

逆变器的设计技术及电路拓扑纵览

Trace Engineering Company, Inc. U. S. A 著

董文斌 译

二〇〇一年

第一部分 电子开关类型 Electronic Switch Types

这一部分我们将考查业已用于和正在运用于逆变器设计的各种开关类型。逆变器上使用的这些开关的使用目的就在于：把直流电 DC 分解成脉冲列，而这些脉冲随之可能被应用于变压器或滤波器系统而产生高压交流电（AC）。

由于开关的设计技术和性能持续改进提高，使得逆变器效率不断提高，体积不断减小，功率水平不断增大。由于生产工艺的改进和采用新材料，半导体开关类型已发生了巨大的变化。由低质量开关导致的损失已经大大减少了，而且每天都有新的进步产生。下面让我们首先来考查几种不同类型的开关。

一. 振动变流器开关 Vibrator Switches

最早的商业上的逆变器（比如 Tripp-lite）是通过使用机械振动变流器实现逆变器内的开关功能的。这种类型的开关本质上是一种振动继电器，这种振动变流器有很强的处理大电流的能力，而且阻性损耗很低。

总的说来，振动变流器解决了一些实际问题（即应付了一时之需）。或者说，在半导体尚未发明之前（虽然当时效率低下且需要很高工作电压的真空管作为新型电子元件是可用的，但真空管的特性决定了它是不可能用于逆变器设计的），振动变流器就是问题的解决方案。

振动变流器最大的缺点就是事实上它们是一个机械装置，而且可能可靠性很低。触点遭受电弧的烧灼，当有允许的持续的电流流过时，某些情况下会把触点焊接在一起。半导体一出现，振动变流器类型的开关就被半导体完全取代了。

二. 可控硅整流开关 Silicon Controlled Rectifier (SCR's)

可控硅整流型开关（称为 SCR's）已经取代了机械振动变流器开关。这种开关完全是固态的且能量的流通是被一个“门”控制的。当门极电流达到一定的阀限，则可控硅整流器就会导通，且只有当门极电流降到其关断极限以下时可控硅才会关断。这样就可以把可控硅看作一个闭锁型的电子继电器。

可控硅突出的一点是其处理大电流的能力（某些类型的可控硅可高达 1000A）和在高电压下良好工作；其缺点是：有较高的静态压降（典型地超过 1.0V）和很低的开关速度（这使得它不适用于高频应用）。可控硅的另一个问题是其关断能力，即在什么情况下可控硅不会关断。

现在可控硅仍然在那些空载损耗占总的输出能量极小百分比的应用中广泛

运用着（比如：某种 20KW 的逆变器）。

三. 达林顿晶体管 Darlington Transistors

达林顿对晶体管是稍后一种用于逆变器的开关元件。容易制备的锗晶体管在高效工作情况下，很难有足够高的增益。锗晶体管的典型增益为 10。这意味着要驱动流过晶体管的 60A 的工作电流，必须有 6A 的驱动电流，显然效率太低了。

达林顿晶体管开关的出现解决了这样一个问题：获得了高增益（一般地，它的增益大于 100）。这种开关的工作性能良好，但有两个缺陷使得它不适合于某些类型的逆变器。它的高阻抗特性，必然意味着低效率。另外，低的开关速度意味着其在高频逆变器应用中是不适合的。

四. 金属—氧化物—半导体场效应晶体管 (MOSFET Metal Oxide Semiconducting Field Effect Transistor)

最新、最伟大的开关技术是金属—氧化物—半导体场效应晶体管的出现。在某些方面，场效应晶体管解决了逆变器设计中遇到的所有问题。场效应管本质上是一个可变电阻，其通态电阻非常低，而且场效应管易于驱动（在电路中易于连接）；它的损耗很小，通流能力很好（60—100A）。场效应晶体管可能的很少缺点当中之一是它们不能在高压下操作，而且通流能力仍然达不到 SCR 的水平。然而，场效应晶体管非常易于并联工作，场效应晶体管由于其坚固耐久性，是中等功率应用的理想元件；实践证明：不论高频还是低频，场效应管都是逆变器应用的一种卓越的开关类型。

五. 绝缘栅双极型晶体管 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

IGBT 像一个带有场效应控制栅极的双极型晶体管。就像场效应晶体管，IGBT 易于驱动，但不象场效应晶体管有很高的静态压降（典型地，不低于 1.5—2V）。IGBT 集合了 SCR 的某些特性，比如非常好的高工作电压和大电流处理能力。以 IGBT 太慢的开关速度，使得把 IGBT 用于高频电路变成一件非常复杂的任务。

在一定高的工作频率下应用这种类型的开关是有许多益处的，但必须承担为使其可靠、高效工作而进行设计所带来的花费和复杂劳动。另外，较高的空载损耗使得这种开关更适合运用于大功率高电压领域。

第二部分 逆变器电路拓扑和设计实践

Inverter Topologies and Design Practices

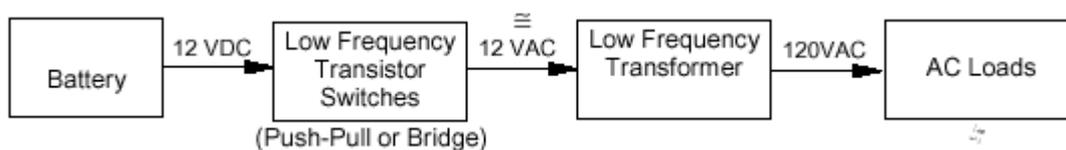
许多拓扑结构，或者说电路设计，已经大大推动了由低压直流电源建立高压交流电这一逆变技术的进步。这一部分将考查过去、现在和将来的电力逆变器的设计技术。

一. 方波和改善方波逆变器

1. 基于低频变压器的逆变器

下面的电路拓扑都是基于在低压直流边有低频开关，并把直流脉冲加到一个升压变压器上的结构。两种常见的电路拓扑是推挽电路和H桥电路。推挽拓扑适合于产生方波和改善方波输出，而H桥用于产生方波或正弦波输出。

