



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111697817 B

(45) 授权公告日 2023.05.12

(21) 申请号 202010558761.4

(22) 申请日 2020.06.18

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111697817 A

(43) 申请公布日 2020.09.22

(73) 专利权人 中车长春轨道客车股份有限公司
地址 130103 吉林省长春市长客路2001号
专利权人 北京航空航天大学
佛山市顺德区航测电磁兼容技术
有限公司
深圳市北航检测有限公司
北航工程技术中心(深圳)有限公
司

(72) 发明人 宋刚 郝宏海 穆晓彤 孙平
商宝莹 宋季磊

(51) Int. Cl.

H02M 1/44 (2007.01)

H02M 1/088 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108680762 A, 2018.10.19

CN 109660118 A, 2019.04.19

CN 209881653 U, 2019.12.31

CN 106685103 A, 2017.05.17

WO 2015125586 A1, 2015.08.27

JP 2011030048 A, 2011.02.10

JP 2019126203 A, 2019.07.25

US 2001024373 A1, 2001.09.27

US 2019296637 A1, 2019.09.26

郝宏海等.城市轨道交通车辆低频磁场试验
不确定度研究.2019,(第10期),11-12.

审查员 段虎

权利要求书3页 说明书4页

(54) 发明名称

一种动车组逆变器的抗电磁干扰装置

(57) 摘要

本发明涉及一种动车组逆变器的抗电磁干扰装置,包含信号接收单元、时频转换单元、低通滤波单元、差分比较单元和频率段控制单元。本装置可用于我国现行高速动车组的大功率逆变器中,减少逆变器在长时间高电压、大电流工作条件下,对动车组上弱电控制和执行单元产生的干扰,提高动车组运行的可靠性与稳定性。

1. 一种动车组逆变器的抗电磁干扰装置,包含以下内容:信号接收单元、时频转换单元、低通滤波单元、差分比较单元以及频率段控制单元;

所述信号接收单元包含波形设定器和波形判别器,位于所述抗电磁干扰装置的内部,用于接收所述动车组逆变器中的IGBT每一次开关过程的波形,每一个波形由N个波峰组成;

波形设定器负责设定波形数据集,令 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$,表示为一个所述波形数据集,其中n为自然数,n代表所述波形数据集中所有波形的数目, $i = 1, 2, \dots, n$; F_i 为第i个波形,第i个波形 F_i 中包含若干个波峰,所述波形 F_i 中波峰的总数目为N,N为自然数;

接着,波形设定器设定在所述波形数据集F中存在着正约束关系和逆约束关系,若已知两个波峰属于同一个方向类别,就将所述两个波峰定义为正约束关系;反之,若已知两个波峰不属于同一个方向类别,就将所述两个波峰定义为逆约束关系;其中,所述方向类别有两类,分别为:当所述波峰对应的波形区段的函数为凸函数时,所述方向类别为正;当所述波峰对应的波形区段的函数为凹函数时,所述方向类别为负;

波形判别器根据所述正约束关系将所述波形数据集中的所有波形的呈正约束关系的波峰分为m个波峰面域,m为自然数;如果每个所述波峰面域中的波峰属于同一个方向类别,则 X_m 为第m个所述波峰面域,令 $X_m = \{X_{m_1}, X_{m_2}, \dots, X_{m_k}\}$,其中M为所述波峰面域的总个数,m为自然数, $m = 1, 2, \dots, M$,k为自然数, m_k 为第m个所述波峰面域中包含的所有波峰的个数,X为所述波峰面域, $X_{m_1}, X_{m_2}, \dots, X_{m_k}$ 为第m个所述波峰面域包含的所有波峰;同时,波形判别器根据所述逆约束关系形成每个所述波峰面域之间的判别集合,所述判别集合用来判断M个所述波峰面域之间是否呈面域自相关,如果第m个所述波峰面域中的某个波峰与非第m个所述波峰面域中的任何一个波峰为所述逆约束关系,则称所述M个波峰面域中的第m个所述波峰面域与非第m个所述波峰面域为面域自相关,令Y为波峰面域的判别集合,令 Y_m 为第m个所述波峰面域的判别集合,第m个所述波峰面域的判别集合 Y_m 用于描述M个所述波峰面域中与第m个所述波峰面域有所述面域自相关的所述波峰面域;

