

基于HRCSVPM的电子水泵噪声抑制研究

胡鑫洋¹ 马西沛¹ 刘杰² 范平清¹

(1. 上海工程技术大学机械与汽车工程学院, 上海 201620)

(2. 中汽研汽车工程研究院有限公司, 常州 213000)

摘要: 车用电子水泵(Electronic Water Pump, EWP)的噪声是反映电子水泵性能优劣的重要指标,对其进行主动控制有利于改善车内声品质。为了实现EWP噪声的主动控制,提出了一种混合随机载波空间矢量脉宽调制(Hybrid Random Carrier Space Vector Pulse Width Modulation, HRCSVPM)策略。首先,采用Xorshift算法设计随机序列生成器,以产生随机性较好的随机数,分散集中出现在载波频率及其整数倍频段的大量谐波;其次,结合锯齿波周期函数,增加对脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)谐波幅值的削弱作用;然后,搭建EWP仿真模型对空间矢量脉宽调制(Space Vector PWM, SVPWM)、随机载波空间矢量脉宽调制(Random Carrier Space Vector PWM, RCSVPWM)和HRCSVPM控制策略的谐波抑制效果进行对比分析,验证HRCSVPM控制策略对PWM谐波的抑制能力;最后,搭建EWP噪声试验平台,对EWP在3种控制策略下的噪声进行分析。结果表明,HRCSVPM控制策略可使EWP的噪声声压级得到明显下降,平均下降约为3 dB。

关键词: 电子水泵; 噪声主动控制; 谐波抑制; 随机载波; Xorshift算法

中图分类号: TM341 **DOI:** 10.16579/j.issn.1001.9669.2025.05.005

0 引言

随着人们对汽车安全性、舒适性等性能要求的日益提高,作为汽车冷却系统重要组成部分的电子水泵已成为工程师们关注的焦点。永磁同步电动机凭借其较高的效率和性能,已成为电子水泵电动机的主流选择^[1-2]。驱动电动机的功率器件以固定载波频率进行调制时,导致大量的谐波能集中出现在载波频率及其整数倍频段,这些谐波会导致电流中谐波含量的激增,进而影响定子绕组的磁场,使转子在气隙磁场中所受到的电磁力处于异常状态,引起不良振动和噪声。

为有效抑制谐波所引起的电动机噪声问题,严骏^[3]提出了一种随机位置空间矢量脉宽调制(Space Vector Pulse Width Modulation, SVPWM)技术的创新方法。该方法在每个开关周期内随机改变相位转换次数,以减少系统中的谐波失真。然而,这种方法增加了开关频率,导致更高的开关损耗。李晓华等^[4]提出了一种基于Logistic映射的随机开关频率SVPWM技术,通过引入幅值随机变化的正弦函数,将电压频谱更均匀地分散到了更宽的频带上,以此抑制系统的振动,削减电动机的电磁噪声,但其缺点是所选取的随机序列产生器产生的随机数的均匀性与随机性不

强,导致系统不稳定。LAI^[5]提出了一种改进重复自抗扰控制的谐波抑制方法,在原有的控制系统中引入重复控制器,旨在抑制谐振频率处的高增益谐波扰动,但该方法对高频段的谐波分量抑制效果不明显。吴元凯等^[6]提出了一种结合谐波注入控制和斩波控制的随机开关频率调制技术。该技术在过零点处增加一定角度的斩波,并在导通角允许范围内进行随机开关频率斩波,以提高输出电压和功率因数,并同时减少开关损耗,但该技术增加了系统的复杂度。邱凌峰等^[7]提出了一种随机开关频率方法,用于消除特定频率的谐波。该方法通过谐波频谱均匀分布来实现,但该方法在低频时易导致系统振荡,并导致输出波形的波动过大。RUIZ-PEREZ等^[8]提出了一种使用遗传算法实现的随机载波脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)方法,此方法可根据系统要求来选择最优的随机载波序列,并扩大载波周期的随机范围。目前对PWM谐波的抑制方法局限于使用更复杂的随机函数产生随机数,未考虑实际使用过程所造成的成本损耗,并且忽略了周期调制策略对随机过程的影响。