通常的基于低频变压器的逆变器流程图表示如下：



2. 方波逆变器

方波逆变器的名称来源于其输出波形的形状（见图1）。

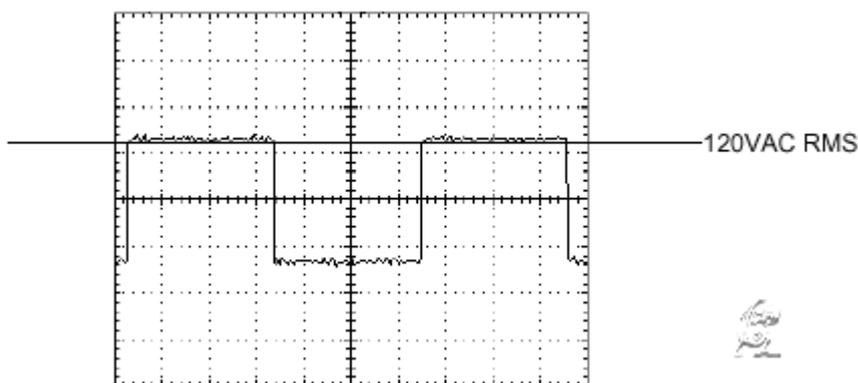


图1 方波输出波形

方波逆变器是最初的电子逆变器。最早的逆变器，如 Ttipplite, 利用机械振动变流器形式的开关把低压直流电分解成脉冲，这些脉冲被输入到一个变压器，经变压器升高电压。随着半导体开关的兴起，机械振动变流器已完全被固态晶体管开关取代。

最常见的电路拓扑是用于产生方波输出的推挽电路（见图 2）。

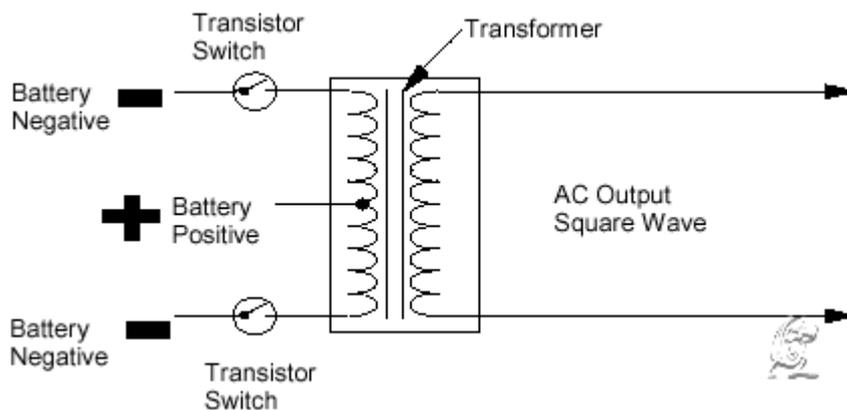


图 2 推挽电路—方波输出

推挽电路设计实际的基本工作原理如下：

上面的晶体管开关关闭使得电流从电池负极通过变压器初级绕组流向正极。这就在变压器副边建立起一个电压，这个电压等于电池电压的若干倍（实际上就是变压器的变比，初次级线圈的匝数比）。

注：在同一时刻只有一个开关闭合（见下面图 4A 所示）。

经过大约 8ms 时间（60Hz 交流周期的一半）后，开关被触发。上面的开关打开，下面的开关关闭使电流以相反的方向流过（见下面图 4B 所示）。这个周期反复重复，高压交流电就产生了。

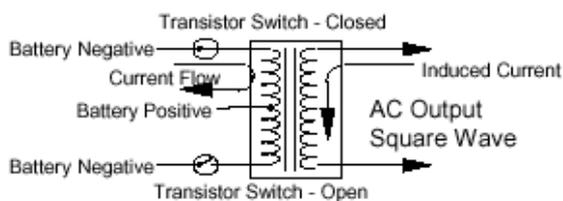


图 4A

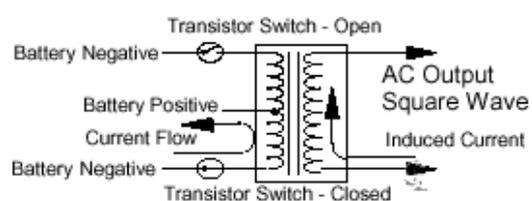


图 4B

采用推挽电路这种方式的主要问题是变压器中的电流不得不瞬间转换方向。这就像一辆以每小时 50 公里速度行驶的汽车突然转向一样，这导致效率突然降低，同时也使波形发生了畸变。另一个缺陷是一个作为推挽电路设计的变压器必须有两个初级绕组。这种变压器设计的要求是一项复杂的任务，而且增加成本、体积又笨重。

方波逆变器仍在生产并广泛应用着。但它有几个主要的缺陷：输出波形中有很高的总谐波畸变（THD, Total Harmonic Distortion）。这种波形的电力用于驱动马达时由于会产生过热，所以马达不会很好工作。这是由其波形特性及缺乏

电压调节能力决定的——输出脉冲电压的峰值直接取决于电池电压，由于变压器变比是固定的，电池电压的任何变化都会影响到输出峰值电压。对方波来讲，电压有效值等同于峰值电压，进而输出功率取决于电池电压。

最后，大多数方波逆变器都有很普通的效率（典型地大约为 80%），而且空载损耗很高。

3. 改善方波逆变器

在推挽方波电路中加入一个额外的绕组及其它一些部件就可输出改善方波（市场上常见的通常称为改善正弦波）（见图 5）。

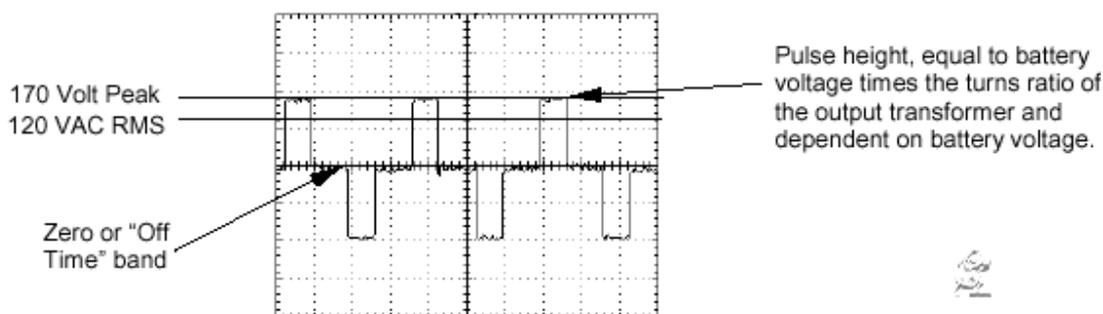


图 5 改善方波

开关的开关周期除了一个额外的步骤外，和方波逆变器部分的描述是一样的。在开关周期中，多了一个用以消除变压器中电流突然换相带来的问题的步骤。这是通过图 6 中所示的一个关断时刻短接线圈（off-time shorting winding）来完成的。当一个开关打开，另一个开关闭合前，通过短接线圈的开启闭合，有效地耗掉了变压器中的电流。这就像一辆小轿车先减速然后掉头一样，这就比先前提到的情况好多了。关断时刻短接为输出波形提供了一个绝好的过零方法，这等同于为此使用更多的电子设备。另外的好处是提高了效率、降低了总的谐波畸变。有些制造商通过在交流输出线上直接加接一个固态开关来实现关断时刻短接功能。这种方法当然可以采用，但这个开关和交流输出线是不隔离的，因而易于遭受由电抗性负载（如：电机）引起的瞬态输出变化而损坏。把短接线圈设在变压器上更可取，因为它和交流输出是隔离的。