所述时频转换单元位于所述抗电磁干扰装置的内部,与所述信号接收单元相连,用于将所述波峰面域从时域转换到频域,从而得到所述波峰面域的绝对幅频值,计算公式如下:

$$Q_m = \frac{5X_m c}{2\pi d} \frac{|\sin(f\sqrt{c+d})| \sqrt{m}}{\sqrt{\frac{\ln(Y_m)}{m}}}$$

其中 $m = 1, 2, \dots, M$,m为自然数,M为所述波峰面域的个数,X为所述波峰面域, X_m 为第m个所述波峰面域,c为所述波峰面域对应的所述波形的上升沿时间,d为所述波峰面域对应的所述波形的下降沿时间,f为所述波峰面域对应的所述波形的最大频率值,Y为所述波峰面域的判别集合, Y_m 为第m个所述波峰面域的判别集合,Q为所述波峰面域的绝对幅频值, Q_m 为第m个所述波峰面域的绝对幅频值;

所述低通滤波单元位于所述抗电磁干扰装置的内部,与所述时频转换单元相连,用于剔除所述时频转换单元中所述波峰面域的绝对幅频值的短期波动,以保留长期发展趋势来保证信号的平滑,将所述波峰面域的绝对幅频值经过低通滤波单元滤波后得到所述波峰面

域的低通滤波绝对幅频值,计算公式如下:

$$\tilde{Q}_m(n) = \alpha \tilde{Q}_m(n-1) + \frac{1}{(2\alpha - 1)\tilde{Q}_m(n-1)}$$

其中 $m=1,2,\dots,M$, m 为自然数, M 为所述波峰面域的个数, $n=1,2,\dots,N$, n 为自然数, N 为滤波次数, α 为滤波系数, \tilde{Q} 为所述波峰面域的低通滤波绝对幅频值, \tilde{Q}_m 为第 m 个所述波峰面域的低通滤波绝对幅频值, $\tilde{Q}_m(n)$ 为第 m 个所述波峰面域经过第 n 次滤波后的所述波峰面域的低通滤波绝对幅频值, $\tilde{Q}_m(n-1)$ 为第 m 个所述波峰面域经过第 $n-1$ 次滤波后的所述波峰面域的低通滤波绝对幅频值;

所述差分比较单元位于所述抗电磁干扰装置的内部,与所述低通滤波单元相连,以补偿所述低通滤波单元晶体管门限的差异和漂移,得到漂移校正后的频率段,计算公式如下:

$$T_m = \sqrt{(\tilde{Q}_m e^{j2\pi T})^2 + t/(B - B_0)^3}$$

其中, $m=1,2,\dots,M$ 为自然数, M 为所述波峰面域的个数, \tilde{Q}_m 为第 m 个所述波峰面域的低通滤波绝对幅频值, T 为所述波峰面域对应的所述波形的周期, t 为所述低通滤波单元晶体管门限的漂移值, j 为虚部符号, B_0 为环境温度, B 为所述IGBT开关的实际温度, T 为所述频率段, T_m 为第 m 个所述频率段;

所述频率段控制单元位于所述抗电磁干扰装置的内部,与所述差分比较单元相连,通过相关性分析,控制所述频率段 T_m 的取值范围,控制其的取值在工业用电力电子元件的弱电磁干扰频率段范围内,从而减少所述动车组逆变器产生的电磁干扰,工作的具体步骤为:

