



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107078647 B

(45)授权公告日 2020.03.20

(21)申请号 201580053013.8

(22)申请日 2015.10.02

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107078647 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(30)优先权数据  
14/505,126 2014.10.02 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.03.30

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2015/053816 2015.10.02

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02016/054565 EN 2016.04.07

(73)专利权人 德克萨斯仪器股份有限公司  
地址 美国德克萨斯州

(72)发明人 J·M·莱斯滕 D·道宾  
V·桑托斯

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245  
代理人 赵志刚 赵蓉民

(51)Int.Cl.  
H02M 3/338(2006.01)

(56)对比文件  
CN 101183829 A,2008.05.21,  
CN 101120501 A,2008.02.06,  
CN 102412708 A,2012.04.11,  
US 6157177 A,2000.12.05,

审查员 刘姝晗

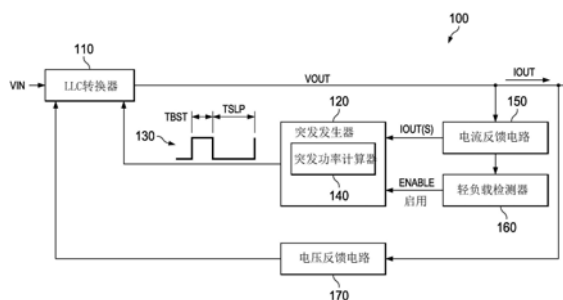
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

## (54)发明名称

改善LLC转换器的待机效率的系统和方法

## (57)摘要

在描述的示例中,系统(100)包括将输入DC电压转换成输出DC电压的LLC转换器(110)。突发发生器(120)产生具有突发时间和休眠时间的开关信号,以当LLC控制器(110)的输出负载电流低于预定阈值时操作LLC转换器(110)。突发功率计算器(140)为开关信号调节休眠时间,使得在突发时间期间LLC转换器(110)的输出功率相对于输出负载电流中的变化保持基本恒定。



1. 一种用于LLC转换器的系统,其包括:

电感器/电感器/电容器转换器即LLC转换器,其将输入直流电压即输入DC电压转换成输出DC电压;

突发发生器,其产生具有突发时间和休眠时间的开关信号,以当所述LLC转换器的输出负载电流低于预定阈值时操作所述LLC转换器;以及

突发功率计算器,其为所述开关信号调节所述休眠时间,使得在所述突发时间期间所述LLC转换器的输出功率不管所述输出负载电流中的变化保持基本恒定。

2. 根据权利要求1所述的系统,其进一步包括电流反馈电路,所述电流反馈电路对由所述突发功率计算器采用的所述输出负载电流进行采样,以为所述开关信号调节所述休眠时间,使得在所述突发时间期间所述LLC转换器的输出功率不管所述输出负载电流中的变化保持基本恒定。

3. 根据权利要求2所述的系统,其进一步包括检测器,所述检测器检测所述输出负载电流何时已经下降到低于所述预定阈值。

4. 根据权利要求3所述的系统,其中当所述检测器检测到所述输出负载电流已经下降到低于所述预定阈值时,启用所述突发发生器的输出。

5. 根据权利要求1所述的系统,其中当所述开关信号的所述突发时间保持恒定时所述突发功率计算器为所述开关信号调节所述休眠时间,使得所述突发时间相对于所述休眠时间的占空比将所述LLC转换器的效率调节到最大阈值水平,同时减轻由所述LLC转换器产生的高于最小可听阈值的声学噪声。

6. 根据权利要求5所述的系统,其中所述休眠时间由所述突发功率计算器根据方程式
$$T_{SLP} = \left( \frac{P_{BST}}{I_{OUT} \cdot V_{OUT}} - 1 \right) \cdot T_{BST}$$
调节,其中 $T_{SLP}$ 表示所述休眠时间, $P_{BST}$ 表示在所述突发时间期间递送的转换器功率, $I_{OUT}$ 表示所述输出负载电流, $V_{OUT}$ 表示所述输出DC电压,以及 $T_{BST}$ 表示所述突发时间,其中 $T_{BST}$ 保持恒定以计算 $T_{SLP}$ 。

7. 根据权利要求1所述的系统,其进一步包括电压反馈电路,所述电压反馈电路通过采样所述输出DC电压并且将其反馈到控制所述LLC转换器的切换的调制器来调节所述输出DC电压。

8. 根据权利要求1所述的系统,其中所述系统被配置为升压转换器、降压转换器或隔离转换器。

9. 一种电路,其包括:

电感器/电感器/电容器转换器即LLC转换器,其将输入直流电压即输入DC电压转换成输出DC电压;

突发发生器,其产生具有突发时间和休眠时间的开关信号,以当所述LLC转换器的输出负载电流低于预定阈值时操作所述LLC转换器;以及

突发功率计算器,当所述开关信号的所述突发时间保持恒定时所述突发功率计算器为所述开关信号调节所述休眠时间,使得所述突发时间相对于所述休眠时间的占空比将所述LLC转换器的效率调节到最大阈值水平,同时减轻由所述LLC转换器产生的高于最小可听阈值的声学噪声。

10. 根据权利要求9所述的电路,其进一步包括电流反馈电路,所述电流反馈电路对由所述突发功率计算器采用的所述输出负载电流进行采样,以为所述开关信号调节所述休眠时间,使得在所述突发时间期间所述LLC转换器的输出功率不管所述输出负载电流中的变化保持基本恒定。