本文首先介绍了随机载波空间矢量脉宽调制(Random Carrier SVPWM, RCSVPWM)算法,并在该算法的基础上提出一种混合随机载波空间矢量脉宽

收稿日期: 2023-09-21 修回日期: 2023-10-18

基金项目: 上海市自然科学基金面上项目(21ZR1425800); 国家自然科学基金项目(52172371)

作者简介: 胡鑫洋,男,1999年生,河南周口人,硕士研究生; 主要研究方向为电机控制; E-mail: hxy19990713@163.com。

马西沛(通信作者),男,1980年生,山东滕州人,高级实验师,硕士研究生导师; 主要研究方向为机电控制、汽车电子电控; E-mail: maxipei@163.com。

引用格式: 胡鑫洋,马西沛,刘杰,等. 基于HRCSVPM的电子水泵噪声抑制研究[J]. 机械强度, 2025, 47(5): 38-45.

HU Xinyang, MA Xipei, LIU Jie, et al. Research on noise suppression of electronic water pumps based on HRCSVPM[J]. Journal of Mechanical Strength, 2025, 47(5): 38-45.

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}, R = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

一个二元域上的 m 阶向量 x , 对 x 进行 1 个比特的左移和右移, 可以分别表示为 xL 和 xR 。此时再加入变量 a 和 b , 使 L^a 和 R^b 分别表示左移 a 比特和右移 b 比特。

$$x(I + L^a), x(I + R^b) \quad (9)$$

式中, I 为单位矩阵。则对上述表示的将向量 x 左移 a 比特或右移 b 比特的结果进行异或运算, 即

$$x^{\wedge} = x \ll a, x^{\vee} = x \gg b \quad (10)$$

利用少量的 $(I + L^a)$ 和 $(I + R^b)$ 相乘来构造随机序列生成器, 如式(11)所示:

$$x(I + L^a)(I + R^b) \quad (11)$$

考虑到车用 EWP 主控制器多为 32 位处理器, 故应设计一个 32 比特的随机序列生成器, 该生成器可描述为

$$\begin{cases} x^{\wedge} = x \ll 13 \\ x^{\vee} = x \gg 17 \\ x^{\wedge} = x \ll 5 \end{cases} \quad (12)$$

式中, 三项式的系数 13、17、5 根据文献[13]²⁷⁹¹⁻²⁷⁹⁶ 选取, 以满足产生的随机序列对随机性的要求。载波频率随着时间的分布情况如图 2 所示。由图 2 可知, 采用 Xorshift 算法产生的载波频率分布均匀, 随机性较好。

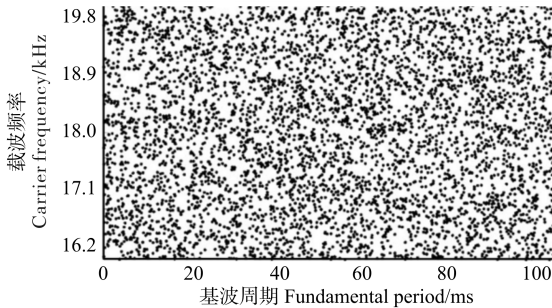


图 2 载波频率随时间变化的分布

Fig. 2 Distribution of the carrier frequency varying over the time

为了在相同的随机范围内, 更有效地分散抑制 PWM 谐波, 减少计算上的负担, 本文结合锯齿波函数扩频调制策略, 提出 HRCSVPWM 算法, 其框图如图 3 所示。引入锯齿波扩频调制策略后的随机载波计算式为

$$f_c = f_{c0} + [(1 - k)S(t) + kR_{\text{Xorshift}}] \Delta f \quad (13)$$

式中, $S(t)$ 为幅值在 $[-1, 1]$ 变化的锯齿波函数; k 为随机载波频率调制的系数; R_{Xorshift} 为在 $[-1, 1]$ 变化的随机数, 由 Xorshift 算法随机序列生成器生成。

基于 Xorshift 函数的 RCSVPWM 算法和锯齿波周期函数结合而成的 HRCSVPWM 算法, 兼具 RCSVPWM 控制策略对 PWM 谐波的抑制效果和周期函数对 PWM 谐波的扩频效果。因此, 本文提出的 HRCSVPWM 控制策略可用于车用 EWP 的噪声品质