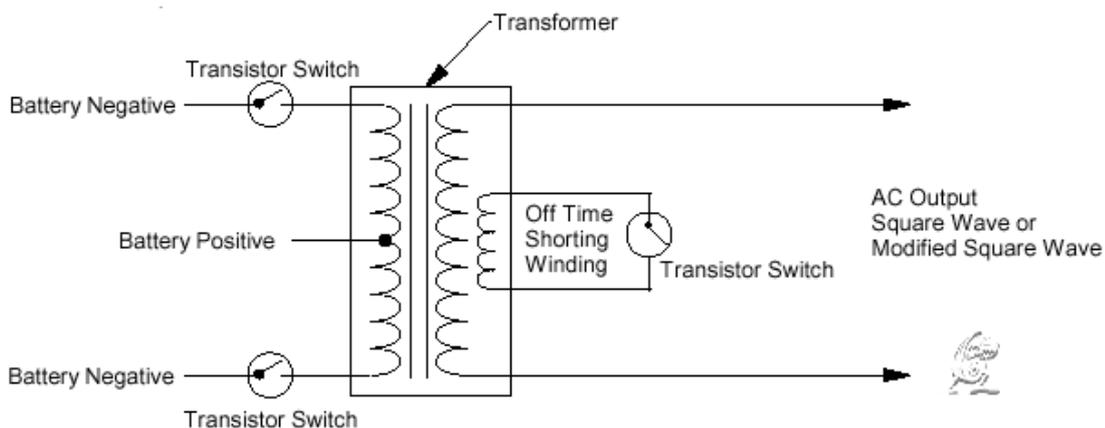


图 6 带有短接线圈的推挽电路

改善方波的主要优点在于它可以通过改变脉冲宽度(或者说改变关断时间)来调节输出电压的有效值(RMS, Root-Mean-Square)。调节脉冲宽度(即使之宽度变化)的方法指的是脉冲宽度调制(PWM, Pulse Width Modulation)技术。

有效值调节的实质是把波形的内部面积等效为全部时间内的面积。由于峰值电压, 或说脉冲高度, 是由电池电压和变压器变比决定的(正如前面提到的一样), 当峰值电压增大时, 在脉冲宽度不变的情况下, 脉冲内部面积必然增大。方波逆变器对电压有效值的增加无能为力, 但是若 PWM 控制允许脉冲宽度变窄, 那么就可以保持波形内部面积为定值(见图 7B)。

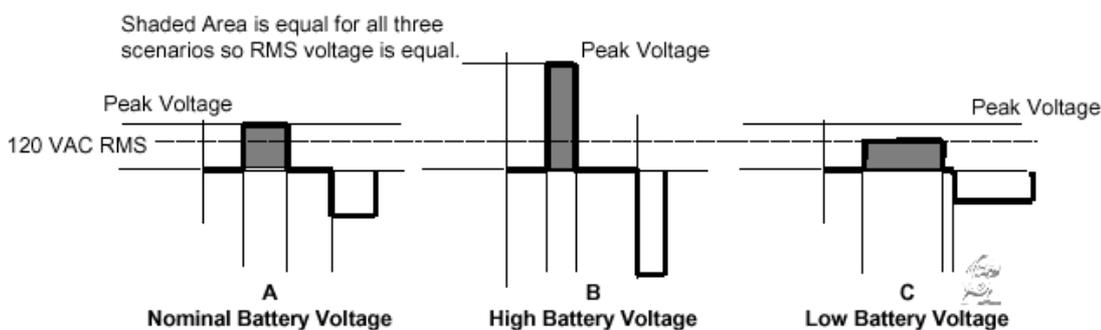


图 7B 利用 PWM 调节电压有效值

相反地, 如果电池电压减小, 那么输出电压有效值也将减小(如果脉冲宽度不变)。在这种情况下, 可以通过减小脉冲的宽度, 实现对电压有效值的调节。

增大或减小脉冲宽度是通过控制晶体管开关的开通、关断的时间来实现的。事实上, 存在这样一点, 随着脉冲宽度的增加, 过零时间点将不再出现; 实际上, 这时候呈现出的正是方波。超过这一点, 电压有效值就不再可调了。

改善方波逆变器比之于方波逆变器是一个巨大的进步。它们提供了一种很好的电压调节方式, 具有很低的总谐波畸变和较高的总体效率。

电动机在改善方波电压的驱动下，可以良好运行，其它电气设备也可无故障地运行。

4. 推挽电路概要

推挽电路结构是电子逆变技术发展过程中的第一步。它的一些主要缺点是：变压器设计太过复杂；对方波设计而言，变压器损耗太大。

其优点是电路的整体设计简单，制造成本低廉。

现在仍然有许多制造商把推挽电路结构运用于电力逆变器。

二. H 桥逆变器

H 桥结构与推挽结构一样可以完成大致相同的任务. 这种结构的主要优点是其变压器初级绕组只需一个绕组。H 桥逆变器是随着半导体晶体管技术的发展而出现的。由于电流要流经串联的两只晶体管开关(而不是推挽电路中的一只), 这意味者其损耗将是旧式推挽逆变器的两倍。这就使得推挽电路成为产生方波和改善方波的基本电路。场效应晶体的出现使得人们可以更容易地运用 H 桥电路。

图 8 所示为即为一个 H 桥电路开关的布置情况。晶体管被分成四个组或四个“角”，桥的中间通过变压器原边连接起来形成一个 H 形。实际上，每一组晶体管开关都是由多个晶体管并联组成的，为的是在开关导通时可以处理很大的电流，并且有较低的损耗（称作晶体管的“通态损耗”）。另外必须注意到在 H 桥电路的变压器上没有关断时刻短接线圈。电流仍然转换方向，但现在是通过同时关闭底部的两组开关完成短接功能的。这样在上面的开关打开后，可以有效地短接变压器的初级线圈，移除残余的电流。

