



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106873043 B

(45)授权公告日 2018.10.23

(21)申请号 201710242686.9

(22)申请日 2017.04.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106873043 A

(43)申请公布日 2017.06.20

(73)专利权人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

(72)发明人 周逢道 郭英杰 连士博 孙彩堂 李刚 代友

(74)专利代理机构 长春吉大专利代理有限责任公司 22201

代理人 刘驰宇

(51)Int.Cl.

G01V 3/10(2006.01)

(56)对比文件

CN 103944440 A,2014.07.23,全文.

CN 106208734 A,2016.12.07,全文.

CN 104656148 A,2015.05.27,全文.

CN 103207411 A,2013.07.17,全文.

US 2010001731 A1,2010.01.07,全文.

CN 102510233 A,2012.06.20,全文.

CN 104407391 A,2015.03.11,全文.

CN 103762884 A,2014.04.30,全文.

CN 105549669 A,2016.05.04,全文.

CN 103701354 A,2014.04.02,全文.

CN 2553414 Y,2003.05.28,全文.

CN 104270006 A,2015.01.07,全文.

赵涛等.基于双闭环控制技术的开关直流稳流电源.《中国科学技术大学学报》.2007,第37卷(第1期),第104-108页.

kaichang xue 等.constant-current control method of multi-function electromagnetic transmitter.《REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS》.2015,(第86期),第024501-1-10页.

审查员 张敏

权利要求书2页 说明书6页 附图3页

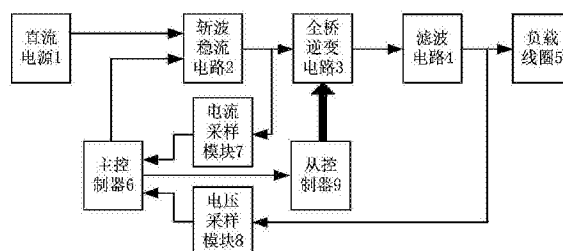
(54)发明名称

一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机及其控制方法

(57)摘要

一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机,包括:直流电源、斩波稳流电路、全桥逆变电路、滤波电路、负载线圈、主控制器、电流采样模块、电压采样模块、从控制器,其控制方法包括,主控制器设定工作参数并确定安全电压值;主控制器进行参数采样、处理向斩波稳流电路输出调制信号控制斩波稳流电路开关管的通断时间调节流过负载线圈的电流;并通过从控制器向全桥逆变电路输出调制信号来调节和稳定不同发射频率下流过负载线圈的电流;本发明在应对不同频率下发射时引入电流反馈、电压反馈的双闭环反馈调节模式,实现低频稳流、高频稳压,避免了单一电源供电时由于宽频带发射造成的低频时负载线圈电流压力过大,高频时线圈发射矩不足的问题。

题。



CN 106873043 B

1. 一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机,包括:直流电源(1)、斩波稳流电路(2)、全桥逆变电路(3)、滤波电路(4)、负载线圈(5)、主控制器(6)、电流采样模块(7)、电压采样模块(8)、从控制器(9);直流电源(1)经斩波稳流电路(2)、全桥逆变电路(3)、滤波电路(4)与负载线圈(5)连接,斩波稳流电路(2)输出端与电流采样模块(7)相连,滤波电路(4)输出端与电压采样模块(8)相连,负载线圈(5)与电压采样模块(8)并联,电流采样模块(7)、电压采样模块(8)的输出端经主控制器(6)直接与斩波稳流电路(2)连接,主控制器(6)的输出端经从控制器(9)与全桥逆变电路(3)相连;斩波稳流电路(2)由开关管VT,二极管D,电感L₁和电容C₁构成,采用buck降压斩波拓扑结构;全桥逆变电路(3)是由四个开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃和开关管V₄构成,斩波稳流电路(2)中的电容C₁正端与开关管V₁和开关管V₃的漏极相连,电容C₁的负端与开关管V₂和开关管V₄的源极相连,开关管V₁的源极与开关管V₂的漏极相连于A点,开关管V₃的源极与开关管V₄的漏极相连于B点,使开关管V₁和开关管V₄构成一组桥臂,开关管V₂和开关管V₃构成一组桥臂,且在开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃和开关管V₄中的每个开关管两端各自并联一个反馈二极管;滤波电路(4)由滤波电感L₂和滤波电容C₂组成,滤波电感L₂一端与A点相连,滤波电感L₂另一端与滤波电容C₂正极相连,滤波电容C₂负极与B点相连;负载线圈(5)为感性负载,等效为由负载电感L₀与负载电阻R₀串联组成,并且负载线圈(5)与滤波电路(4)的滤波电容C₂并联;其特征在于,主控制器(6)由稳流环路(6-A)和电压保护及稳压环路(6-B)组成,稳流环路(6-A)是由均值计算模块(6-1)经频率补偿器A(6-2)和选择控制器(6-3)与比较器A(6-5)连接、三角波发生器A(6-4)与比较器A(6-5)连接构成的,电流采样模块(7)与均值计算模块(6-1)连接,比较器A(6-5)与斩波稳流电路(2)连接,选择控制器(6-3)与从控制器(9)连接;电压保护及稳压环路(6-B)包括比较器B(6-6)、频率补偿器B(6-7)和工作参数设置单元(6-8),比较器B(6-6)、频率补偿器B(6-7)、工作参数设置单元(6-8)分别与稳流环路(6-A)中的选择控制器(6-3)连接,工作参数设置单元(6-8)又经过比较器B(6-6)与稳流环路(6-A)中的选择控制器(6-3)连接,比较器B(6-6)和频率补偿器B(6-7)又分别和电压采样模块(8)连接。

