolated) 驱动器进行功率 MOSFET 控制，可将共模杂讯耦合降至最低。

分流 LED 提升半桥配置效能

半桥拓扑配置中，共模瞬变抑制尤其重要，因为正常电流工作状态下的开关瞬变，可能导致关闭的闸极驱动打开。分流 (Shunt) LED 即可派上用场，可提升半桥配置的抗电流模式瞬变能力，并将包电容的负载 dv/dt 耦合维持于低阻抗——对于正在运行的 LED 或正在运行的 BJT 或逻辑闸的开态电阻。但此作法的缺点是，增加分流 LED 驱动会降低效率，因为无论 LED 开启还是关闭，此电路皆会消耗电量。图 5 为一个配置样本。

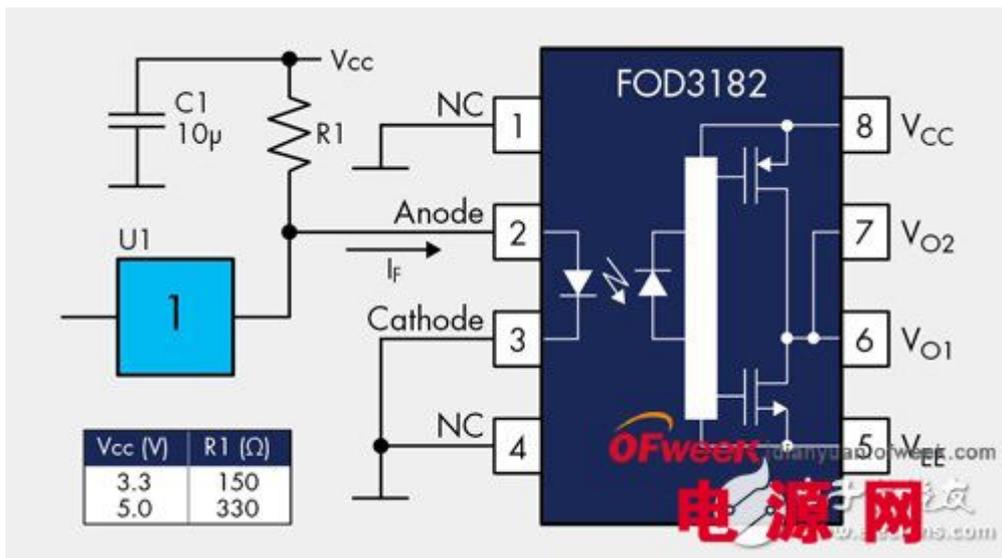


图 5 带有分流 LED 驱动的光耦合器架构

LED 与驱动开关并联，以形成电流分流驱动。U1 是一个开路泄极逻辑闸，做为一个驱动器。当开关关闭且 U1 为高时，会有 LED 电流经过。若要关闭 LED，须将闸强制变为低状态，这会将经过 LED 的电压降低至小于所需的正向电压值。它还能提供低阻抗，降低共模传导电流对 LED 运行的影响。

了解光耦合器最大开关频率

使用光耦合器时，了解设计的最大开关频率会非常有用，此项计算涉及两个基本步骤，首先必须确定于最大工作结温 125°C 和室温 100°C 下，光耦合器输出驱动器 MOSFET 可扩散的最大功率。其次，确定于给定 MOSFET 闸极的充电和放电

电流情况下，输出电晶体的扩散 RMS 功率，以及整个光耦合器电晶体的 $R_{DS(ON)}$ 压降。

太阳能逆变器在产生和传输干净与永续能源方面，发挥重要作用。执行 DC-AC 转换时，须对高压电流进行谨慎、有效的隔离，而光耦合器正适用于此种功率缓冲。如果特别注意启动要求和使用的技术提高抗干扰能力，则可协助优化光耦合器的性能。

本文中描述的栅极驱动光耦合器，与离散式功率 MOSFET 和 IGBT 的产品兼容，因此，设计人员可统一设计电力转换电路的逻辑、隔离和 MOSFET 部分。该解决方案可将毫瓦 (mW) 转换成 kW，并同时提供初级和次级电路之间的隔离。