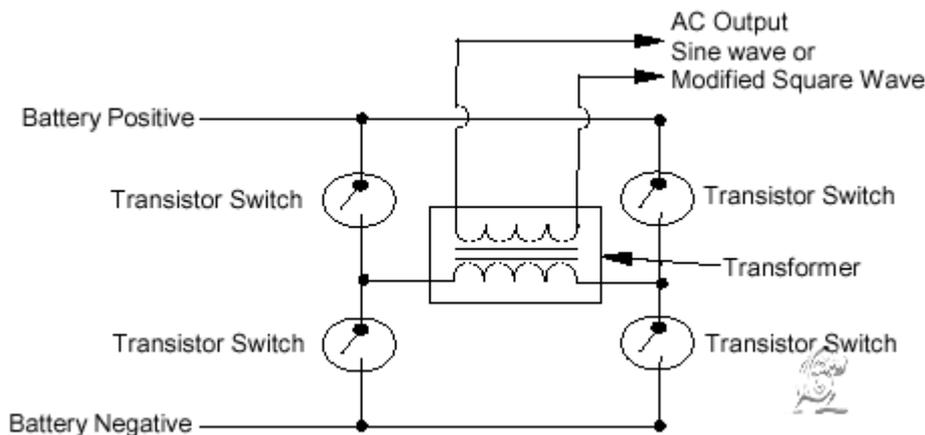


图 8 H 桥拓扑结构

就像推挽电路一样，晶体管以一种有序而具体的方式打开、闭合，以产生

波形的每一部分。这种方式如下所述：

桥的相对的两角的开关闭合，允许电流从电池的负极经变压器原边绕组流回电池的正极端（图 9A）。这个电流在变压器的副边也激发起一个电流，其对应的峰值电压等于电池电压的若干倍，当然这个倍数就是变压器的变比。

经过一段时间（随对电压调节的脉冲宽度调制控制而不同），先前闭合的开关打开，底部的两组晶体管开关闭合实现关断时刻短接（图 9B）。开通时间和关断时间长度（或称为脉冲的宽度）是由 PWM 控制器决定的。

下一步，在 A 中另一组对角的开关闭合，允许电流以 A 中相反的方向流过变压器（图 9C）。这半个周期完成以后，底部的开关关闭实现关断时刻短接，随之这样的周期重复发生，交流电产生了。

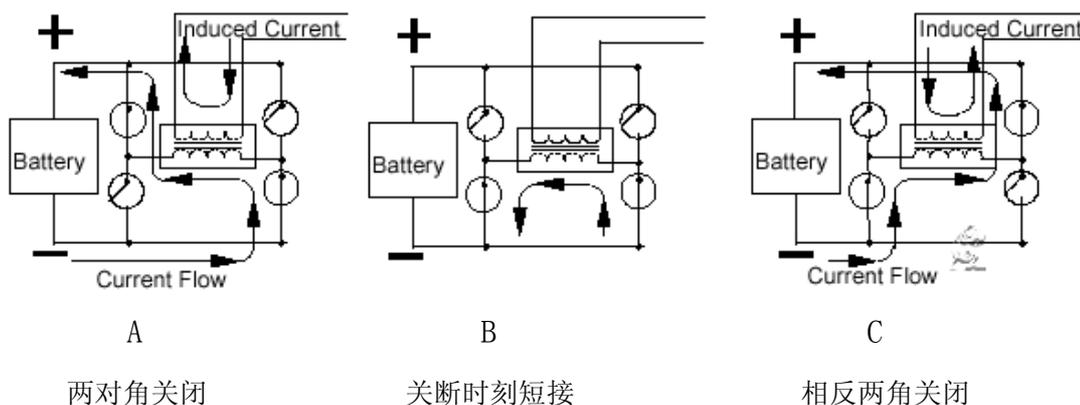


图 9 H 桥状态示意图

H 桥设计的效率主要依赖于所使用的晶体管开关的品质和并联晶体管的数目。这种设计的损耗绝大多数发生在晶体管开关上，所以随着晶体管技术的进步，使基于 H 桥的逆变器的性能的提高也会成为可能。使用 H 桥电路的逆变器的例子是 Trace 工程公司的 DR 和 SW 系列逆变器。

三. 双变压器低频逆变器

用以产生改善方波的双变压器方案等同于两个方波输出、且变压器次级线圈串接在一起的推挽逆变器（低频）（图 10）。通过合理安排两个逆变器开关的开关时间使得它们彼此不同相地工作，结果的波形就是改善方波。Heliotrope 逆变器就是应用双变压器设计的。

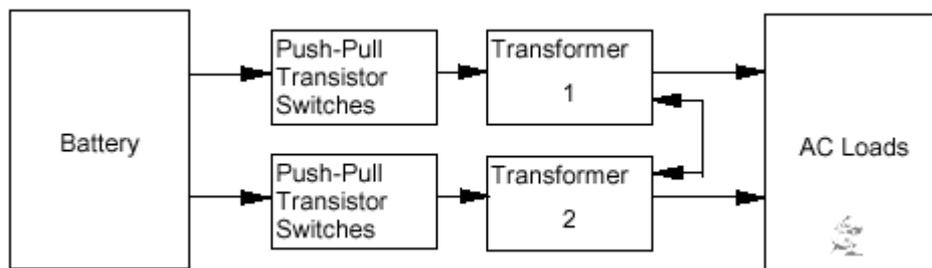


图 10 双变压器——仅为改善方波

这种变压器中开关的工作方式和前面在推挽逆变器中所描述的是一样的。图 11 所示的为每个变压器的输出波形，以及整个的输出结果。通过调节两方波形间的相位关系是可以实现最终输出的脉冲宽度调节的。

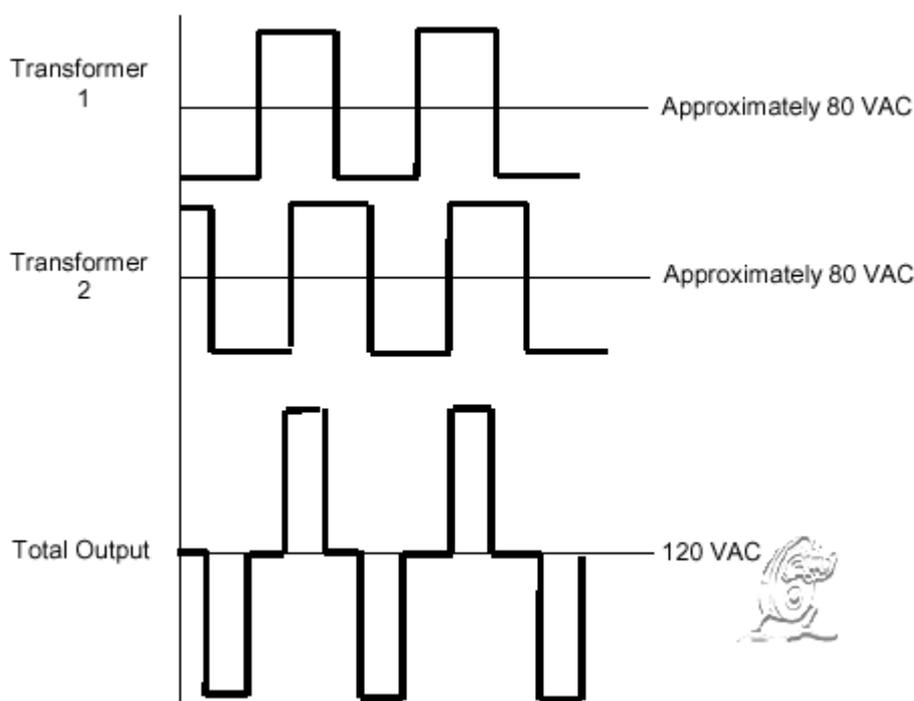


图 11 双变压器输出波形

四. 高频逆变器 (HF Inverter)

