



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102694483 A

(43) 申请公布日 2012.09.26

(21) 申请号 201210008902.0

(22) 申请日 2012.01.12

(71) 申请人 河南科技大学

地址 471003 河南省洛阳市涧西区西苑路
48号

(72) 发明人 史敬灼 张瑞 刘兆魁 石静
尤冬梅

(74) 专利代理机构 郑州睿信知识产权代理有限
公司 411119

代理人 陈浩

(51) Int. Cl.

H02N 2/14 (2006.01)

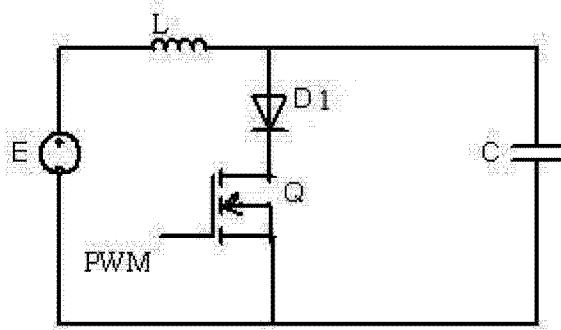
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种用于超声波电机的 LC 谐振驱动电路及
其控制方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于超声波电机的 LC 谐振
驱动电路及其控制方法,本发明根据超声波电机
的容性负载特性,通过串联匹配电感,构成由超声
波电机本体参与的 LC 谐振升压的无变压器式驱动
电路。进一步,本发明提出了固定所有电路参数,
只改变驱动信号频率、占空比和谐振周波数的
方法,实现对超声波电机的驱动控制。采用 USR30
型超声波电机,进行了实验验证。



1. 一种用于超声波电机的 LC 谐振驱动电路, 驱动超声波电机的 A、B 两相桥式驱动电路的交流侧均串设有串联匹配电感, 所述 A、B 两相桥式驱动电路分别设置有用于调节对应相桥式驱动电路直流母线电压的 Boost 升压电路, 其特征在于, 所述 Boost 升压电路的功率开关管串联有一个二极管, 所述二极管正极连接所述串联匹配电感 L 与超声波电机等效电容 C 的串联点上。

2. 根据权利要求 1 所述的一种用于超声波电机的 LC 谐振驱动电路, 其特征在于, 所述 A、B 两相桥式驱动电路的开关管为 MOSFET。

3. 一种 LC 谐振驱动电路的控制方法, 其特征在于, 固定串联匹配电感的电感值, 通过改变所述功率开关管的驱动信号频率、占空比和周波数, 使输出波形可调。

一种用于超声波电机的 LC 谐振驱动电路及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超声波电机,尤其涉及超声波电机的驱动控制技术领域。

背景技术

[0002] 超声波电机是近二十年来出现的一种全新概念的驱动装置,和传统的电磁电机相比,它具有功率密度大、无电磁干扰、低速大转矩、动作响应快、运行无噪声、无输入自锁等特点,这些优点使得超声波电机在航空航天、机器人、精密加工设备、医疗设备、生物工程等高端运动控制领域及家用电器、汽车电子等普通运动控制领域都有着广泛的应用前景。

[0003] 目前,超声波电机驱动控制器的体积较大,在一些应用中受到很大的限制。文献 [1] 根据电机的容性负载特性,通过简化超声波电机的等效电路,提出了利用 LC 谐振的无变压器式驱动电路,并进行了仿真分析。文献 [2] 研究了谐振驱动电路的设计方法,说明了输出信号中各次谐波幅值和能量比与驱动信号占空比和谐振周期之间的关系。上述文献的研究为超声波电机功率谐振式驱动电路的研究提供了较好基础,但所给出的驱动电路只能使电机工作在预先设计的确定工作点,电机驱动电压频率等可控变量均不可调节,严重限制了该类电路的实际应用。文献 [3] 在可调可控方面进行了初步探索,对选择不同的电阻、电感值以实现频率离线调节进行了分析。但由于电路中的电感是功率电感,变电感值不易在线准确实现,功率谐振式驱动电路的可调可控仍有待进一步研究。相关参考文献如下:

[0004] [1] 顾菊平,胡敏强,石斌,等. 超声波电机谐振升压式驱动技术研究,中国电机工程学报,2002,22(8) :49-52.