2. 根据权利要求1所述的一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机,其特征在于,所述的从控制器(9)包括三角波发生器B(9-1)、比较器C(9-3)、两个反相器和四路输出(9-4),三角波发生器B(9-1)与比较器C(9-3)连接,比较器C(9-3)经四路输出(9-4)与全桥逆变电路(3)中的开关管V₁栅极连接,比较器C(9-3)经四路输出(9-4)与全桥逆变电路(3)中的开关管V₄栅极连接,比较器C(9-3)经过一个反相器和四路输出(9-4)与全桥逆变电路(3)中的开关管V₂栅极连接,比较器C(9-3)经过另一个反相器和四路输出(9-4)与全桥逆变电路(3)中的开关管V₃栅极连接,主控制器(6)中的选择控制器(6-3)与比较器C(9-3)连接。

3. 一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机的控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

第一步:向主控制器(6)的工作参数设置单元(6-8)设定发射机发射电流值I_{set}、发射频率f₀和发射电流波形,设定发射机最大工作电压U_{max},设置选择控制器(6-3)脉宽调制载波比N₁、N₂;

第二步:主控制器(6)根据设置的参数,确定安全电压值U_{set},确定的原则为:U_{set}为发射机直流电源(1)正常工作电压U和发射机最大工作电压U_{max}的平均值,取 $U_{set} = \frac{U + U_{max}}{2}$;

第三步:主控制器(6)通过电压采样模块(8)实时采集滤波电路(4)滤波电容C₂处的实际

电压值 U_{AV} 送入电压保护及稳压环路(6-B), U_{set} 与 U_{AV} 送入比较器B(6-6),通过比较生成一种脉宽调制信号并送入选择控制器(6-3)中, U_{AV} 通过频率补偿器B(6-7)传输至选择控制器(6-3),通过电流采样模块(7)实时采集流过斩波稳流电路(2)电感 L_1 的电流并送入稳流环路(6-A),通过均值计算模块(6-1)、频率补偿器A(6-2)得到电流平均值 I_{AV} 并送入选择控制器(6-3),选择控制器(6-3)根据步骤一中设定的参数,按照设定的控制规则,选择输出正弦信号a和正弦信号b,正弦信号b作为从控制器控制信号发送至从控制器(9),三角波发生器B(9-1)根据设定的载波比 N_1 以及公式 $N_1 = \frac{f_{c1}}{f_{r1}}$,其中 f_{c1} 为载波频率即三角波发生器B(9-1)发出的三角波B的频率, f_{r1} 为调制信号频率即正弦信号b频率,确定出三角波B的频率 f_{c1} ,发出具有相应频率 f_{c1} 的三角波B,三角波B与从控制器控制信号即正弦信号b共同输入到比较器C(9-3),比较器C(9-3)通过比较,输出PWM调制信号并将PWM调制信号发送至全桥逆变电路(3),控制全桥逆变电路(3)中开关管 V_1 、开关管 V_2 、开关管 V_3 、开关管 V_4 的各自的导通时间,通过调节上述四个开关管各自的导通时间来调节和稳定不同发射频率下流过负载线圈(5)的电流;

第四步:三角波发生器A(6-4)根据步骤一中设定的载波比 N_2 及公式 $N_2 = \frac{f_{c2}}{f_{r2}}$,其中 f_{c2} 为载波频率即三角波发生器A(6-4)发出的三角波A的频率, f_{r2} 为调制信号频率即正弦信号a频率,确定出三角波A的频率 f_{c2} ,发出具有相应频率 f_{c2} 的三角波A,该三角波A与正弦信号a共同输入到比较器A(6-5)通过比较器A(6-5)比较,输出PWM调制信号,控制斩波稳流电路(2)开关管VT的导通和关断,从而控制斩波稳流电路(2)输出电压,即全桥逆变电路(3)的母线电压,来间接调节流过负载线圈(5)的电流;

第三步中所述的设定的控制规则包括:先将输出电压 U_{AV} 与安全电压 U_{set} 进行比较:当 U_{AV} 大于安全电压值 U_{set} 时,主控制器(6)通过电压保护及稳压环路(6-B)控制磁性源发射机滤波电容 C_2 的输出电压,将其限制在 U_{set} ;当 U_{AV} 小于或等于安全电压值 U_{set} 时,则主控制器(6)进行频率检测,对实际发射频率 f 与设定发射频率 f_0 进行比较:当实际发射频率 f 大于或等于设定发射频率 f_0 时,通过稳流环路(6-A)和从控制器(9)控制发射频率 f 并使其稳定在 f_0 ;当实际发射频率 f 小于设定发射频率 f_0 时,主控制器(6)通过稳流环路(6-A)控制流过负载线圈(5)电流幅值并使输出电流平均值稳定在 I_{set} 。