主动控制。

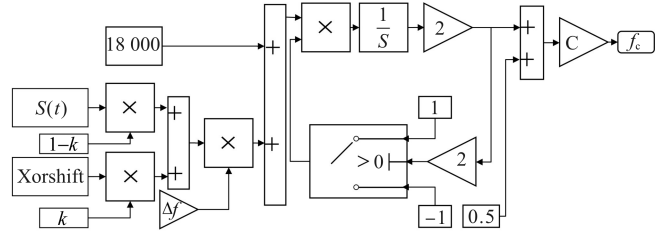


图 3 HRCSVPWM 算法框图

Fig. 3 Block diagram of the HRCSVPWM algorithm

3 仿真分析

经过前面的理论分析, 需要对 RCSVPWM 与 HRCSVPWM 控制策略的谐波抑制效果进行验证, 因此分别搭建 SVPWM、RCSVPWM 和 HRCSVPWM 控制策略的 Simulink 仿真模型, 其原理如图 4 所示。

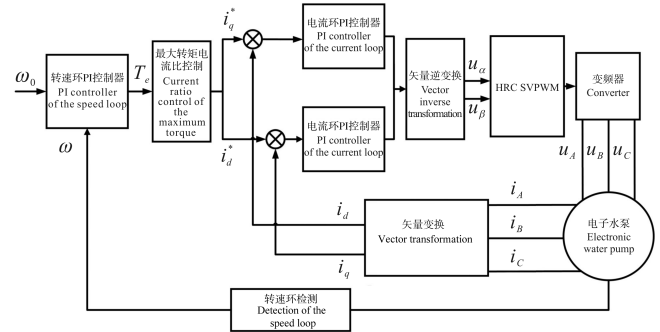


图 4 电子水泵 HRCSVPWM 控制策略框图

Fig. 4 Block diagram of the HRCSVPWM control strategy for EWP

载波中心频率选取为 18 kHz; 带宽选取为 3.6 kHz; 母线电压为 12 V; 基波频率为 50 Hz; 调制比选取为 0.5、1.0、1.5 和 2.0。EWP 电动机相关参数与车用 EWP 电动机以及试验测试用 EWP 电动机相同, 以保证仿真与试验的一致性, 如表 1 所示。