首先,所述频率段控制单元设定了频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的距离为 $d(T_i, T_j)$,表示频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的距离,公式如下:

$$d(T_i, T_j) = \sqrt[3]{(T_i - T_j)^2}$$

其中, i, j 为自然数, T 为所述频率段, T_i 为所述第 i 个频率段, T_j 为所述第 j 个频率段, d 为所述距离, $d(T_i, T_j)$ 为所述频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的距离;

接着,所述频率段控制单元设定了频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的归属度为 $z(T_i, T_j)$,表示频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的相关程度,公式如下:

$$z(T_i, T_j) = \begin{cases} \prod_{p \neq i, j} d(T_p, T_j) & i \neq j \\ d(T_i, T_j) & i = j \end{cases}$$

其中, i, j, p 为自然数, T 为所述频率段, T_i 为所述第 i 个频率段, T_j 为所述第 j 个频率段, T_p 为所述第 p 个频率段, $d(T_i, T_j)$ 为所述频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的距离, $d(T_p, T_j)$ 为所述频率段 T_p 和频率段 T_j 之间的距离, z 为所述归属度, $z(T_i, T_j)$ 为所述频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的

归属度；

最后,所述频率段控制单元将所述归属度小于1的所述频率段剔除,即可得到所述动车组逆变器的弱电磁干扰频率段,以将所述动车组逆变器的频率段控制在所述弱电磁干扰频率段内,从而减少所述动车组逆变器产生的电磁干扰。

一种动车组逆变器的抗电磁干扰装置

技术领域

[0001] 本发明涉及轨道交通单元与电气兼容领域,为一种针对动车组上大功率逆变器的抗电磁干扰装置。

背景技术

[0002] 轨道交通系统的电磁兼容(EMC)是指在轨道交通运营的电磁环境中,轨道交通系统设备与设备之间、设备与外界之间,能够正常工作、对其他设备不构成电磁干扰,在共同的电磁环境下一起执行各自功能的共存状态。

[0003] 在轨道交通系统中,有着许多正常运营下所需要的设备和管线系统,这些设备中有的在运行中产生了比较强烈的电磁干扰,其中动车组上大功率逆变器产生的电磁干扰尤为突出。因此,减少逆变器在长时间高电压、大电流工作条件下,对动车组上弱电控制和执行单元产生的电磁干扰,提高动车组运行的可靠性与稳定性显得十分重要。

发明内容

[0004] 一种动车组逆变器的抗电磁干扰装置,包含以下内容:信号接收单元、时频转换单元、低通滤波单元、差分比较单元以及频率段控制单元;

[0005] 信号接收单元包含波形设定器和波形判别器,位于抗电磁干扰装置的内部,用于接收动车组逆变器中的IGBT每一次开关过程的波形,每一个波形由N个波峰组成;

[0006] 波形设定器负责设定波形数据集,令 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$,表示为一个波形数据集,其中n为自然数,n代表波形数据集中所有波形的数目, $i = 1, 2, \dots, n$; F_i 为第i个波形,第i个波形 F_i 中包含若干个波峰,波形 F_i 中波峰的总数目为N,N为自然数;

[0007] 接着,波形设定器设定在波形数据集F中存在着正约束关系和逆约束关系,若已知两个波峰属于同一个方向类别,就将两个波峰定义为正约束关系;反之,若已知两个波峰不属于同一个方向类别,就将两个波峰定义为逆约束关系;其中,方向类别有两类,分别为:当波峰对应的波形区段的函数为凸函数时,方向类别为正;当波峰对应的波形区段的函数为凹函数时,方向类别为负;