一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种地球物理探测中的电磁法仪器,尤其是适用于浅地表频率域电磁探测,发射脉冲电流频率为几百赫兹到几十千赫兹,发射矩为几安培平方米。

背景技术

[0002] 浅地表电磁探测的原理是通过磁性源在探测区域内形成一次场,当探测区域下方有电阻率异常体时,异常体内部形成涡流,产生感应的二次场信号,通过对二次场信号的检测、分析,对浅地表电阻率异常体进行电磁成像。

[0003] 目前该领域应用的发射机为开环发射机,通过直流电源,逆变桥路,滤波电路直接与负载相连。该方法对于单一频率点有较好的效果,但对于几百赫兹到几十千赫兹的宽频电磁发射系统则无法保证频率变换时发射矩的变化,同时无法保证系统安全稳定工作。对于低频段,由于线圈负载呈现感性,当频率较低时,发射电流容易过大,迫使发射线圈横截面增加,才能保证安全工作。对于高频段,由于负载阻抗变大,发射电流急剧减小,容易造成发射矩不足,无法满足探测需求。

[0004] 目前对于配套使用的电磁探测发射机与发射线圈,当需要增大发射矩,或探测范围时,往往需要更换线圈,对于传统的发射机,无法根据发射线圈进行系统的自动调节,保证发射系统稳定,但本发明所述的系统,可以通过软件现场更改参数,达到方便调试的效果。

发明内容

[0005] 本发明涉及一种地球物理探测中的电磁法仪器,适用于浅地表频率域电磁探测发射脉冲电流频率为几百赫兹到几十千赫兹,发射矩为几安培平方米,目的在于解决由于宽频电磁探测时低频负载电流过大,高频发射矩不足的问题,提供了一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机。本发明的另一目的是,提供一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机的控制方法,方便更改发射线圈时的现场参数更改。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机,其特征在于,包括:直流电源、斩波稳流电路、全桥逆变电路、滤波电路、负载线圈、主控制器、电流采样模块、电压采样模块、从控制器;直流电源经斩波稳流电路、全桥逆变电路、滤波电路与负载线圈连接,斩波稳流电路输出端与电流采样模块相连,滤波电路输出端与电压采样模块相连,负载线圈与电压采样模块并联,电流采样模块、电压采样模块的输出端经主控制器直接与斩波稳流电路连接,主控制器的输出端经从控制器与全桥逆变电路相连。

[0008] 进一步的技术方案包括:

[0009] 斩波稳流电路由开关管VT,二极管D,电感L₁和电容C₁构成,采用buck降压斩波拓扑结构;全桥逆变电路是由四个开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃和开关管V₄构成,斩波稳流电路中的电容C₁正端与开关管V₁和开关管V₃的漏极相连,电容C₁的负端与开关管V₂和开关管V₄的

源极相连,开关管 V_1 的源极与开关管 V_2 的漏极相连于A点,开关管 V_3 的源极与开关管 V_4 的漏极相连于B点,使开关管 V_1 和开关管 V_4 构成一组桥臂,开关管 V_2 和开关管 V_3 构成一组桥臂,且在开关管 V_1 、开关管 V_2 、开关管 V_3 和开关管 V_4 中的每个开关管两端各自并联一个反馈二极管;滤波电路由滤波电感 L_2 和滤波电容 C_2 组成,滤波电感 L_2 一端与A点相连,滤波电感 L_2 另一端与滤波电容 C_2 正极相连,滤波电容 C_2 负极与B点相连;负载线圈为感性负载,等效为由负载电感 L_0 与负载电阻 R_0 串联组成,并且负载线圈与滤波电路的滤波电容 C_2 并联。

[0010] 主控制器由稳流环路和电压保护及稳压环路组成,稳流环路是由均值计算模块经频率补偿器A和选择控制器与比较器A连接、三角波发生器A与比较器A连接构成的,电流采样模块与均值计算模块连接,比较器A与斩波稳流电路连接,选择控制器与从控制器连接;电压保护及稳压环路包括比较器B、频率补偿器B和工作参数设置单元,比较器B、频率补偿器B、工作参数设置单元分别与稳流环路中的选择控制器连接,工作参数设置单元又经过比较器B与稳流环路中的选择控制器连接,比较器B和频率补偿器B又分别和电压采样模块连接。

[0011] 所述的从控制器包括三角波发生器B、比较器C、两个反相器和四路输出,三角波发生器B与比较器C连接,比较器C经四路输出与全桥逆变电路中的开关管 V_1 栅极连接,比较器C经四路输出与全桥逆变电路中的开关管 V_4 栅极连接,比较器C经过一个反相器和四路输出与全桥逆变电路中的开关管 V_2 栅极连接,比较器C经过另一个反相器和四路输出与全桥逆变电路中的开关管 V_3 栅极连接,主控制器中的选择控制器与比较器C连接。

[0012] 本发明还提供了一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机的控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0013] 第一步:向主控制器的工作参数设置单元设定发射机发射电流值 I_{set} 、发射频率 f_0 和发射电流波形,设定发射机最大工作电压 U_{max} ,设置选择控制器脉宽调制载波比 N_1 、 N_2 ;