11. 根据权利要求10所述的电路,其进一步包括检测器,所述检测器检测所述输出负载电流何时已经下降到低于所述预定阈值。

12. 根据权利要求11所述的电路,其中所述检测器是比较器,其将所述输出负载电流的样本与预定轻负载阈值进行比较。

13. 根据权利要求11所述的电路,其中当所述检测器检测到所述输出负载电流已经下降到低于所述预定阈值时,启用所述突发发生器的输出。

14. 根据权利要求9所述的电路,其中所述突发功率计算器为所述开关信号调节所述休眠时间,使得在所述突发时间期间所述LLC转换器的输出功率不管所述输出负载电流中的变化保持基本恒定。

15. 根据权利要求14所述的电路,其中所述休眠时间由所述突发功率计算器根据方程式  $T_{SLP} = \left( \frac{P_{BST}}{I_{OUT} \cdot V_{OUT}} - 1 \right) \cdot T_{BST}$  调节,其中 $T_{SLP}$ 表示所述休眠时间, $P_{BST}$ 表示在所述突发时间期间递送的转换器功率, $I_{OUT}$ 表示所述输出负载电流, $V_{OUT}$ 表示所述输出DC电压,以及 $T_{BST}$ 表示所述突发时间,其中 $T_{BST}$ 保持恒定以计算 $T_{SLP}$ 。

16. 根据权利要求9所述的电路,其进一步包括电压反馈电路,所述电压反馈电路通过采样所述输出DC电压并且将其反馈到控制所述LLC转换器的切换的调制器来调节所述输出DC电压。

17. 根据权利要求16所述的电路,其中所述电压反馈电路包括模数转换器即ADC,所述模数转换器相对于参考值对所述输出DC电压进行采样以调节所述输出DC电压。

18. 一种用于LLC转换器的方法,其包括:

通过控制器确定由电感器/电感器/电容器转换器即LLC转换器产生的输出负载电流何时下降到低于预定阈值;

产生具有突发时间和休眠时间的开关信号,以当所述LLC转换器的输出负载电流低于所述预定阈值时操作所述LLC转换器;以及

当所述突发时间保持恒定时为所述开关信号调节所述休眠时间,使得在所述突发时间期间所述LLC转换器的输出功率不管所述输出负载电流中的变化保持基本恒定。

19. 根据权利要求18所述的方法,其进一步包括当所述开关信号的所述突发时间保持恒定时为所述开关信号调节所述休眠时间,使得所述突发时间相对于所述休眠时间的占空比将所述LLC转换器的效率调节到最大阈值水平,同时减轻由所述LLC转换器产生的高于最小可听阈值的声学噪声。

20. 根据权利要求18所述的方法,其进一步包括根据方程式  $T_{SLP} = \left( \frac{P_{BST}}{I_{OUT} \cdot V_{OUT}} - 1 \right) \cdot T_{BST}$  计算所述休眠时间,其中 $T_{SLP}$ 表示所述休眠时间, $P_{BST}$ 表示在所述突发时间期间递送的转换器功率, $I_{OUT}$ 表示所述输出负载电流, $V_{OUT}$ 表示输出DC电压,以及 $T_{BST}$ 表示所述突发时间,其中

$T_{BST}$  保持恒定以计算  $T_{SLP}$ 。

## 改善LLC转换器的待机效率的系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明一般涉及开关电源,并且更具体地涉及在LLC转换器的突发模式操作期间控制功率以平衡转换器的轻负载效率和声学性能的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 谐振直流-直流(DC-DC)转换器能够实现很低的开关损失并因此使谐振电路拓扑能够以高开关频率操作。一个具体的拓扑是电感器/电感器/电容器(LLC)谐振转换器,其使用谐振储能电路,该谐振储能电路包括后接两个电感器(用来输入的一个串联电感器、一个并联电感器)的串联电容器。此类转换器可以用于多种应用中并且当负载连接时提供高效率。在一些应用中,负载是瞬态的并且是:(a)在某些时间连接;以及(b)在其他时间,保持未连接。例如,为膝上PC供电的壁式转换器(wall converter)在PC连接时递送功率,并在PC未连接时递送有限的功率。然而,当PC未连接时,转换器的工作效率可能受损。

### 发明内容

[0003] 在描述的示例中,在电感器/电感器/电容器(LLC)转换器的突发模式操作期间,一种系统和方法控制功率以平衡转换器的轻负载效率和声学性能。在一个示例中,系统包括LLC转换器以将输入直流(DC)电压转换成输出DC电压。突发发生器(burst generator)产生具有突发时间和休眠时间的开关信号,以当LLC转换器的输出负载电流低于预定阈值时操作LLC转换器。突发功率计算器为开关信号调节休眠时间,使得在突发时间期间LLC转换器的输出功率相对于输出负载电流中的变化保持基本恒定。

[0004] 在另一个示例中,一种电路包括LLC转换器以将输入DC电压转换成输出DC电压。突发发生器产生具有突发时间和休眠时间的开关信号,以当LLC转换器的输出负载电流低于预定阈值时操作LLC转换器。当开关信号的突发时间保持恒定时,突发功率计算器为开关信号调节休眠时间,使得突发时间相对于休眠时间的占空比将LLC转换器的效率调节到最大阈值水平,同时减轻高于最小可听阈值的由LLC转换器产生的声学噪声。

[0005] 在又一个示例中,一种方法包括确定LLC转换器产生的输出负载电流何时下降到低于预定阈值。该方法包括产生具有突发时间和休眠时间的开关信号,以当LLC转换器的输出负载电流低于预定阈值时操作LLC转换器。该方法包括当突发时间保持恒定时为开关信号调节休眠时间,使得在突发时间期间LLC转换器的输出功率相对于输出负载电流中的变化保持基本恒定。