[0005] [2] 李华峰,赵淳生. 基于 LC 谐振的超声电机驱动器的研究,中国电机工程学报,2005,25(23) :144-148.

[0006] [3] 甘云华,金龙,王心坚,等. 超声波电机自激振荡驱动电路的变频控制特性,中国电机工程学报,2008,28(9) :93-96.

发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种用于超声波电机的 LC 谐振驱动电路及其控制方法,用以解决现有驱动控制方法的效果不佳的问题。

[0008] 为实现上述目的,本发明的电路方案是:一种用于超声波电机的 LC 谐振驱动电路,驱动超声波电机的 A、B 两相桥式驱动电路的交流侧均串设有串联匹配电感,所述 A、B 两相桥式驱动电路分别设置有用于调节对应相桥式驱动电路直流母线电压的 Boost 升压电路,所述 Boost 升压电路的功率开关管串联有一个二极管,所述二极管正极连接所述串联匹配电感 L 与超声波电机等效电容 C 的串联点上。

[0009] 所述 A、B 两相桥式驱动电路的开关管为 MOSFET。

[0010] 本发明的方法方案是:LC 谐振驱动电路控制方法,固定串联匹配电感的电感值,通过改变所述功率开关管的驱动信号频率、占空比和周波数,使输出波形可调。

[0011] 本发明根据超声波电机的容性负载特性,通过串联匹配电感,构成由超声波电机

本体参与的 LC 谐振升压的无变压器式驱动电路。进一步，本发明提出了固定所有电路参数，只改变驱动信号频率、占空比和谐振周波数的方法，实现对超声波电机的驱动控制。采用 USR30 型超声波电机，进行了实验验证。

附图说明

- [0012] 图 1 是 LC 谐振驱动电路；
- [0013] 图 2 是电机谐振频率与开关驱动频率的关系；
- [0014] 图 3 是不同周波、不同占空比的仿真波形；
- [0015] 图 4 是超声波电机驱动控制结构框图；
- [0016] 图 5 是 B 相 40% 占空比的驱动波形与谐振波形；
- [0017] 图 6 是两相实测波形。

具体实施方式

- [0018] 下面结合附图对本发明做进一步详细的说明。
- [0019] 谐振电路实施例
- [0020] 驱动超声波电机的 A、B 两相桥式驱动电路的交流侧均串设有串联匹配电感 L，所述 A、B 两相桥式驱动电路分别设置有用于调节对应相桥式驱动电路直流母线电压的 Boost 升压电路，其特征在于，所述 Boost 升压电路的功率开关管 Q 串联有一个二极管 D1，二极管 D1 正极连接所述串联匹配电感 L 与电容 C 的串联点上。
- [0021] 超声波电机 (USM) 在谐振频率附近，可以认为呈容性，即可等效为一个电容 C。本发明所述 Boost 升压 LC 谐振驱动电路如图 1 所示。由于 MOSFET 器件 Q 内部有一个反并联体二极管，在电容 C(即超声波电机) 电压反相时会通过此二极管放电，使得输出电压只有正半波。为了防止这种情况出现，在电路中串联一个超快恢复二极管，使得在开关断开期间 LC 能形成完整的振荡。开关是指功率开关管 Q。
- [0022] 电路工作原理为：当开关 Q 导通时，电源向电感 L 储能；开关断开时，电感中储存的能量向电容 C 释放并与其谐振，整个电路为带初始条件的 LC 串联谐振电路。Boost 升压单元提升电压的关键原因有两个：一是电感 L 储能后具有使电压泵升的作用，二是电容 C 可将输出电压保持住，因此占空比的选择对输出电压的幅值和有效值起关键作用。串联匹配电感的选择由下式确定：