[0014] 第二步:主控制器根据设置的参数,确定安全电压值 U_{set} ,确定的原则为: U_{set} 为发射机直流电源正常工作电压 U 和发射机最大工作电压 U_{max} 的平均值,取 $U_{set} = \frac{U + U_{max}}{2}$;

[0015] 第三步:主控制器通过电压采样模块实时采集滤波电路滤波电容 C_2 处的实际电压值 U_{AV} 送入电压保护及稳压环路, U_{set} 与 U_{AV} 送入比较器B,通过比较生成一种脉宽调制信号并送入选择控制器中, U_{AV} 通过频率补偿器B传输至选择控制器,通过电流采样模块实时采集流过斩波稳流电路电感 L_1 的电流并送入稳流环路,通过均值计算模块、频率补偿器A得到电流平均值 I_{AV} 并送入选择控制器,选择控制器根据步骤一中设定的参数,按照设定的控制规则,选择输出正弦信号a和正弦信号b,正弦信号b作为从控制器控制信号发送至从控制器,三角波发生器B根据设定的载波比 N_1 以及公式 $N_1 = \frac{f_{c1}}{f_{r1}}$,其中 f_{c1} 为载波频率即三角波发生器B发

出的三角波B的频率, f_{r1} 为调制信号频率即正弦信号b频率,确定出三角波B的频率 f_{c1} ,发出具有相应频率 f_{c1} 的三角波B,三角波B与从控制器控制信号即正弦信号b共同输入到比较器C,比较器C通过比较,输出PWM调制信号并将PWM调制信号发送至全桥逆变电路,控制全桥逆变电路中开关管 V_1 、开关管 V_2 、开关管 V_3 、开关管 V_4 的各自的导通时间,通过调节上述四个开关管各自的导通时间来调节和稳定不同发射频率下流过负载线圈的电流;

[0016] 第四步:三角波发生器A根据步骤一中设定的载波比 N_2 及公式 $N_2 = \frac{f_{c2}}{f_{r2}}$,其中 f_{c2} 为载波频率即三角波发生器A发出的三角波A的频率, f_{r2} 为调制信号频率即正弦信号a频率,确定出三角波A的频率 f_{c2} ,发出具有相应频率 f_{c2} 的三角波A,该三角波A与正弦信号a共同输入到比较器A通过比较器A比较,输出PWM调制信号,控制斩波稳流电路开关管VT的导通和关断,从而控制斩波稳流电路输出电压,即全桥逆变电路的母线电压,来间接调节流过负载线圈的电流。

[0017] 进一步的技术方案包括:

[0018] 第三步中所述的设定的控制规则包括:先将输出电压 U_{AV} 与安全电压 U_{set} 进行比较:当 U_{AV} 大于安全电压值 U_{set} 时,主控制器通过电压保护及稳压环路控制磁性源发射机滤波电容 C_2 的输出电压,将其限制在 U_{set} ;当 U_{AV} 小于或等于安全电压值 U_{set} 时,则主控制器进行频率检测,对实际发射频率 f 与设定发射频率 f_0 进行比较:当实际发射频率 f 大于或等于设定发射频率 f_0 时,通过稳流环路和从控制器控制发射频率 f 并使其稳定在 f_0 ;当实际发射频率 f 小于设定发射频率 f_0 时,主控制器通过稳流环路控制流过负载线圈电流幅值并使输出电流平均值稳定在 I_{set} 。

[0019] 本发明与现有技术相比,有益效果在于:

[0020] 本发明在应对不同频率下发射时引入电流反馈模式、电压反馈模式的双闭环反馈调节模式,实现低频稳流、高频稳压,解决了由于宽频电磁探测时低频负载电流过大,高频发射矩不足的问题。并引入数字控制,方便更改发射线圈时的现场参数更改。

附图说明

[0021] 图1为本发明所述的一种双环反馈浅地表电磁发射机的结构示意图;

[0022] 图2为本发明所述的一种双环反馈浅地表电磁发射机主电路原理示意图;

[0023] 图3为图1中主控制器工作原理结构示意图;

[0024] 图4图1中从控制器工作流程示意图;

[0025] 图5为本发明所述的一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机控制方法流程图;

[0026] 图中:1.直流电源,2.斩波稳流电路,3.全桥逆变电路,4.滤波电路,5.负载线圈,6.主控制器,7.电流采样模块,8.电压采样模块,9.从控制器。

具体实施方式:

[0027] 下面结合附图和实施例,对本发明进行进一步的详细说明。

[0028] 双环反馈控制的浅地表磁性源发射机是由直流电源1经斩波稳流电路2、全桥逆变电路3、滤波电路4与负载线圈5连接,斩波稳流电路2输出端与电流采样模块7相连;负载线圈5与电压采样模块8并联;电流采样模块7、电压采样模块8与主控制器6相连,与从控制器9一起构成控制检测单元,斩波稳流电路2输出端与电流采样模块7相连,滤波电路4输出端与电压采样模块8相连,负载线圈5与电压采样模块8并联,电流采样模块7、电压采样模块8的输出端经主控制器6直接与斩波稳流电路2连接,主控制器6的输出端经从控制器9与全桥逆变电路3相连。