### 附图说明

[0006] 图1示出在LLC转换器的突发模式操作期间控制功率的系统的示例。

[0007] 图2示出信号的示例,该信号具有用于LLC转换器的突发模式操作的占空比。

[0008] 图3示出在LLC转换器的突发模式操作期间控制功率的示例电路。

[0009] 图4示出在LLC转换器的突发模式操作期间控制功率的示例方法。

## 具体实施方式

[0010] 本发明涉及在电感器/电感器/电容器 (LLC) 转换器的突发模式操作期间控制功率以平衡转换器的轻负载效率和声学性能的系统和方法。在一个示例中, LLC转换器将输入直流 (DC) 电压转换成输出DC电压并且能够包括升压、降压或缓冲配置, 其中输入电压和输出电压被调整在基本相同的电平。在LLC转换器的轻负载条件下, 突发发生器产生具有突发时间和休眠时间的开关信号以当LLC转换器的输出负载电流低于预定阈值时操作LLC转换器。突发功率计算器为开关信号调节休眠时间, 使得在突发时间期间LLC转换器的输出功率相对于输出负载电流中的变化保持基本恒定。这可以通过当调节开关信号的休眠时间时设定突发时间为恒量来实现, 使得不管输出负载电流如何变化, 在突发时间期间LLC转换器的输出功率保持基本恒定。不管负载电流变化如何, 通过将突发时间期间的输出功率控制为基本恒定的电平, 可以在轻负载条件下提高转换器效率, 同时减轻当功率电平增大时在转换器中可能发生的声学可听效应。

[0011] 图1示出在LLC转换器110的突发模式操作期间控制功率的系统100的示例。系统100包括电感器/电感器/电容器 (LLC) 转换器110以将输入直流 (DC) 电压 (VIN) 转换成输出DC电压 (VOUT)。突发发生器120产生具有突发时间 (TBST) 和休眠时间 (TSLP) 的开关信号130, 以当LLC转换器的输出负载电流 (IOUT) 低于预定阈值时操作LLC转换器110。突发功率计算器140为开关信号130调节休眠时间, 使得LLC转换器110的输出功率在突发时间期间相对于输出负载电流中的变化保持基本恒定。

[0012] 电流反馈电路150对来自LLC转换器110的输出负载电流IOUT采样。来自电流反馈电路150的采样电流被馈送给轻负载检测器160 (例如, 比较器) 以确定输出电流何时低于指示轻电流负载的预定阈值。如果输出电流低于预定阈值, 轻负载检测器160向突发发生器120发出启用信号以启用如本文所述的突发模式操作。此外, 电流反馈电路150向突发模式发生器140提供输出负载电流 (一个或多个IOUT) 的采样值 (例如, 模拟的或数字的)。该值由突发功率计算器140采用, 以为开关信号130计算休眠时间。如果输出负载电流高于预定阈值, 轻负载检测器160禁用突发发生器120, 其然后允许电压反馈电路170通过反馈VOUT的样本来调节VOUT以控制LLC转换器110的切换 (switching) (例如, 正常负载条件下用于切换LLC转换器的控制频率)。

[0013] LLC转换器110的电压增益 (输出电压/输入电压) 通常是驱动LLC转换器中的谐振网络的半桥的标准化开关频率 (开关频率/谐振频率) 的函数。LLC转换器110的该电压增益对标准化开关频率特性也可受到从输入端流动到输出端的功率 (例如, 从输出端汲取的负载功率) 的影响。在正常操作期间控制LLC转换器的标准方式是根据需要调节其开关频率以维持恒定的输出电压。电压反馈电路170执行该功能。电压反馈电路将感测的输出电压与需要的电平进行比较并且将电平发送到初级电路以调节LLC开关频率, 以递送所需的输出电压。LLC初级控制器 (例如, 图3) 可以包括压控振荡器 (VCO) 以改变LLC操作频率以反映控制信号 (例如, 图3中的Vdem) 的电平。

[0014] 突发功率计算器140为开关信号130调节休眠时间, 使得在突发时间期间LLC转换器110的输出功率相对于输出负载电流中的变化保持基本恒定。这可通过当调节开关信号130的休眠时间时设定突发时间为恒量来实现, 使得不管输出负载电流中的变化如何, 在突发时间期间LLC转换器110的输出功率保持基本恒定。不管负载电流变化如何, 通过将突发

时间期间的输出功率控制为基本恒定的电平,可以在轻负载条件下提高转换器效率,同时减轻当功率电平增大时在转换器中可能发生的声学可听效应。

[0015] 在一个具体的示例中,可采用系统100作为适配器来为电子设备提供功率。例如,膝上计算机适配器通常花费大量时间连接到处于断电模式的膝上PC,或甚至从膝上计算机完全拔出。优选地,此类适配器提供高的轻负载效率,使得当以这种方式使用时它们不浪费能量。由于转换器的效率,系统100在每个开关周期中耗散少量的能量。在高负载电流下,当LLC转换器110以最小开关频率操作时,与每个周期传递到负载的能量相比,该耗散能量是小的。在常规系统中,在LLC转换器在最大开关频率下操作时的低负载电流下,耗散能量可以是在每个开关周期中传递到负载的能量的显著部分。因此,常规电路在满载下提供非常好的效率,但遗憾的是在轻负载条件下效率低。