$$[0023] L = \frac{(1-D)^2 T^2}{(2k\pi)^2 C} \quad (1)$$

- [0024] 式中，k 为在关断期间谐振的整周波个数，D 为占空比，T 为开关周期。

方法实施例

- [0026] 一旦匹配电感选定，LC 谐振频率就固定不变，通过调整驱动 MOSFET 的驱动信号频率来改变谐振波形的占空比，不连续正弦波的等效效应发生改变，从而调节电机转速，达到控制目的。开关驱动信号频率 f 与电机谐振频率 f_{USR} 关系如下式（参看图 2）：

$$[0027] f = f_{USR} \frac{(1-D)}{k} \quad (2)$$

- [0028] 根据式 (1)、(2) 可以看出，调节开关信号占空比 D、开关信号频率 f 和导通周波数 k 可以实现超声波电机的调速控制。将上式等效变换为：

$$[0029] f = \frac{1}{T} = \frac{1-D}{2\pi k} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (3)$$

[0030] 要保持上式成立,只需改变 f、D、k 中的两个参数值即可。有三种可能的调速方法。第一种:保持 D 不变,调节 f 和 k。这种方法频率变化范围和幅度较大,从几 kHz 到几十 kHz 不等,且调速范围小,因为周波数越多失真越严重。第二种:保持 k 不变,调节 f 和 D。这种方法可以实现连续调速,精度高。第三种:保持 f 不变,调节 k 和 D。这种方法计算得到的占空比可能是负值,不符合实际情况。可见,方法二是理想的调速方式。以第二种方法为例,利用 Multisim10 进行仿真测试,分析所得波形和数据,得出以下结论:尽量选择占空比小、周波数少的信号,以保证足够的升压能力和减小非线性的影响。波形如图 3 所示。

[0031] 下面进行实验验证。实验电路结构如图 4 所示。采用通用 PWM 发生芯片 TL494 产生两路频率和脉宽均可调的信号 PWM1 和 PWM2,经过由双上升沿 D 触发器 CD4013 构成的二分频电路,生成两相四路互差 90° 的 PWM 信号,经专用 MOSFET 驱动芯片 IR4427 放大,驱动 MOSFET 工作,从而完成由超声波电机本体参与的 Boost 升压 LC 谐振,以达到驱动控制超声波电机运行的目的。

[0032] 因为电机等效电容是在静态下换算得到的,而在电机运行时,动态电容无法直接测量,所以根据测量数据,修正匹配电感参数,得到满足谐振频率的匹配电感。表 1 为测得的等效电容端电压峰值 Vpp (V)、电压有效值 Vrms (V)、驱动频率 (kHz) 和换算得到的谐振频率 (kHz)。图 5 为实测的 B 相两个周波 40% 占空比的驱动波形和谐振波形。由于在换算等效电容时忽略了其他参数,仿真测试时就没有考虑电阻等其他参数的影响,所以实验得到的波形不是等幅振荡的,而是有衰减的。图 6 为实测的电机两相端电压谐振波形。由测量参数和波形可以看出,为使电机有效的运行,可选择两个周波占空比为稍大的谐振频率,以保证足够的谐振频率和电压有效值。