[0029] 控制检测单元是由电流采样模块7、电压采样模块8与主控制器、从控制器连接组

成,主控制器6通过从控制器9控制发射机发射波形的频率。

[0030] 图2所示为发射机主电路,其中,电源部分采用直流电源1,为系统提供电能;斩波稳流电路2由开关管VT,二极管D,电感L₁和电容C₁构成,采用buck降压斩波拓扑结构;斩波稳流电路2输出端与全桥逆变电路3相连,全桥逆变电路3是由开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃和开关管V₄构成,斩波稳流电路2中的电容C₁正端与开关管V₁和开关管V₃的漏极相连,电容C₁的负端与开关管V₂和开关管V₄的源极相连,开关管V₁的源极与开关管V₂的漏极相连于A点,开关管V₃的源极与开关管V₄的漏极相连于B点,使开关管V₁和开关管V₄构成一组桥臂,开关管V₂和开关管V₃构成一组桥臂,且在开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃、开关管V₄中的每个开关管两端各自并联一个反馈二极管;A点和B点与滤波电路4相连,滤波电路4由滤波电感L₂和滤波电容C₂组成,滤波电感L₂一端与A点相连,滤波电感L₂另一端与滤波电容C₂正极相连,滤波电容C₂负极与B点相连;负载线圈5为感性负载,等效为负载电感L₀与负载电阻R₀串联,并且负载线圈5与滤波电路4的滤波电容C₂并联,当线圈中流过变化的电流时,在周围空间产生电磁场。

[0031] 图2中所示的斩波稳流电路2,其开关管VT开通关断由图1中主控制器6控制,主控制器6由稳流环路6-A和电压保护及稳压环路6-B组成,稳流环路6-A由均值计算模块6-1经频率补偿器A6-2和选择控制器6-3与比较器A6-5连接、三角波发生器A6-4与比较器A6-5连接构成,电流采样模块7与均值计算模块6-1连接,比较器A6-5与斩波稳流电路2连接,选择控制器6-3与从控制器9连接;电压保护及稳压环路6-B包括比较器B6-6、频率补偿器B6-7和工作参数设置单元6-8,比较器B6-6、频率补偿器B6-7、工作参数设置单元6-8分别与稳流环路6-A中的选择控制器6-3连接,工作参数设置单元6-8又经过比较器B6-6与稳流环路6-A中的选择控制器6-3连接,比较器B6-6和频率补偿器B6-7又分别和电压采样模块8连接。主控制器6输出PWM调制信号至开关管VT栅极,通过选择控制器调整PWM信号占空比,驱动开关管VT通断,当PWM调制信号高电平时驱动开关管VT导通,调制信号低电平时使开关管VT关断,以此来控制斩波稳流电路2输出电压,即全桥逆变电路3的母线电压,来间接调节流过发射线圈5的电流。

[0032] 图2中所示的全桥逆变电路3,其中开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃和开关管V₄的开通关断由图1中从控制器9控制。从控制器9包括三角波发生器B9-1、比较器C9-3、两个反相器和四路输出9-4,三角波发生器B9-1与比较器C9-3连接,比较器C9-3经四路输出9-4与全桥逆变电路3中的开关管V₁栅极连接,比较器C9-3经四路输出9-4与全桥逆变电路3中的开关管V₄栅极连接,比较器C9-3经过一个反相器和四路输出9-4与全桥逆变电路3中的开关管V₂栅极连接,比较器C9-3经过另一个反相器和四路输出9-4与全桥逆变电路3中的开关管V₃栅极连接,主控制器6中的选择控制器6-3与比较器C9-3连接。三角波发生器B9-1根据设定的调制比发出具有相应频率和幅值的三角波信号,该三角波信号与从控制器控制信号共同输入到比较器C9-3,比较器C9-3通过比较,输出PWM调制信号并将PWM调制信号发送至全桥逆变电路3开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃和开关管V₄的栅极,并在发送至开关管V₂、开关管V₃前接入反相器,使两组桥臂交替轮流导通并且当调制信号高电平时驱动开关管导通,调制信号低电平时使开关管关断,各开关管导通时间 $t' = \frac{T}{2} - t$,其中T为开关周期,t为死区时间,从而调节发射电流的频率。

[0033] 图2中所示的斩波稳流电路2的电感处为电流采样点,此处电流变化成线性,方便均值的计算,通过电流采样模块隔离、放大、模数转换后进入主控制器6。

[0034] 图2中所示的负载线圈5两端为电压采样点,通过电压采样模块8隔离、绝对值放大、模数转换后进入主控制器6,由公式 $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ 可知,低频时负载阻抗较小,高频时负载阻抗较大,因此先通过检测回路检测负载两端电压,然后进行模式选择。

[0035] 主控制器具体工作过程包括如下:

[0036] 根据实际要求,通过工作参数设置单元6-8预先设定工作参数,通过设置参数确定安全电压值,安全电压值信号与实际电压值信号送入比较器B 6-6输入端。比较器B 6-6输出端与频率补偿器A 6-2、频率补偿器B 6-7共同输入到选择控制器6-3,工作参数设置单元6-8也与选择控制器6-3相连,通过选择控制器6-3输出调制波正弦信号a和调制波正弦信号b,正弦信号a与三角波发生器A6-4发出的三角波A共同输入到比较器A6-5,经过比较器A6-5输出PWM调制信号,PWM调制信号发送至斩波稳流电路2开关管VT的栅极,控制斩波稳流电路2输出电压。正弦信号b即为从控制器控制信号,发送至从控制器。

[0037] 三角波发生器B9-1的三角波信号B与从控制器控制信号共同输入到比较器C 9-3,比较器C 9-3通过比较,输出PWM调制信号并将PWM调制信号发送至全桥逆变电路3开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃、开关管V₄的栅极,并在发送至开关管V₂、开关管V₃前接入反相器,使开关管V₁、开关管V₄与开关管V₂、开关管V₃的相位相差180°并使两组桥臂交替轮流导通,当调制信号高电平时驱动开关管导通,调制信号低电平时使开关管关断从而调节发射电流的频率。

[0038] 一种双环反馈控制的浅地表磁性源发射机的控制方法,包括以下步骤:

[0039] 第一步:根据实际要求,向主控制器6的工作参数设置单元6-8设定发射机发射电流值I_{set}、发射频率f₀,发射电流波形,设定发射机最大工作电压U_{max},设置选择控制器(6-3)脉宽调制载波比N₁、N₂;

[0040] 第二步:主控制器6根据设置的参数,确定安全电压值U_{set},确定的原则为:U_{set}为发射机直流电源1正常工作电压U和发射机最大工作电压U_{max}的平均值,取 $U_{set} = \frac{U + U_{max}}{2}$;

[0041] 第三步:主控制器6通过电压采样模块8实时采集滤波电路4滤波电容C₂处的实际电压值U_{AV}送入电压保护及稳压环路6-B,U_{set}与U_{AV}送入比较器B 6-6,通过比较生成一种脉宽调制信号并送入选择控制器6-3中,U_{AV}通过频率补偿器B 6-7传输至选择控制器6-3,通过电流采样模块7实时采集流过斩波稳流电路2电感L₁的电流并送入稳流环路6-A,通过均值计算模块6-1、频率补偿器A 6-2得到电流平均值I_{AV}并送入选择控制器6-3,选择控制器6-3根据设定参数,按照设定的控制规则,选择输出正弦信号a和正弦信号b,正弦信号b作为从控制器控制信号发送至从控制器9,三角波发生器B 9-1根据设定的载波比N₁以及公式

$N_1 = \frac{f_{c1}}{f_{r1}}$,其中f_{c1}为载波频率即三角波发生器B 9-1发出的三角波B的频率,f_{r1}为调制信号

频率即正弦信号b频率,确定出三角波B的频率f_{c1},发出具有相应频率f_{c1}的三角波B,三角波B与从控制器控制信号即正弦信号b共同输入到比较器C 9-3,比较器C 9-3通过比较,输出PWM调制信号并将PWM调制信号发送至全桥逆变电路3,控制全桥逆变电路3中开关管V₁、开关管V₂、开关管V₃、开关管V₄的各自的导通时间,通过调节上述四个开关管各自的导通时间

来调节和稳定不同发射频率下流过负载线圈5的电流；

[0042] 第四步：三角波发生器A 6-4根据设定的载波比 N_2 及公式 $N_2 = \frac{f_{c2}}{f_{r2}}$ ，其中 f_{c2} 为载波

频率即三角波发生器A 6-4发出的三角波A的频率， f_{r2} 为调制信号频率即正弦信号a频率，确定出三角波A的频率 f_{c2} ，发出具有相应频率 f_{c2} 的三角波A，该三角波A与正弦信号a通过比较器A 6-5比较，输出PWM调制信号，控制斩波稳流电路2开关管VT的导通和关断，从而控制斩波稳流电路2输出电压，即全桥逆变电路3的母线电压，来间接调节流过负载线圈5的电流。

[0043] 第三步中所述的设定的控制规则包括：先将输出电压 U_{AV} 与安全电压 U_{set} 进行比较：当 U_{AV} 大于安全电压值 U_{set} 时，主控制器6通过电压保护及稳压环路6-B控制磁性源发射机滤波电容 C_2 的输出电压，将其限制在 U_{set} ；当 U_{AV} 小于或等于安全电压值 U_{set} 时，则主控制器6进行频率检测，对实际发射频率 f 与设定发射频率 f_0 进行比较：当实际发射频率 f 大于或等于设定发射频率 f_0 时，通过稳流环路6-A和从控制器9控制发射频率 f 并使其稳定在 f_0 ；当实际发射频率 f 小于设定发射频率 f_0 时，主控制器6通过稳流环路6-A控制流过负载线圈5电流幅值并使输出电流平均值稳定在 I_{set} 。