高频逆变器是另一种由低压直流建立高压交流的途径。其名称当中的高频是指晶体管开关的速度。这种逆变器先把蓄电池低压直流变为低压交流，之后经过一个高频变压器产生高压交流。这个高压交流随之被整流（变回直流）变成高压直流，最后通过一个低频开关（一个 H 桥）产生交流电。

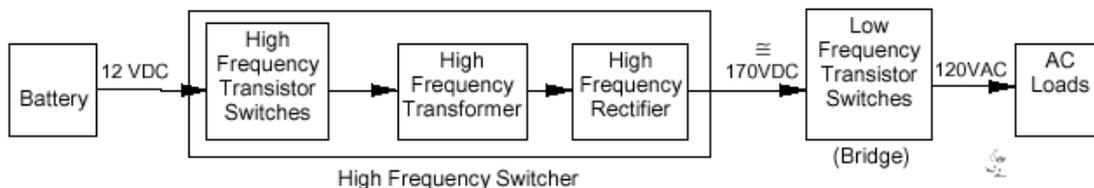
高频变压器输出可能是改善方波或正弦波。

高频设计的缺陷是起动电动机或电抗性负载时的抗浪涌能力比较差；而且实际上其部分晶体管与交流输出并不是隔离的，由电抗性负载引起的瞬态现象极

可能导致输出晶体管的损坏。另外，一般地高频逆变器的负极并不和交流输出隔离。

以下所示为一个高频改善方波输出逆变器的流程图。

高频逆变器流程图：



晶体管开关的结构是一个变压器原边被一个高压源代替的 H 桥型开关布局，且通常是倒转使用的（图 12）。高压开关的作用是把输入的低压直流变成高压直流输出。高压电源的正、负极端通过桥交替地和交流输出线接通，这样一来输出脉冲宽度被调制了。这提供了一种极好的电压调节功能。

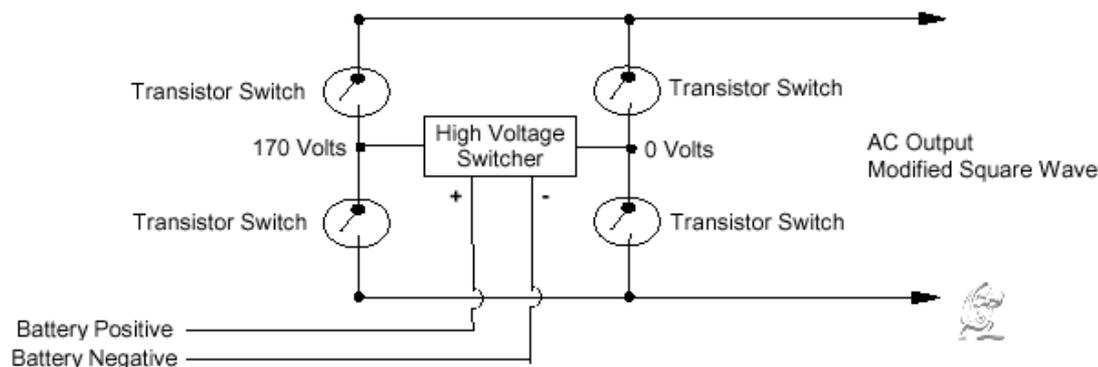
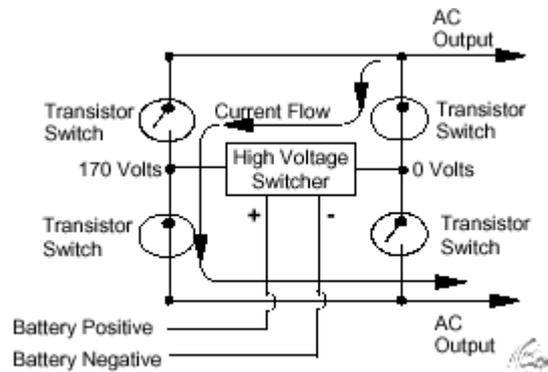


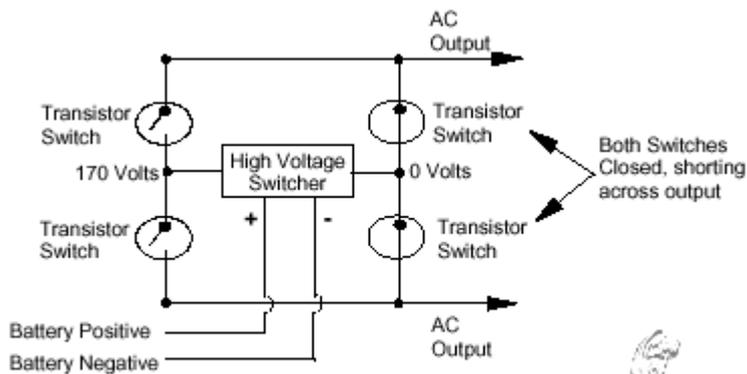
图 12 基于 H 桥电路的高频逆变器

在高频逆变器中被通断的电压是直流高压。在一个基于 H 桥的低频逆变器里，电池的低压直流通过变压器被通断。高频设计的关断时刻短接是通过开闭连接交流输出边且在高压直流开关零电压边的两个晶体管实现的。谨记：在开关转换其间开关必须要进行开关时刻短接。

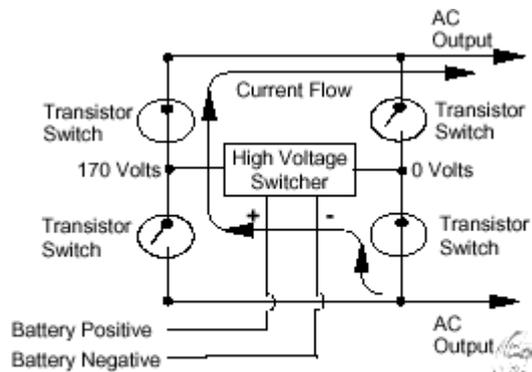
下面三幅图是高频逆变器一个周期内开关状态的示意。由于 H 桥开关已经讨论过，故这里仅给出关于输出级开关状态的图解描述和电流的流向。