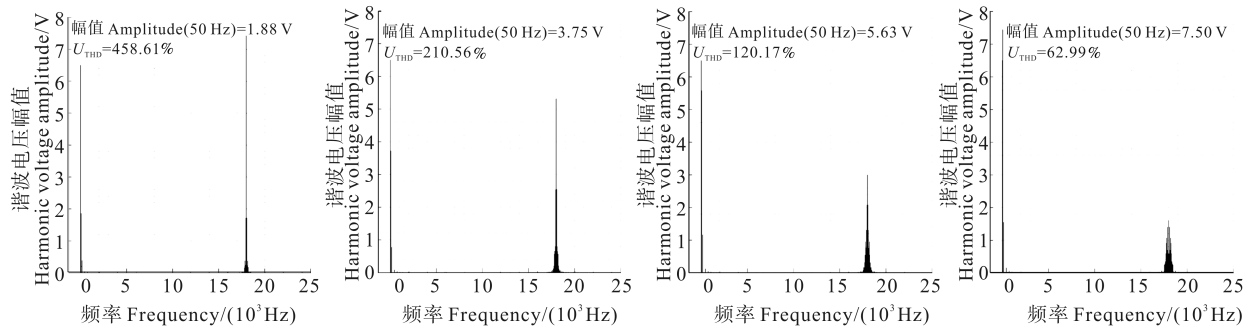
表 1 EWP 电动机参数

Tab. 1 Parameters of the electronic water pump motor

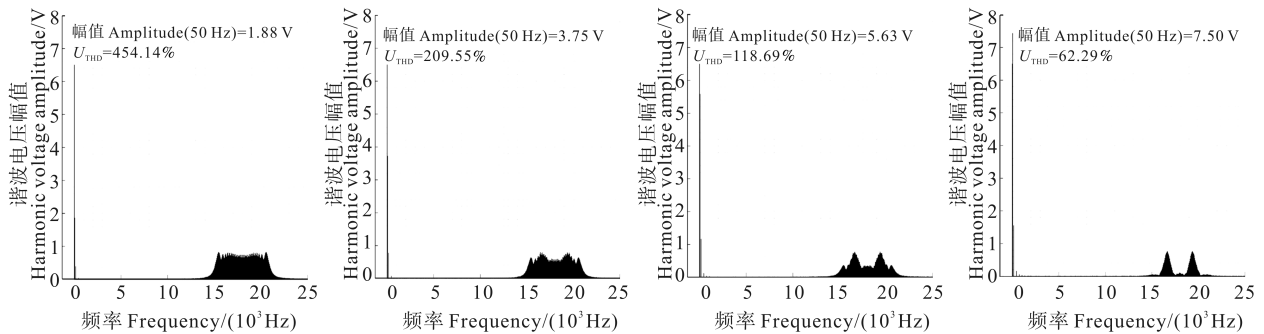
参数 Parameter	指标 Indicator
额定功率 Rated power/W	60
额定转速 Rated speed/(r/min)	5 000
极数 Polar number	2
定子绕组线电阻 Stator winding line resistance/ Ω	0.146
定子绕组线电感 Stator winding line inductance/mH	0.49
负载转动惯量 Moment of inertia of the load/($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	4.7×10^{-6}
磁通量 Magnetic flux/Wb	0.001

不同调制比工况下 SVPWM、RCSVPWM 和 HRCSVPWM 控制策略的相电压频谱如图 5 所示。由图 5(b) 可知, 相较于 SVPWM 控制策略, RCSVPWM 控制策略能够分散载波频率 18 kHz 处的 PWM 谐波, 谐波峰值降低约 6.7 V, 削弱效果明显。另外, RCSVPWM 控制策略下的 PWM 谐波有向低频段移

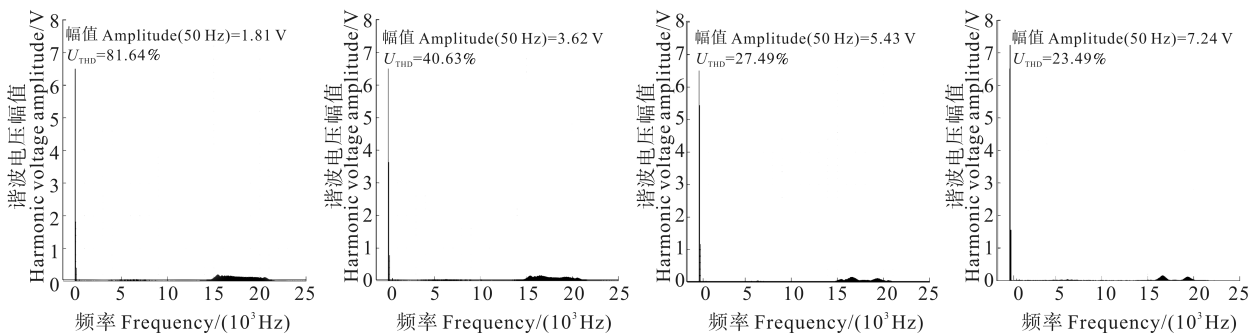
动的趋势,使低频段的谐波幅值有所增加。



(a) SVPWM 控制策略
(a) SVPWM control strategy



(b) RCSVPWM 控制策略
(b) RCSVPWM control strategy



(c) HRCSVPWM 控制策略
(c) HRCSVPWM control strategy

图 5 EWP 各工况下相电压频谱图

Fig. 5 Spectrum diagram of the phase voltage under each operating condition of EWP

如图 5(c)所示,HRCSVPWM 控制策略对比前两种控制策略在整数倍载波频段对 PWM 谐波的分散效果更好,可有效抑制谐波峰值,在调制比为 0.5 的情况下(表 2),比 SVPWM 控制策略下的谐波峰值降低约 7.2 V,比 RCSVPWM 控制策略下的谐波峰值降低约 0.5 V,其谐波抑制效果比 RCSVPWM 控制策略更好。