[0016] 可以通过在轻负载条件下以突发模式操作LLC转换器110来提高其效率。在突发期间,LLC转换器110以高功率操作并且提供适当的效率。在突发期间,传递到输出端的过多能量被存储在输出电容器(例如,图3)中。在突发时期(例如,图2)期间,LLC开关频率一般基于来自电压反馈电路170的反馈开始。在突发之间,LLC转换器110在休眠模式期间停止切换并且因此不耗散能量。在该休眠时期期间,负载从输出电容器中汲取能量。

[0017] 可以选择突发模式参数(诸如突发时间(TBST)和休眠时间(TSLP))以提供适配器的最佳整体性能。当选择这些参数时,应考虑许多因素。为了获得最佳的轻负载效率,在突发期间传送的功率(PBST)应当被设置在系统100提供最佳操作效率的水平。通常,这将处于或接近最大输出功率。系统100中的无源能量存储部件的机械形变随着其存储的能量而增大。在一些负载水平下,突发/休眠频率可以经过可听频带,从而产生适配器的用户可听的危害噪声。为了最小化声学噪声,在突发时期期间,系统100应以低功率操作。然而该要求与最大化轻负载效率的期望相冲突。

[0018] 因此应选择PBST和相关联的参数以在轻负载效率和声学性能之间提供折衷。为PBST选择合适的值后,控制方法(用于实施突发模式)应尝试保持PBST恒定,不考虑负载电流。因此,本文描述了用于实施突发模式的系统和方法,使得不管负载电流如何,PBST维持恒定。以这种方式,系统100的方法为基本上所有负载电流提供效率和声学噪声性能之间的合适折衷。

[0019] 系统100可以在轻负载下递送低输出纹波而不需要对输出电压的精确测量。休眠持续时间是定时的,因此系统可以确保其不会长到足以导致初级侧控制器中的Vbias问题。本文描述的灵活方法允许独立控制输出电压纹波、突发功率和其他参数,使得可以在声学噪声、轻负载效率和输出电压纹波之间选择最佳折衷。轻负载模式的效率可以使用在PBurst下测量的效率来估计,同时调整在休眠期间和当进入/离开休眠时消耗的功率。输出或负载电流由电流反馈电路150测量。当负载电流下降到低于预定轻负载阈值时,则由轻负载检测器160启用突发/休眠操作。

[0020] 使用由下面结合图3描述的突发功率计算器140执行的计算可以从负载电流IOUT中计算休眠时间。计算的休眠时间可以与预定恒定突发时间相结合以启用和禁用LLC转换器110操作。在TSLEEP期间经由反馈电路170禁用电压回路补偿器,使得电压调整仅在突发时期期间发生可能是有益的。也可能有利但不是必须的是,以半宽度周期开始每个突发时期并且以半宽度周期结束每个突发时期。这有助于LLC在突发时期内非常快速地达到稳定

的操作条件。这也有助于用来驱动LLC电源开关的任何栅极驱动变压器不饱和。

[0021] 系统100可以作为模拟控制器、数字控制器或其组合的一部分实施。下面结合图3示出和描述数字控制示例。系统100可以包括三个模式或操作状态。例如,这些包括运行模式、休眠模式和突发模式。在运行模式中,LLC转换器110正常切换并在正常负载条件下递送功率。在运行模式期间,可以定期对输出(负载)电流进行采样。如果负载电流高于轻负载阈值,则操作在运行模式下继续。如果负载电流低于阈值,则系统100交替到休眠状态。

[0022] 在休眠状态中,次级侧控制器设定LLC反馈输入为零,使得初级侧控制器停止所有PWM开关。然后,它以定时的间隔进入功率模式。可以从采样的负载电流计算定时的间隔,以实现给定的目标波纹规格。如果输出电压超过低电压阈值(例如, $V_{outlow}$ ),则低功率模式也可以被中断(终止)。在休眠期间,电压回路补偿器(例如,图3)可以以其进入休眠模式时具有的值被冻结。在休眠模式之后,次级侧控制器可以在定时的时期TBST进入突发模式。突发模式类似于运行模式,只是固定的突发时期不能被休眠中断。这使得休眠间隔之间能够存在最小的开关操作时期。

[0023] 图2示出具有用于LLC转换器的突发模式操作的占空比的信号200的示例。如图所示,当图1的系统在如本文所述的突发模式中操作时,在210发生突发时期(TBST)。在该模式中,突发发生器输出为高,并且这使得在突发时期210期间启用到LLC转换器的开关脉冲。在220,由本文所述的突发计算器发起休眠时期(TSLP)。在休眠时期220期间,突发发生器输出为低,因此基本上所有LLC开关操作都如图所示被关闭。如下所述,突发功率计算器可以计算休眠时期220,使得转换器的效率最大化,同时减轻系统中的可听声学噪声。

[0024] 图3示出在LLC转换器310的突发模式操作期间控制功率的示例电路300。如本文所使用,术语电路可以包括执行电路功能的有源和/或无源元件的集合,诸如控制器或信号发生器。术语电路也可包括集成电路,其中所有电路元件装配在公共基板上。该电路包括LLC转换器310,以将输入DC电压转换为输出DC电压。如图所示,LLC转换器可以包括通过转换器310供电的电源开关314和电源开关318,其在转换器310的输出端经由电容器COUT被滤波。可以提供电容器320以对开关314和开关318进行滤波。分压器包括电阻器324和电阻器328,其提供经由模数转换器(ADC) 330采样的电压反馈。