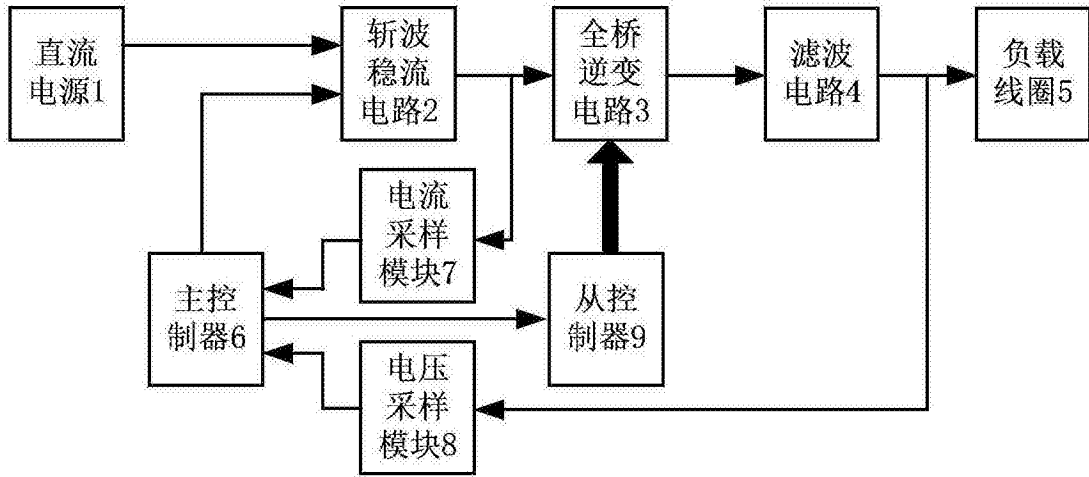


图1

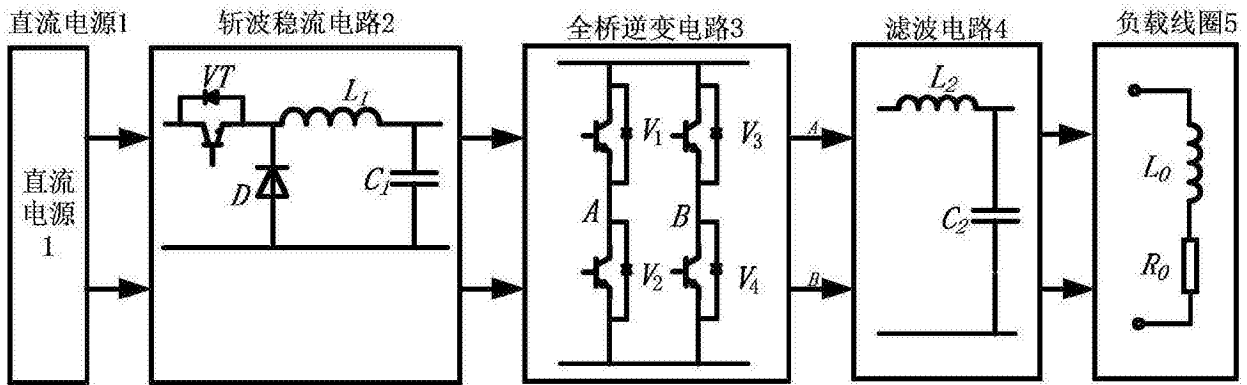


图2

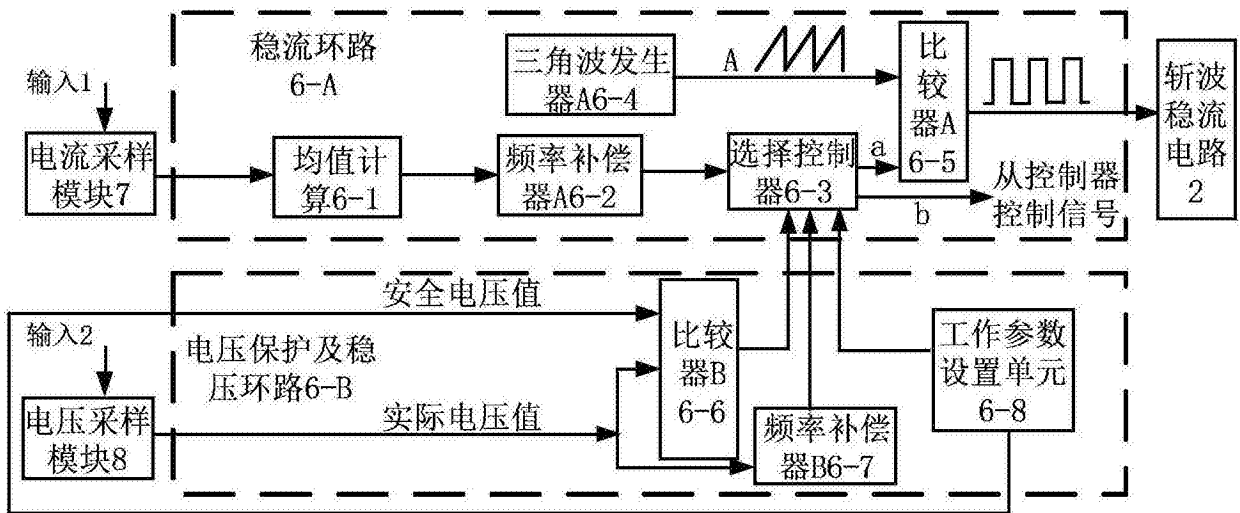