[0008] 波形判别器根据正约束关系将波形数据集中的所有波形的呈正约束关系的波峰分为m个波峰面域,m为自然数;如果每个波峰面域中的波峰属于同一个方向类别,则 X_m 为第m个波峰面域,令 $X_m = \{X_{m_1}, X_{m_2}, \dots, X_{m_k}\}$,其中M为波峰面域的总个数,m为自然数, $m = 1, 2, \dots, M$,k为自然数, m_k 为第m个波峰面域中包含的所有波峰的个数,X为波峰面域, $X_{m_1}, X_{m_2}, \dots, X_{m_k}$ 为第m个波峰面域包含的所有波峰;同时,波形判别器根据逆约束关系形成每个波峰面域之间的判别集合,判别集合用来判断M个波峰面域之间是否呈面域自相关,如果第m个波峰面域中的某个波峰与非第m个波峰面域中的任何一个波峰为逆约束关系,则称M个波峰面域中的第m个波峰面域与非第m个波峰面域为面域自相关,令Y为波峰面域的判别集合,令 Y_m 为第m个波峰面域的判别集合,第m个波峰面域的判别集合 Y_m 用于描述M

个波峰面域中与第m个波峰面域有面域自相关的波峰面域；

[0009] 时频转换单元位于抗电磁干扰装置的内部，与信号接收单元相连，用于将波峰面域从时域转换到频域，从而得到波峰面域的绝对幅频值，计算公式如下：

$$[0010] \quad Q_m = \frac{5X_m c}{2\pi d} \frac{|\sin(f\sqrt{c+d})|^{\sqrt{m}}}{\sqrt{\frac{\ln(Y_m)}{m}}}$$

[0011] 其中 $m=1, 2, \dots, M$, m 为自然数, M 为波峰面域的个数, X 为波峰面域, X_m 为第 m 个波峰面域, c 为波峰面域对应的波形的上升沿时间, d 为波峰面域对应的波形的下降沿时间, f 为波峰面域对应的波形的最大频率值, Y 为波峰面域的判别集合, Y_m 为第 m 个波峰面域的判别集合, Q 为波峰面域的绝对幅频值, Q_m 为第 m 个波峰面域的绝对幅频值；

[0012] 低通滤波单元位于抗电磁干扰装置的内部，与时频转换单元相连，用于剔除时频转换单元中波峰面域的绝对幅频值的短期波动，以保留长期发展趋势来保证信号的平滑，将波峰面域的绝对幅频值经过低通滤波单元滤波后得到波峰面域的低通滤波绝对幅频值，计算公式如下：

$$[0013] \quad \tilde{Q}_m(n) = \alpha \tilde{Q}_m(n-1) + \frac{1}{(2\alpha-1)\tilde{Q}_m(n-1)}$$

[0014] 其中 $m=1, 2, \dots, M$, m 为自然数, M 为波峰面域的个数, $n=1, 2, \dots, N$, n 为自然数, N 为滤波次数, α 为滤波系数, \tilde{Q} 为波峰面域的低通滤波绝对幅频值, \tilde{Q}_m 为第 m 个波峰面域的低通滤波绝对幅频值, $\tilde{Q}_m(n)$ 为第 m 个波峰面域经过第 n 次滤波后的波峰面域的低通滤波绝对幅频值, $\tilde{Q}_m(n-1)$ 为第 m 个波峰面域经过第 $n-1$ 次滤波后的波峰面域的低通滤波绝对幅频值；

[0015] 差分比较单元位于抗电磁干扰装置的内部，与低通滤波单元相连，以补偿低通滤波单元晶体管门限的差异和漂移，得到漂移校正后的频率段，计算公式如下：

$$[0016] \quad T_m = \sqrt{(\tilde{Q}_m e^{j2\pi T})^2 + t/(B - B_0)^3}$$

[0017] 其中, $m=1, 2, \dots, M$ 为自然数, M 为波峰面域的个数, \tilde{Q}_m 为第 m 个波峰面域的低通滤波绝对幅频值, T 为波峰面域对应的波形的周期, t 为低通滤波单元晶体管门限的漂移值, j 为虚部符号, B_0 为环境温度, B 为IGBT开关的实际温度, T 为频率段, T_m 为第 m 个频率段；