[0033] 表 1 两相等效电容端实验测量数据

		一个周波				两个周波				三个周波				
		Vpp	Vrms	驱动 频率	谐振 频率	Vpp	Vrms	驱动 频率	谐振 频率	Vpp	Vrms	驱动 频率	谐振 频率	
[0034]	30%	A 相	120	37.2	35.25	50.357	130	34.4	18.10	51.714	148	33.3	12.47	53.443
		B 相	126	38.5	36.9	52.714	128	33.9	18.19	51.971	162	36.9	12.53	53.700
	35%	A 相	130	39.6	33.16	51.015	152	54.9	17.01	52.338	180	35.3	10.95	50.538
		B 相	148	43.3	33.61	51.708	164	60.5	16.95	52.154	192	39.9	11.68	53.908
	40%	A 相	136	39.5	30.46	50.767	174	64.71	15.49	51.633	208	27.1	10.29	51.450
		B 相	158	45.6	31.41	52.350	194	70.6	15.53	51.767	240	16.7	10.29	51.450
45%	A 相	138	38.6	27.59	50.164	198	72.7	14.45	52.545	236	41.8	9.59	52.309	
	B 相	176	48.6	28.42	51.673	218	80.3	14.31	52.036	268	15	9.615	52.445	

[0035] 本发明给出了固定电感值等所有电路参数不变,只改变功率开关驱动信号频率、占空比和周波数,以使正弦波发生改变,从而实现电机驱动电压可调可控,进而实现电机转速控制的方法。通过 TL494 构成的硬件电路对此方法的可行性进行了验证,在超声波电机驱动控制的小型化、微型化方面进行了有益的尝试。

[0036] 本发明提出了一种新的驱动控制方法:即在固定电感值等所有电路参数不变的基础上,只改变功率开关驱动信号频率、占空比和谐振周波数,以使驱动超声波电机的正弦波等效效应发生改变,从而实现电机驱动电压可调可控,进而实现电机转速控制。在此基础上