图3

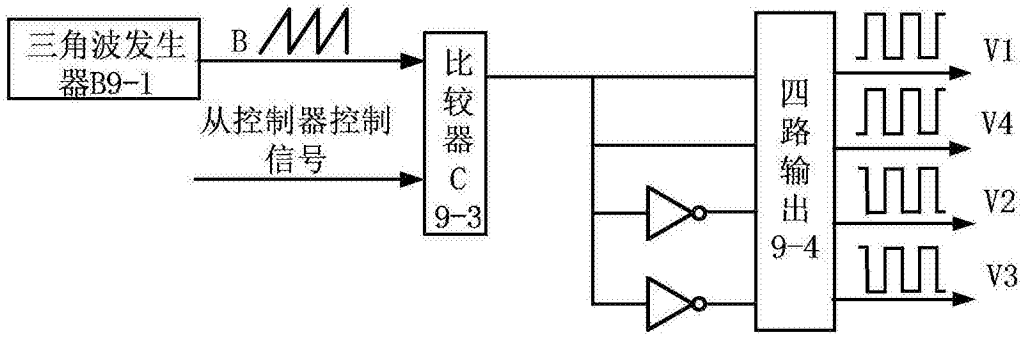


图4

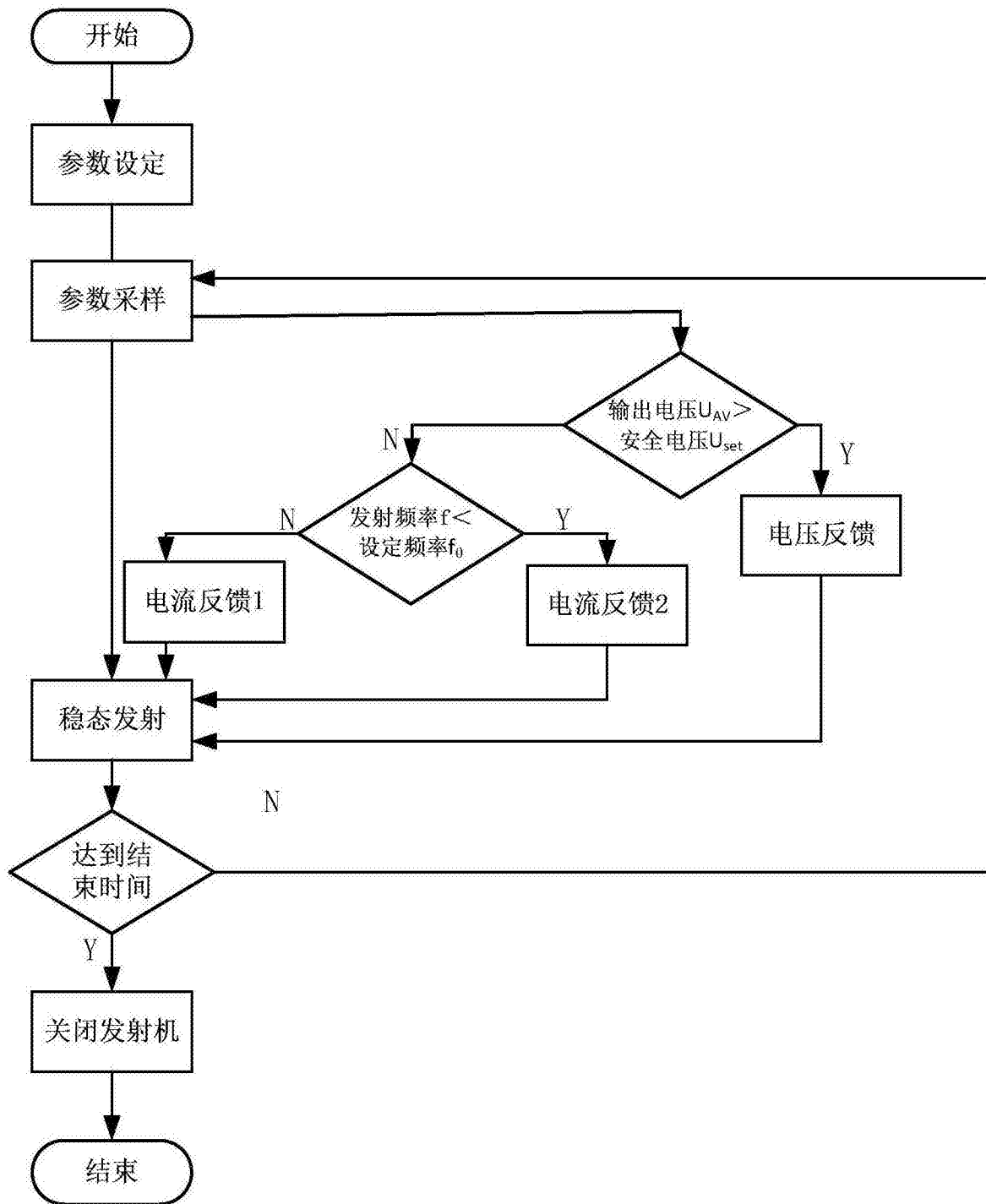


图5