[0018] 频率段控制单元位于抗电磁干扰装置的内部，与差分比较单元相连，通过相关性分析，控制频率段 T_m 的取值范围，控制其的取值在工业用电力电子元件的弱电磁干扰频率段范围内，从而减少动车组逆变器产生的电磁干扰，工作的具体步骤为：

[0019] 首先，频率段控制单元设定了频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的距离为 $d(T_i, T_j)$ ，表示频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的距离，公式如下：

$$[0020] \quad d(T_i, T_j) = \sqrt[3]{(T_i - T_j)^2}$$

[0021] 其中, i, j 为自然数, T 为频率段, T_i 为第 i 个频率段, T_j 为第 j 个频率段, d 为距离, $d(T_i, T_j)$ 为频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的距离;

[0022] 接着, 频率段控制单元设定了频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的归属度为 $z(T_i, T_j)$, 表示频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的相关程度, 公式如下:

$$[0023] \quad z(T_i, T_j) = \begin{cases} \prod_{p \neq i, j} d(T_p, T_j) & i \neq j \\ d(T_i, T_j) & i = j \end{cases}$$

[0024] 其中, i, j, p 为自然数, T 为频率段, T_i 为第 i 个频率段, T_j 为第 j 个频率段, T_p 为第 p 个频率段, $d(T_i, T_j)$ 为频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的距离, $d(T_p, T_j)$ 为频率段 T_p 和频率段 T_j 之间的距离, z 为归属度, $z(T_i, T_j)$ 为频率段 T_i 和频率段 T_j 之间的归属度;

[0025] 最后, 频率段控制单元将归属度小于 1 的频率段剔除, 即可得到动车组逆变器的弱电磁干扰频率段, 以将动车组逆变器的频率段控制在弱电磁干扰频率段内, 从而减少动车组逆变器产生的电磁干扰。

具体实施方式

[0026] 为了使本发明所要解决的技术问题、技术方案及有益效果更加清楚明白, 以下结合实施例, 对本发明进行详细的说明。应当说明的是, 此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明, 并不用于限定本发明, 能够实现同样功能的产品属于等同替换和改进, 均包含在本发明的保护范围之内。具体方法如下:

[0027] 实施例: 本发明提供一种动车组逆变器的抗电磁干扰装置, 目的在于通过设计该抗电磁干扰装置, 改变动车组逆变器 IGBT 开关的频率段, 将动车组逆变器的频率段控制在弱电磁干扰频率段内, 从而提高逆变器的抗电磁干扰能力及减小其对动车组上其他弱电控制和执行单元的电磁干扰。

[0028] 本发明包含信号接收单元、时频转换单元、低通滤波单元、差分比较单元以及频率段控制单元。

[0029] 信号接收单元包含波形设定器和波形判别器, 用于接收动车组逆变器中的 IGBT 每一次开关过程的波形, 波形设定器和波形判别器都采用基于 SEMTECH 公司进口芯片 SX1278, 该芯片采用先进的 LORA 扩频技术, 传输距离与穿透能力比传统 FSK 提升一倍以上; 同时该芯片使用 FEC 前向纠错算法, 能主动纠正被干扰的数据包, 使得接收到的 IGBT 开关的波形尽可能少的受到环境噪声等干扰, 提高信号接受的信噪比。

[0030] 波形设定器负责设定波形数据集, 令 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$, 表示为一个波形数据集, 其中 n 为自然数, n 代表波形数据集中所有波形的数目, $i = 1, 2, \dots, n$; F_i 为第 i 个波形, 第 i 个波形 F_i 中包含若干个波峰, 波形 F_i 中波峰的总数目为 N , N 为自然数。

[0031] 接着, 波形设定器设定在波形数据集 F 中存在着正约束关系和逆约束关系, 若已知两个波峰属于同一个方向类别, 就将两个波峰定义为正约束关系; 反之, 若已知两个波峰不