[0025] 来自ADC 330的输出被馈送到具有标记为VREF的参考值的求和节点334,以设定VOUT的值。来自求和节点334的输出被馈送到电压补偿器340(例如,积分器),其提供表示调制器344的需求水平操作频率(VDEM)的输出控制电压。当突发发生器360输出为高时,电压补偿器340将被计时,如将是在运行模式或突发模式中的情况。在休眠模式中,采样振荡器350被禁用,并且电压补偿器340将被冻结。输出电压感测由电阻器324、328和ADC 330执行。与期望的参考电平的比较由节点334执行,并且电压补偿器340调节Vdem信号以最小化感测的输出电压和期望的参考电平之间的误差。压控振荡器(VCO)(图3中未示出)将调制器344中的Vdem输入转换为具有由Vdem的电平确定的频率的一对栅极驱动信号。栅极驱动信号使驱动LLC谐振网络310的半桥中的上开关装置314和下开关装置318接通和断开。由于在该示例中电压补偿器340以数字形式实施(其也可以是模拟的),它使用周期性样本信号对输出电压误差进行采样,并计算LLC开关频率(Vdem信号)的新值。在正常操作中或在突发时期期间,采样振荡器350产生用于更新Vdem输入的周期性信号。在休眠时期期间,采样振荡器350停止,并且Vdem信号不被更新。

[0026] 突发发生器360 (例如, 突发振荡器) 产生具有突发时间和休眠时间的开关信号364, 以当LLC转换器的输出负载电流低于预定阈值时操作LLC转换器310。突发发生器360产生突发/休眠信号, 诸如图2的示例所示。在该信号的突发部分期间, LLC操作如上所述继续, 其中LLC开关频率由Vdem确定, 并且由电压反馈电路调节, 以维持基本恒定的输出电压。该信号的休眠部分迫使LLC栅极驱动信号为低, 使得LLC切换被停止。该突发/休眠信号的频率远低于LLC的正常开关频率。因此, 每个突发将包含多个正常LLC开关周期, 如图2所示。

[0027] 当开关信号的突发时间保持恒定时, 突发功率计算器370为开关信号364调节休眠时间, 使得突发时间相对于休眠时间的占空比将LLC转换器的功率调节到最大阈值水平 (例如, 轻电流负载下的最大效率), 同时减轻由LLC转换器产生的高于最小可听阈值的声学噪声 (例如, 平衡功率, 使得没有可听声学噪声被检测到)。突发计算器370接收来自放大器374的IOUT的样本, 该放大器374经由电阻器380采样IOUT。轻负载比较器384将来自放大器374的采样的IOUT相对于显示为 (ILLTH) 的轻负载阈值进行比较。如果比较器384检测到IOUT低于轻负载阈值, 则比较器产生低电平输出信号 (/轻模式), 其使突发发生器360能够经由栅极390和采样振荡器350驱动调制器344的RUN输入。如果IOUT高于轻负载阈值, 则来自比较器384的低电平输出信号走高并且使突发发生器不能经由栅极390驱动调制器344。

[0028] 突发时间可以维持基本恒定, 其中调节休眠时间以便于在突发时期期间在期望范围内递送功率。LLC的开关频率仍然由在突发时期期间有效的电压反馈网络控制。为了确保在突发时期期间输出电压保持恒定, 电压反馈电路调节LLC开关频率以递送突发功率 (Pburst), 使得  $P_{burst} \cdot T_{burst} / (T_{burst} + T_{sleep}) = P_{OUT}$ 。因此, 可以通过将Tslepp控制为IOUT (对于恒定Vout的POUT) 的函数来有效地设置Pburst。

[0029] 对于稳态操作, 在完整的突发/休眠周期中递送到输出电容器COUT的能量应该为零。因此, 在休眠期间从输出电容器汲取的能量应该等于在突发模式下递送给它的能量, 其中:

$$[0030] \quad P_{OUT} \cdot T_{SLP} = (P_{BST} - P_{LOAD}) \cdot T_{BST} \quad \text{方程式 (1)}$$

其中TBST是突发时期的持续时间, TSLP是休眠时期的持续时间, 以及POUT是由负载汲取的功率。方程式 (1) 可重新整理以提供:

$$[0031] \quad T_{SLP} = \left( \frac{P_{BST}}{I_{OUT} \cdot V_{OUT}} - 1 \right) \cdot T_{BST} \quad \text{方程式 (2)}$$

[0032] 假设输出电压 (VOUT) 近似恒定。因此, 假设输出电容器COUT上的电压纹波, 则:

$$[0033] \quad T_{SLP} = \left( \frac{P_{BST}}{I_{OUT} \cdot V_{OUT}} - 1 \right) \cdot T_{BST} \quad \text{方程式 (3)}$$

[0034] 其可以由本文所述的突发模式计算器采用以计算TSLP。

[0035] 为了实现恒定PBST而不管PLOAD如何, TBST应当被设置为恒量, 并且使用方程式 (3) 计算休眠时间TSLP。在输出电容器COUT上产生的电压纹波可以计算如下:

$$[0036] \quad P_{OUT} \cdot T_{SLP} = \frac{1}{2} \cdot C_{OUT} \left( V_{OUT} + \frac{\Delta V}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \cdot C_{OUT} \left( V_{OUT} - \frac{\Delta V}{2} \right)^2 = C_{OUT} \cdot \Delta V \quad \text{方程式 (4)}$$

[0037] 其中ΔV是出现在输出电容器上的突发/休眠频率纹波电压。因此, ΔV可计算为:

$$[0038] \quad \Delta V = \frac{(P_{BST} - P_{OUT})T_{BST}}{C_{OUT}} \quad \text{方程式 (5)}$$