13A, Two Opposite Corners Closed



13B, Off-time Shunting



13C, Other Two Corners Closed

图 13 高频逆变器 H 桥开关状态图

高频开关逆变器的主要优点是重量轻、体积小。在小功率逆变器（功率低于 300W）当中高频逆变器的成本是较低的。

高频逆变器的缺点是其抗浪涌能力很差，这当然是由于其基于桥式电路的开关能量转换特性决定的（这限制了它在电动机性负载中的应用）。由于晶体管开关和输出交流负载间没有变压器的隔离且电路中的电流就像“飞轮”一样突然快速转向，这使得驱动感性负载时晶体管非常易于损坏。

高频逆变器呈现出很高的空载电流，这是由于其高压开关经常地在运行，而且这通常会导致高频信号对电视、无线广播信号的干扰。

五. 正弦波输出逆变器

就像改善方波和方波逆变器一样，有多种途径和电路拓扑已经被用来设计正弦波输出的逆变器。这些逆变器由于在驱动负载方面更像公共电网而变得十分可取。其缺陷就是构造这种逆变器随之而来的复杂工作和较高的花费。正弦波如图 14 所示，图上有几个关键点。

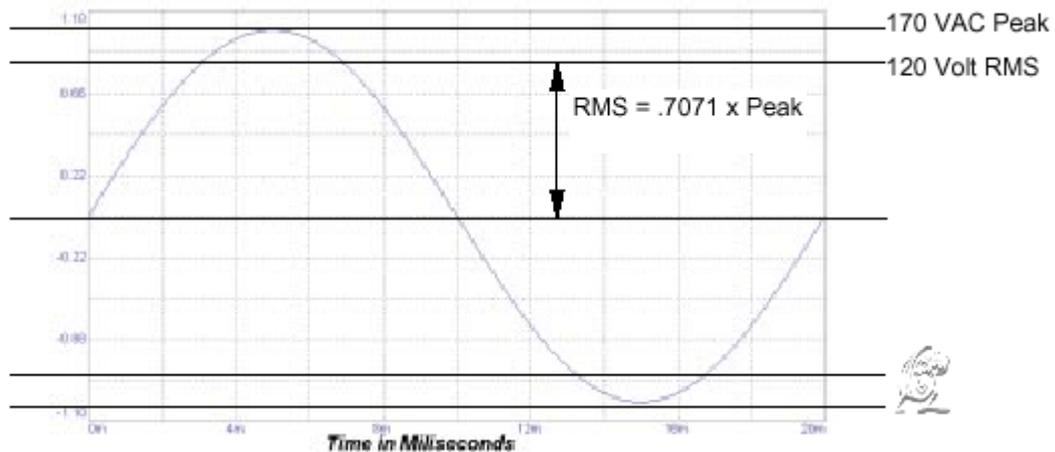


图 14 纯正弦波 (50Hz 频率)

六. 旋转变流逆变器

最早的从 DC 到 AC 的逆变器是旋转变流逆变器。实质上，这种设备是一台由直流电动机拖动的交流发电机（见图 5）。旋转变流逆变器的优点是可以产生非常纯的正弦波输出，当然这是以其极低的效率（典型地为 60%）和非常高的空载损耗为代价的。

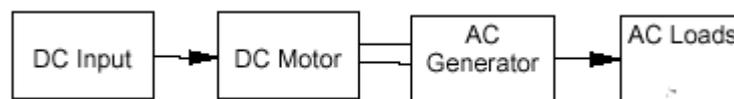


图 15 旋转变流逆变器系统框图

Redi-Line 公司仍然生产旋转变流逆变器，它们仍在伺服机车和航空器上广泛应用着，尽管已在提高效率方面有了一些技术上的进步，但大部分已过时了。

旋转变流逆变器的可靠性非常高。但更多的缺陷，诸如太差的抗浪涌能力（起动电机）、笨重、庞大的体积和很大的工作噪音已把这种类型的逆变器推到了一种即将退出但还没有退出历史舞台的境地。

七. 亚铁共振变压器逆变器

亚铁共振正弦波输出逆变器利用的是某种变压器的感应特性。感应器就是一个可以储存能量并且试图反抗电路中的电流的变化的线圈绕组。一个感应器就像一个磁性“飞轮”。换句话说，如果把电压加到感应器上，感应器将会抵抗并试图减慢电流的上升。相反地，如果电流已经在流过感应器且突然移去，感应器就会释放自身存储的能量并试图阻止电流归零。结果，电流的降落时间被延长。这种反作用就体现为阻止电流的变化。不幸的是，这种感应导致了变压器有一种相对较低的效率（典型的为 50%），而且波形极易受负载波动而变形。

把一个具有很高感应系数的亚铁共振变压器作为一个滤波器设置在低频方波或改善正弦波逆变器的输出端，便可产生粗糙的近似正弦波。

下图所示为一个基本的亚铁共振变压器的流程图。

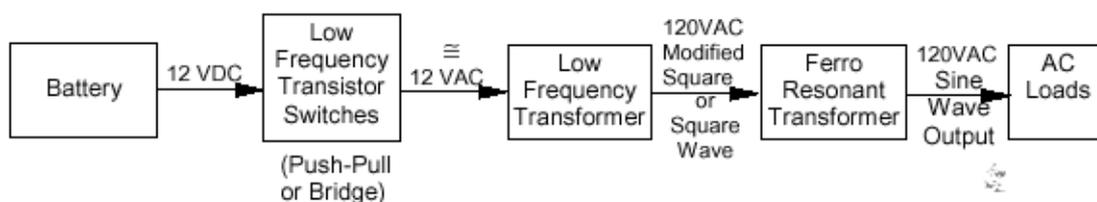


图 16 所示为一个亚铁共振变压器的工作情况。当波形开始上升时，亚铁共振变压器延缓了波形的上升时间(图 16A)。当波形停止上升并开始变平延伸时，变压器把这视为一种电流减小的变化趋势，并释放其能量，由此导致波形出现向上的毛刺(图 16B)。接着，当变压器开关打开时，波形开始下落，而感应器试图阻止电流的下落，因此延缓了波形的下落时间(图 16C)。当电流在变压器中换向后，这个过程又在负脉冲中重现。