属于同一个方向类别,就将两个波峰定义为逆约束关系;其中,方向类别有两类,分别为:当波峰对应的波形区段的函数为凸函数时,方向类别为正;当波峰对应的波形区段的函数为凹函数时,方向类别为负。

[0032] 波形判别器根据正约束关系将波形数据集中的所有波形的呈正约束关系的波峰分为 m 个波峰面域, m 为自然数;如果每个波峰面域中的波峰属于同一个方向类别,则 X_m 为第 m 个波峰面域,令 $X_m = \{X_{m_1}, X_{m_2}, \dots, X_{m_k}\}$,其中 M 为波峰面域的总个数, m 为自然数, $m=1, 2, \dots, M, k$ 为自然数, m_k 为第 m 个波峰面域中包含的所有波峰的个数, X 为波峰面域, $X_{m_1}, X_{m_2}, \dots, X_{m_k}$ 为第 m 个波峰面域包含的所有波峰;同时,波形判别器根据逆约束关系形成每个波峰面域之间的判别集合,判别集合用来判断 M 个波峰面域之间是否呈面域自相关,如果第 m 个波峰面域中的某个波峰与非第 m 个波峰面域中的任何一个波峰为逆约束关系,则称 M 个波峰面域中的第 m 个波峰面域与非第 m 个波峰面域为面域自相关,令 Y 为波峰面域的判别集合,令 Y_m 为第 m 个波峰面域的判别集合,第 m 个波峰面域的判别集合 Y_m 用于描述 M 个波峰面域中与第 m 个波峰面域有面域自相关的波峰面域。

[0033] 时频转换单元时频转换单元位于抗电磁干扰装置的内部,与信号接收单元相连,将波峰面域从时域转换到频域,通过ESP8266串口模块写进信号接收单元的波形判别其的芯片SX1278中,也就是说将时频转换单元所执行的功能嵌入在信号接收单元中。

[0034] 低通滤波单元位于抗电磁干扰装置的内部,与时频转换单元相连,剔除时频转换单元中波峰面域的绝对幅频值的短期波动,保留长期发展趋势来保证信号的平滑。该单元采用Mini-Circuits SLP-50型低通滤波器,该滤波器以切比雪夫型计算公式为原理,具有等波纹的特征并且具有良好的频率截止特性,能够过滤掉波峰面域的绝对幅频值的高次部分,从而间接减少逆变器对其他执行单元的电磁干扰,并为下一步差分比较单元的频段计算提供具有高紧致度的信号。

[0035] 差分比较单元位于抗电磁干扰装置的内部,与低通滤波单元相连,它能够补偿上述Mini-Circuits SLP-50型低通滤波器S8050T0-2晶体管门限的差异和漂移,从而得到漂移校正后的频段。

[0036] 频率段控制单元位于抗电磁干扰装置的内部,与差分比较单元相连,通过相关性分析,控制频率段 T_m 的取值范围,控制其的取值在工业用电力电子元件的弱电磁干扰频率段范围内,从而减少动车组逆变器产生的电磁干扰。具体实施方法是通过频率段之间的相关性分析,将相互之间归属度小于1的IGBT开关的频率移出频率段控制单元的工作频段,来消除IGBT开关自身电磁干扰和对外电磁干扰。

[0037] 本发明的有益成果为:本发明提供了一种动车组逆变器的包含信号接收单元、时频转换单元、低通滤波单元、差分比较单元以及频率段控制单元的抗电磁干扰装置。该装置能够在不改变逆变器本身硬件条件的前提下,将相互之间归属度小于1的IGBT开关的频率移出频率段控制单元的工作频段,使得其频率落在弱电磁干扰频率范围内,进而消除IGBT开关自身电磁干扰和对外电磁干扰,从而使动车组上的大功率逆变器具有更好的抗电磁干扰能力。