[0039] 假设  $P_{BST} \gg P_{OUT}$ , 不管负载如何, 输出电容器  $C_{OUT}$  两端的纹波电压应基本恒定。通过实施一种执行按随后的方程式 (3) 从负载电流获得的突发/休眠占空比的系统, 实现以下两个高度期望的特性: (a) 不管施加的负载电流如何, 在突发期间递送的功率在所选择的水平维持恒定; 以及 (b) 可以调节所选择的水平以提供在轻负载效率和声学噪声输出之间的期望折衷。

[0040] 不管负载电流如何, 输出电容器  $C_{OUT}$  两端的纹波电压近似恒定。可以通过选择  $T_{BST}$  和  $C_{OUT}$  的期望比率来选择输出纹波电平。尽管电路 300 示出了占主导地位的数字方法, 但是其也可以使用占主导地位模拟方法 (或其组合) 来实施。

[0041] 在该示例中, 休眠时期 (其为负载电流的函数) 由次级侧控制器施加。给定已知的输出电容, 计算休眠时期以实现期望的  $V_{burst\_ripple}$  目标。在休眠时期之后, 电路 300 正常地调整提供固定的休眠/突发占空比的时间段。以这种方式, 控制突发期间的功率递送。降低突发/休眠比率可以增加突发期间的功率, 并且以更大的声学噪声为代价提供更好的轻负载效率, 在轻负载效率的折衷下提高具有减小的声学噪声输出的突发/休眠占空比。

[0042] 鉴于上述结构和功能特征, 图 4 示出了在 LLC 转换器的突发模式操作期间控制功率的示例方法 400。为简单起见, 该方法被示出和描述为连续地执行, 但该方法不受所示顺序的限制。例如, 一些方面可以以不同的顺序发生和/或与本文示出和描述的其他方面同时发生。此外, 并非所有示出的特征都可需要用于实施方法。该方法的各种动作可以诸如经由配置有可执行指令以实行本文所述的各种动作或命令的处理器、计算机、定时发生器和/或控制器自动执行。

[0043] 方法 400 包括在 410 确定由 LLC 转换器产生的输出负载电流何时已经下降到低于预定阈值 (例如, 图 1 的电流反馈电路 150 和轻负载检测器)。方法 400 包括在 420 产生具有突发时间和休眠时间的开关信号, 以当 LLC 转换器的输出负载电流低于预定阈值时操作 LLC 转换器 (例如, 经由图 1 的突发发生器 120)。方法 400 包括当突发时间保持恒定时为开关信号调节休眠时间, 使得在突发时间期间 LLC 转换器的输出功率相对于输出负载电流中的变化保持基本恒定 (例如, 经由图 1 的突发功率计算器 140)。

[0044] 尽管未示出, 方法 400 也可包括当开关信号的突发时间保持恒定时为开关信号调节休眠时间, 使得突发时间相对于休眠时间的占空比将 LLC 转换器的效率调节到最大阈值水平, 同时减轻由 LLC 转换器产生的高于最小可听阈值的声学噪声。方法 400 还可以包括根据以下方程式计算休眠时间:

$$[0045] \quad T_{SLP} = \left( \frac{P_{BST}}{I_{OUT} \cdot V_{OUT}} - 1 \right) \cdot T_{BST}$$

[0046] 其中  $T_{SLP}$  表示休眠时间,  $P_{BST}$  表示转换器在突发时间期间递送的转换器功率,  $I_{OUT}$  表示输出负载电流,  $V_{OUT}$  表示输出 DC 电压, 以及  $T_{BST}$  表示突发时间, 其中  $T_{BST}$  保持恒定以计算  $T_{SLP}$ 。

[0047] 方法 400 可以作为测量输出电流的 LLC 次级侧控制器的部分实施。如果测量的输出电流高于轻负载阈值区域, 则轻负载模式被清除, 并且突发发生器被禁用, 并且控制器切换

到运行模式。如果测量的输出电流在轻负载区域中,则次级侧控制器可以计算或查找适当的突发频率。次级侧控制器可以设置轻负载标志以指示轻负载模式正在操作。次级侧控制器然后可以在由突发频率和占空比指示的时间段内进行休眠。当次级侧控制器从休眠中醒来时,其可以正常调整由当前突发频率和占空比指示的时期。在此突发时期期间,次级侧控制器可以测量输出电流并重复上述过程。为了处理瞬态步骤(如果有的话),例如,任何休眠事件可以被下降到低阈值以下的输出电压(例如,Vout\_wake)中断。