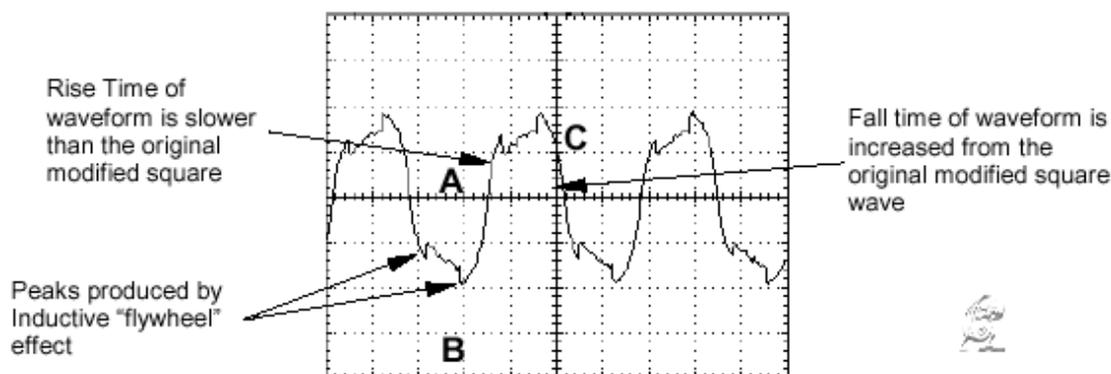
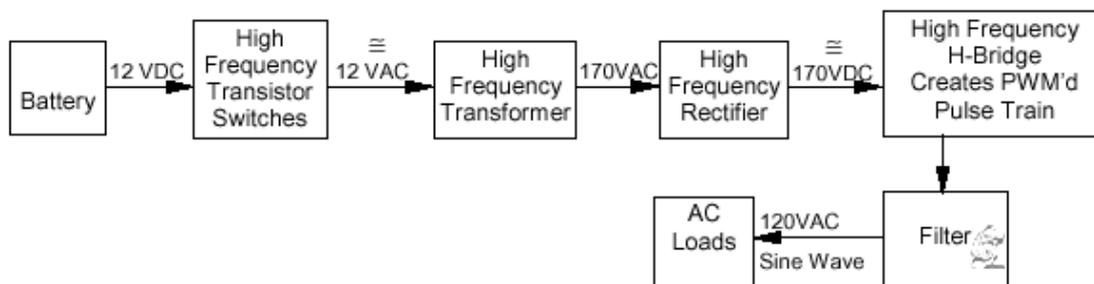


图 16 一台基于亚铁共振变压器的改善方波逆变器的实测波形（驱动 75W 白炽灯负载）

亚铁共振变压器仍在逆变器中使用着，亦或作为抑制输出尖峰的滤波器。Topaz 和 Line Tamer 这两家公司仍把它用作亚铁共振滤波器。

八. 高频正弦波输出逆变器

高频正弦波输出逆变器和高频改善方波逆变器的工作方式几乎是相同的。下面所示为其系统流程图。



高频正弦波输出逆变器和高频改善方波逆变器之间的最大的不同之处在于最终阶段的开关和交流负载之前的滤波器。H 桥对已经整流而得的高压直流 (DC) 进行转换并工作在高频状态下。低频 H 桥改善方波方案中每半个周期产生一个脉冲, 高频 H 桥正弦波逆变器用许多宽度不同 (PWM) 的正高压直流脉冲及负高压直流脉冲, 在这一点上二者是不同的。在交流负载之前滤波器把这些脉冲拉平为正弦波。

高频正弦波逆变器中晶体管开关的工作过程没有太大的不同, 仅有一点点的不同。当对角的两个开关关闭, 这两个关闭的开关中的一个在设定的高频脉冲宽度调制时钟点关闭或打开。由此产生的高频脉冲列如图 16 所示。在经过一定数量的脉冲后, 开关就象高频改善方波逆变器中一样进行关断时刻短接。之后, H 桥又转换到相对的另一两个开关从头开始, 一个晶体管导通对的 PWM 周期开始重复。

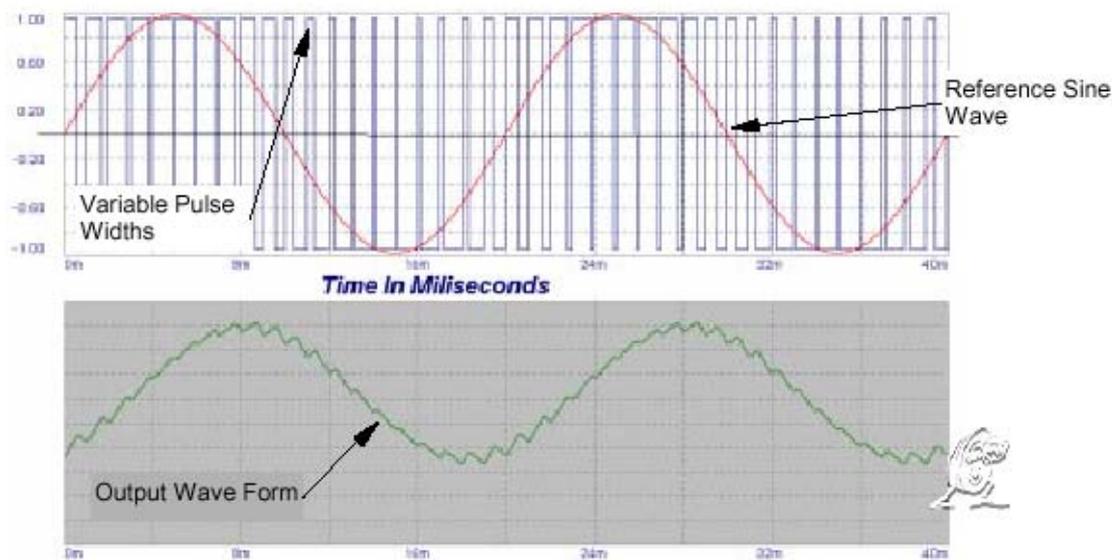


图 17

输出滤波器通常是感性的滤波器，它把由高频 H 桥产生的脉冲拉平以产生正弦波输出。Excel Tech. 公司在其高频逆变器设计中就是应用的这种方案。

正弦波输出的高频逆变器方式工作状态很好，但仍不能解决我们在高频改善方波逆变器中提到的问题。这些问题包括晶体管与交流输出缺乏隔离、太低的抗浪涌能力和太高的空载损耗。而且，正如前面提到的一样，高频开关的干扰也是一个问题。

九. 低频正弦波逆变器

位于华盛顿州的 Trace 工程公司通过一种有效的途径即由低频逆变器开发出产生正弦波输出的逆变器，并获得了专利。Trace 公司的 SW 系列逆变器使用一个三个变压器的结合体，其中每一个变压器又都有它自己的低频开关，它们串联耦合在一起并且被内部相互独立又相互联系的微控制器控制着。通过把来自不同变压器的输出加以综合，一个阶梯状的正弦波就产生了。图 18 所示为一个 Trace 公司的 SW 系列逆变器的输出波形。注意其阶梯的台阶组成的波形就是一个正弦波的形状。Trace 公司的正弦波逆变器输出波形的总的谐波含量典型的为 3-5%。