进行仿真测试并搭建硬件电路,通过实验验证了这种方法的可行性,并为更好的驱动控制超声波电机提供可靠的依据。

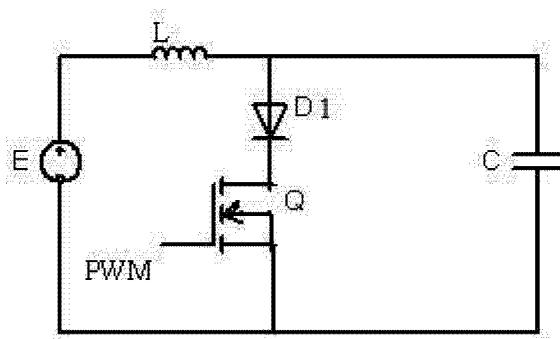


图 1

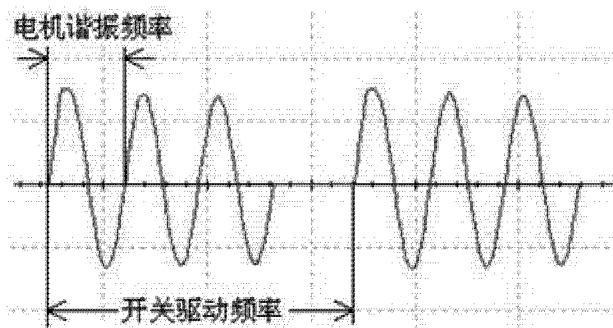


图 2

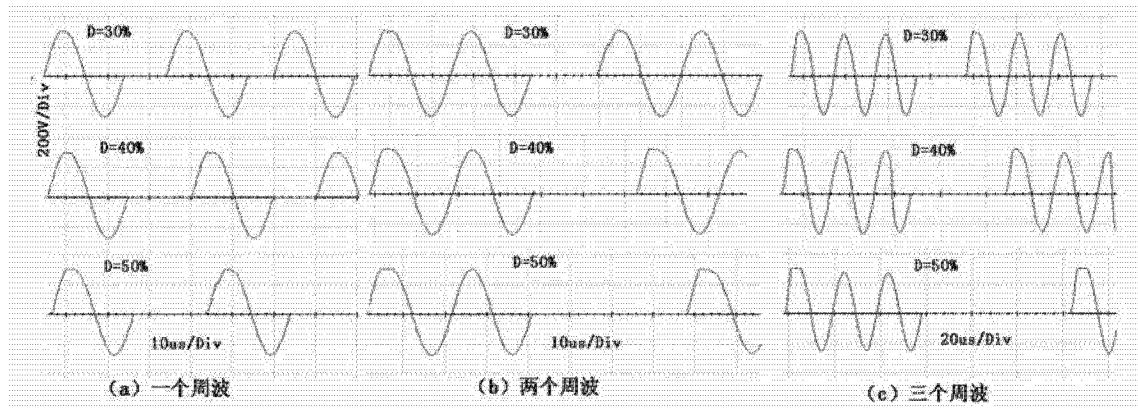


图 3

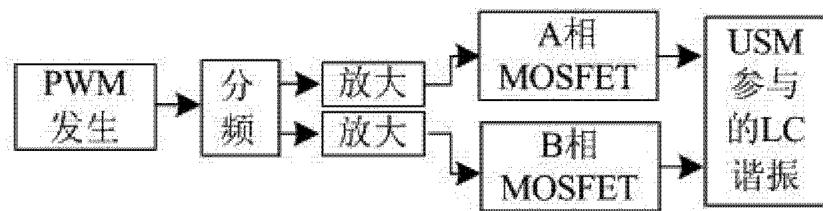


图 4

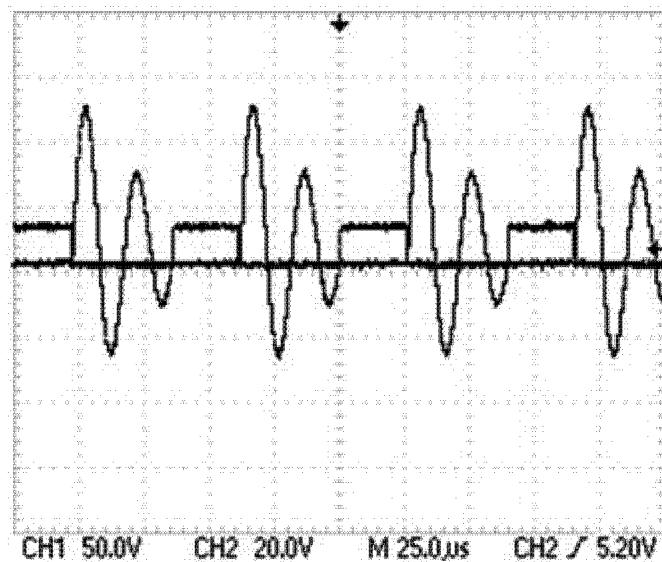


图 5

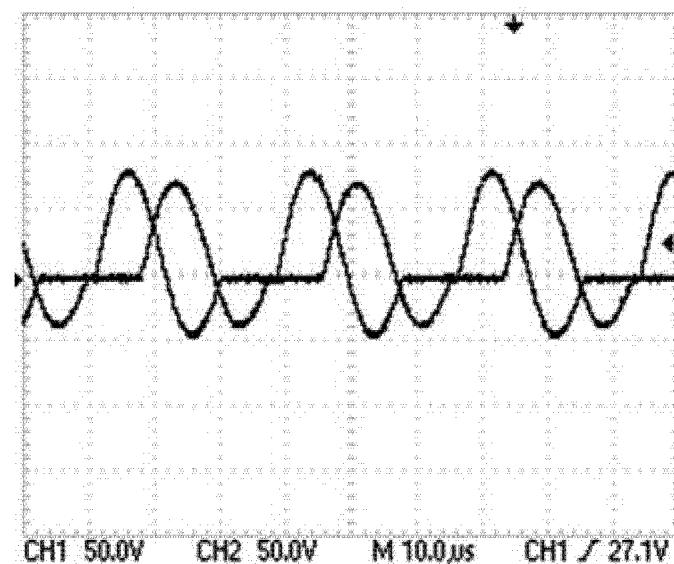


图 6