[0048] 在权利要求的范围内,在所描述的实施例中修改是可能的,并且其他实施例是可能的。

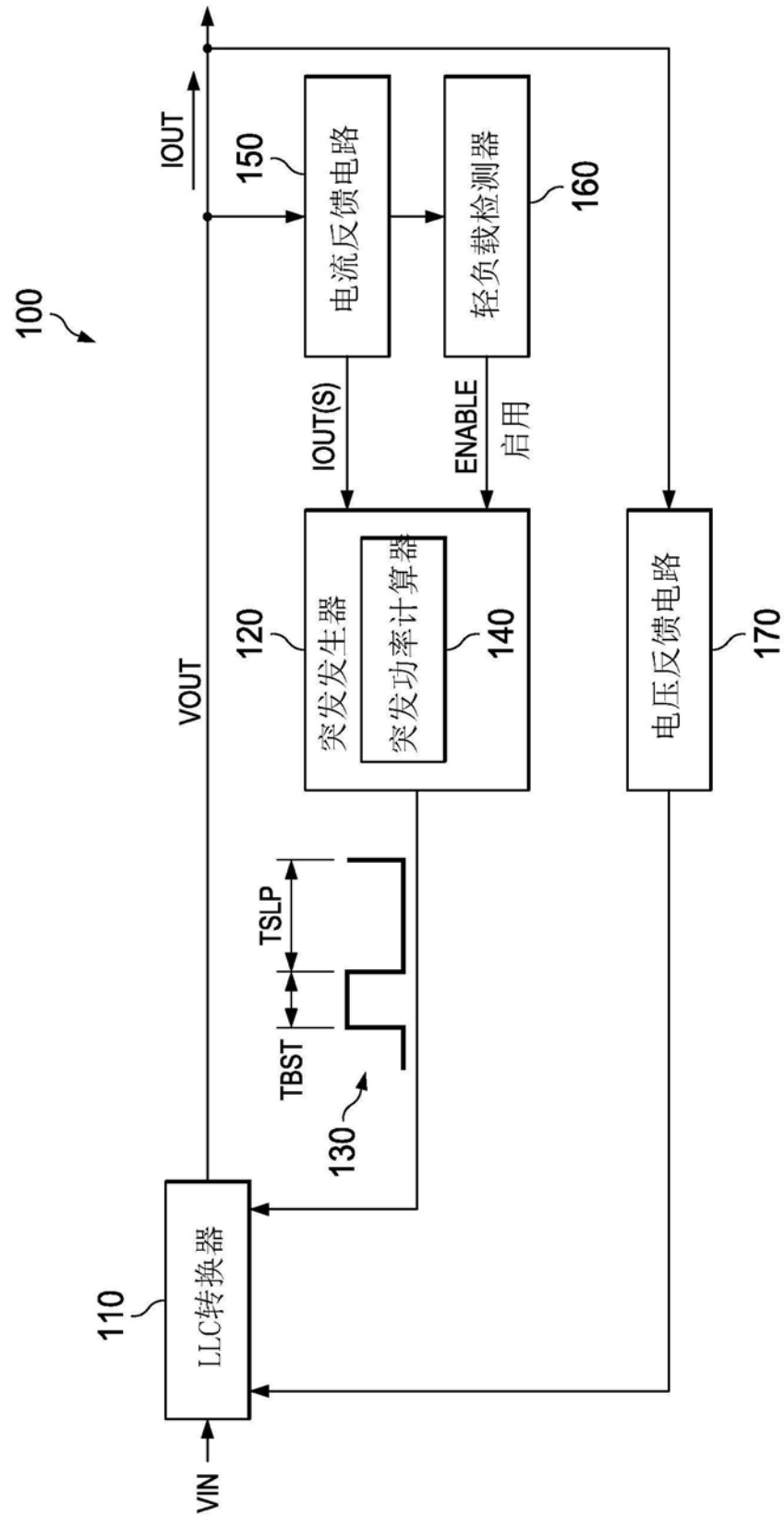


图1

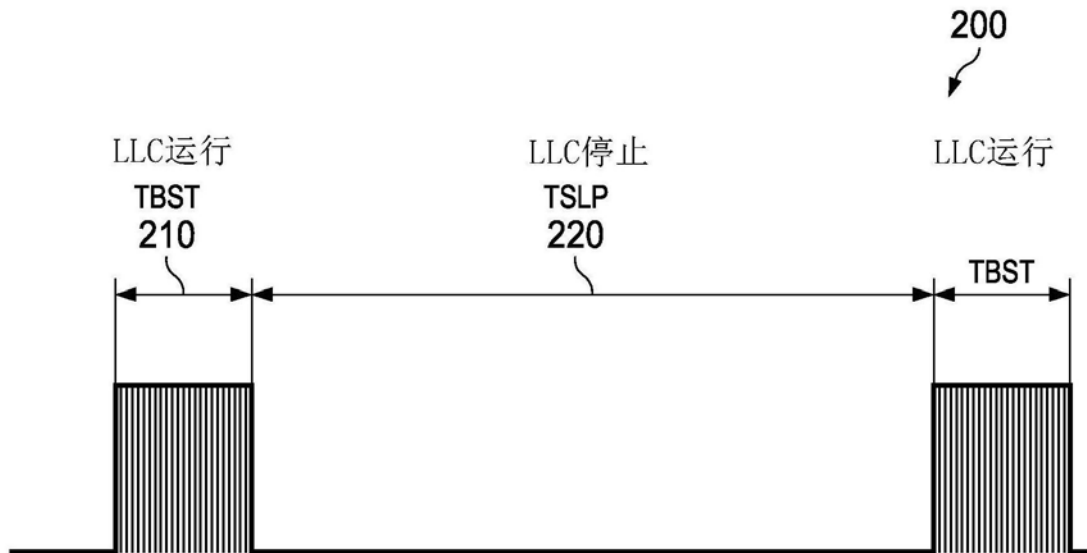