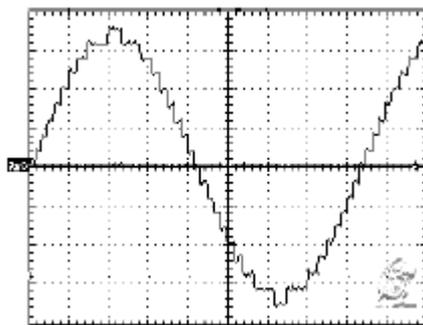
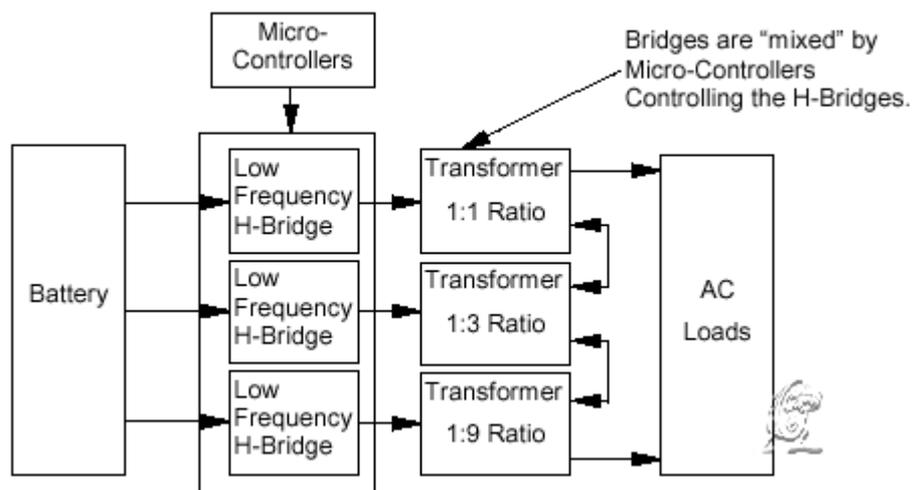


图 18 Trace 公司 SW 系列逆变器输出波形

多个台阶的输出是通过以一定顺序综合三个变压器以调节电压而形成的。波形中无论何处总是每一个交流周期呈现 34-52 个台阶。负载越重或直流输入电压越低，波形中的台阶就越多。

这种逆变途径的主要缺点是实现起来比较复杂。复杂的设计要求必然直接导致成本的提高，因而这种逆变器，尽管通常比较好，但也常常是很昂贵的。然而，这种逆变器解决了许多在由高频和亚铁共振途径产生正弦波设计中出现的问题。正如已论述过的，低频逆变器有着很好的抗浪涌能力，高效率（典型地为

85-90%)，良好的电压和频率调节功能，很低的总的谐波含量。



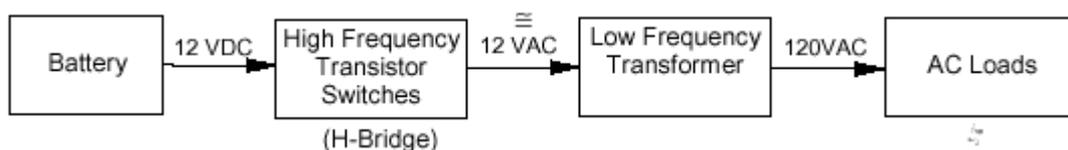
十. 混合高/低频正弦波逆变器

把高频逆变器和低频逆变器整合起来就可得到混合频率或说高/低频正弦波输出逆变器。其名字来自于这种逆变器吸收运用了高、低频两种逆变器的设计方法。

混合频率逆变器的电路拓扑与 H 桥改善正弦波逆变器相近，不同之处在于开关是工作在高频状态下的，这和前面提到过的高频正弦波逆变器设计非常相似。这种方案的典型产品是 Dynamote Brutus 和 Kenetech 逆变器。

这种结构的另外一个有利条件是它是双向的，即它允许逆变器同时作为电池充电器使用。混合频率逆变器的输出波形幅值非常容易控制，这使得这种逆变器可以并网运行或用以驱动电机。

以下为一个混合逆变器的原理流程图。



混合逆变器提供了一种无论是高频还是低频逆变器设计所遇到的问题的解决方案。它们允许有较高的抗浪涌能力，交、直流隔离（通过变压器），很高的效率（典型地为 85-95%），很低的谐波含量（典型地为 1-5%），非常好的正弦波输出。这种设计非常坚固耐用，且可靠性较高。

结论:

人们已经尝试过多种逆变器设计方法。如上所述，它们又各有千秋。所谓“最好”的逆变器正在发明当中，如果得以实现，将意味着它可提供无穷大的能量，且效率为 100%，纯正弦波输出。然而，正如生活中没有免费的午餐一样，我们必须随着半导体技术的进步不断地设法应付当前的技术的挑战。

表 1 逆变器类型比较

Topology	Switch Type	Switch Frequency	Waveform Type	Total Harmonic Distortion	Typical Efficiency	Idle Power Consumption	Surge Ability	Interference	DC—AC Isolation	Reliability
Vibrator	Mechanical	Low	Square	High ($\approx 50\%$)	60-80%	High	Poor	Medium	Yes	Poor
Push-Pull	SCR	Low	Square	High ($\approx 50\%$)	80%	High	Good	Low	Yes	Good
Push-Pull	MOSFET	Low	Modified Square	Medium ($\approx 15-35\%$)	80-90%	Low	Very Good	Low	Yes	Good
H-Bridge Low Freq.	MOSFET	Low	Modified Square	Medium ($\approx 15-35\%$)	85-95%	Low	Very Good	Low	Yes	Good
H-Bridge High Freq.	MOSFET	High	Modified Square	Medium ($\approx 15-35\%$)	85-90%	Medium	Poor to Good	High	No	Poor
Dual Xfrmr	MOSFET	Low	Modified Square	Medium ($\approx 15-35\%$)	80-90%	Medium	Good	Low	Yes	Good
Rotary	Mechanical	Low	Sine Wave	Low	50-70%	High	Poor	Low	Yes	Poor
Ferro Resonant	MOSFET	Low	Semi-Sine Wave	Medium ($\approx 15-35\%$)	50-70%	High	Poor	Low	Yes	Good
High Frequency	MOSFET	High	Sine Wave	Very Good (1-5%)	70-90%	High	Poor	High	Yes	Poor
Low Frequency Multi-Step	MOSFET	Medium-low	Sine Wave	Very Good (3-5%)	85-95%	Low	Very Good	Low	Yes	Very Good
Hybrid High/Low	MOSFET	High	Sine Wave	Very Good (1-5%)	85-95%	Medium	Good	Low	Yes	Very Good