图2

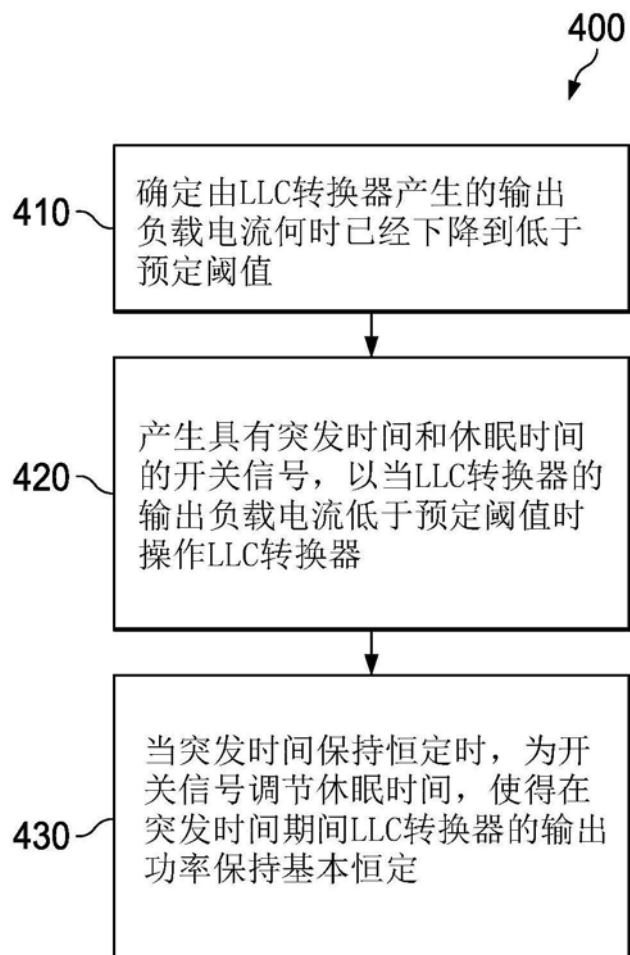


图4

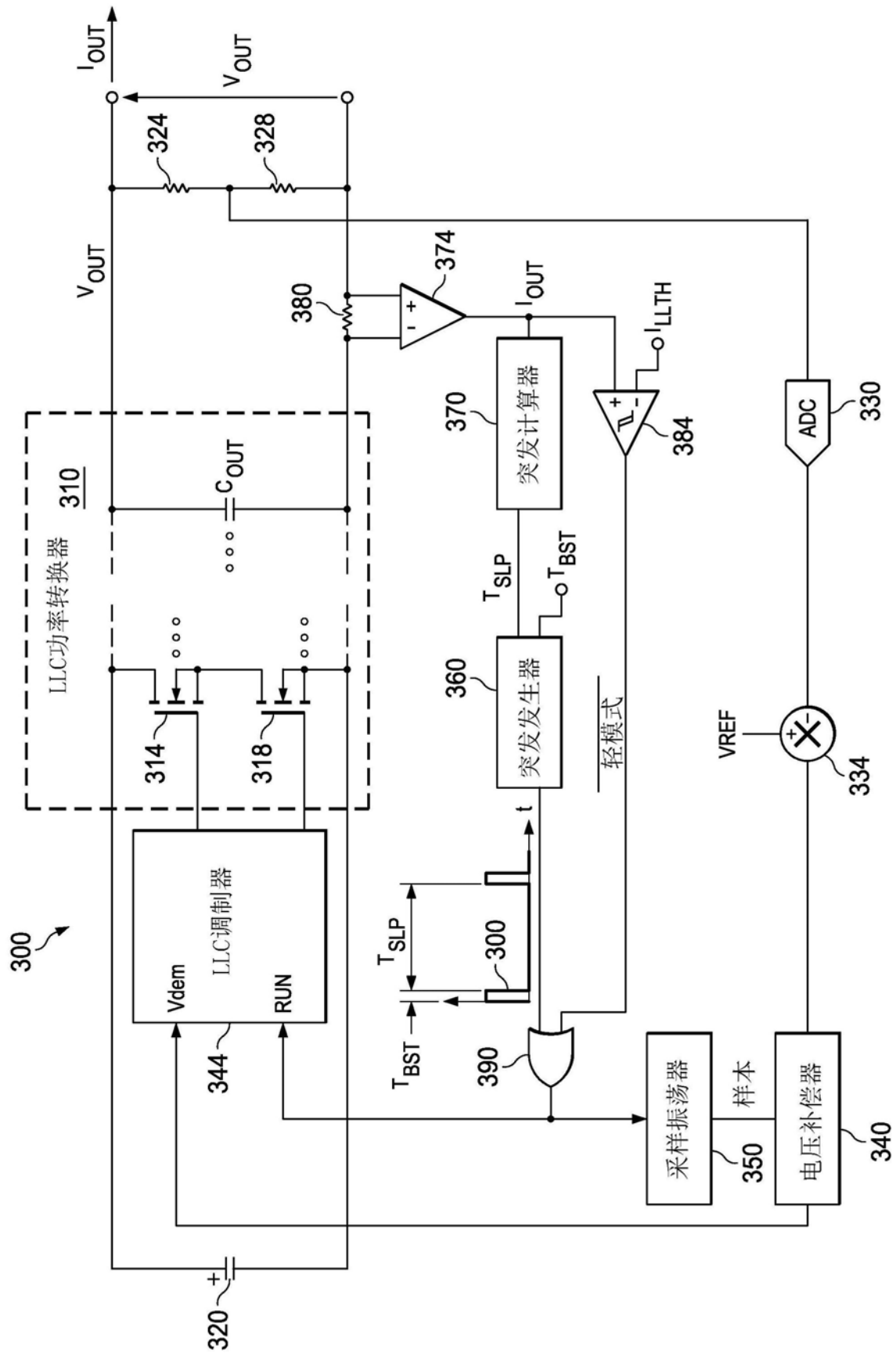


图3