对比 3 种方法,HRCSVPWM 控制策略对 PWM 谐波的分散效果最好,且对谐波波峰削减得最多。由表 2 可以看出,在调制比为 2.0 的情况下,与 SVPWM 控制策略相比,HRCSVPWM 控制策略的谐波电压幅值降低约 1.4 V;随着调制比的增加,谐波峰值抑制效果逐渐增强。

表 2 不同调制比下的相电压谐波幅值

Tab. 2 Phase voltage harmonic amplitude at different modulation ratios

控制策略 Control strategy	幅值 Amplitude/V			
	0.5	1.0	1.5	2.0
SVPWM	7.5	5.3	3.1	1.6
RCSVPWM	0.8	0.7	0.7	0.6
HRCSVPWM	0.3	0.3	0.2	0.2

为了更好地对比 3 种控制策略下相电压谐波的畸变程度,引入总谐波畸变率(Total Harmonic Distortion, THD)并作为其谐波负面效应的影响指标,其表达式为

$$U_{\text{THD}} = \sqrt{\sum_{i=2,3,4,\dots}^{\infty} \left(\frac{U_i}{U_0}\right)^2} \quad (14)$$

式中, U_i 为谐波电压第 i 次的谐波幅值; U_0 为相电压的基波幅值。3 种调制策略各工况下的 U_{THD} 如表 3。

表 3 不同调制比下的总谐波畸变率

Tab. 3 Total harmonic distortion at different modulation ratios

控制策略 Control strategy	$U_{\text{THD}}/\%$			
	0.5	1.0	1.5	2.0
SVPWM	458.61	210.56	120.17	62.99
RCSVPM	454.14	209.55	118.69	62.29
HRCSVPM	81.64	40.63	27.49	23.49

与 SVPWM 控制策略相比, RCSVPM 的 THD 变化并不明显, 对谐波的抑制效果有限。对比前者, HRCSVPM 控制策略的 THD 值下降明显, 削弱程度可达 80% 左右, 极大程度地抑制了谐波所带来的负面影响。

为了更好地分析 3 种控制策略对谐波的扩频效果, 引入谐波扩展因子 (Harmonic Spread Factor, HSF) 概念对谐波进行评价, 该值越大, 表明其谐波扩频效果越差:

$$H_{\text{HSF}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i>1}^n (H_i - H_0)^2} \quad (15)$$

式中, H_i 为第 i 次谐波的幅值; H_0 为除去基波之外所有谐波的平均值, 计算式为

$$H_0 = \frac{1}{n} \sum_{i>1}^n H_i \quad (16)$$

相电压的基波分量可通过 Simulink 的频谱分析工具直接获得, 对应 3 种控制策略的 HSF 值计算结果如

表 4 所示。

表 4 谐波扩频效果比较

Tab. 4 Comparison of the harmonic spread spectrum effect

控制策略 Control strategy	相电压基波幅值 Phase voltage fundamental amplitude/V	谐波扩展因子 Harmonic spread factor H_{HSF}/V
SVPWM	1.88	9.672
RCSVPM	1.88	8.588
HRCSVPM	1.81	7.322

由表 4 可以看出, RCSVPM 控制策略和 HRCSVPM 控制策略对相电压基波幅值的影响可忽略不计。可见, 上述两种控制策略不会干扰 EWP 的正常运行。RCSVPM 和 HRCSVPM 控制策略的 HSF 值相较于 SVPWM 控制策略都有所减小; 其中 HRCSVPM 控制策略的 HSF 值最小, 表明其扩频效果最好。

由以上仿真分析可知, HRCSVPM 控制策略相较于 RCSVPM 控制策略分散集中出现在载波频率处谐波的能力更强, 可大幅度地削弱 PWM 谐波的幅值, 其谐波抑制效果随着调制比的上升而增强。

4 试验验证

本文使用某品牌纯电动汽车 EWP 进行噪声采集试验, 采集地点位于半消声室内, 采集设备为西门子的 Test. Lab 数据采集分析系统, 如图 6 所示^[14]。按照上海汽车集团股份有限公司 EWP 性能测试装置及其测试方法对不同运行工况下的 EWP 噪声进行采集, 并对相电流波形进行分析^[15]。选用国产 32 位车规级芯片 GD32A503 作为主控制芯片, 并进行电动机控

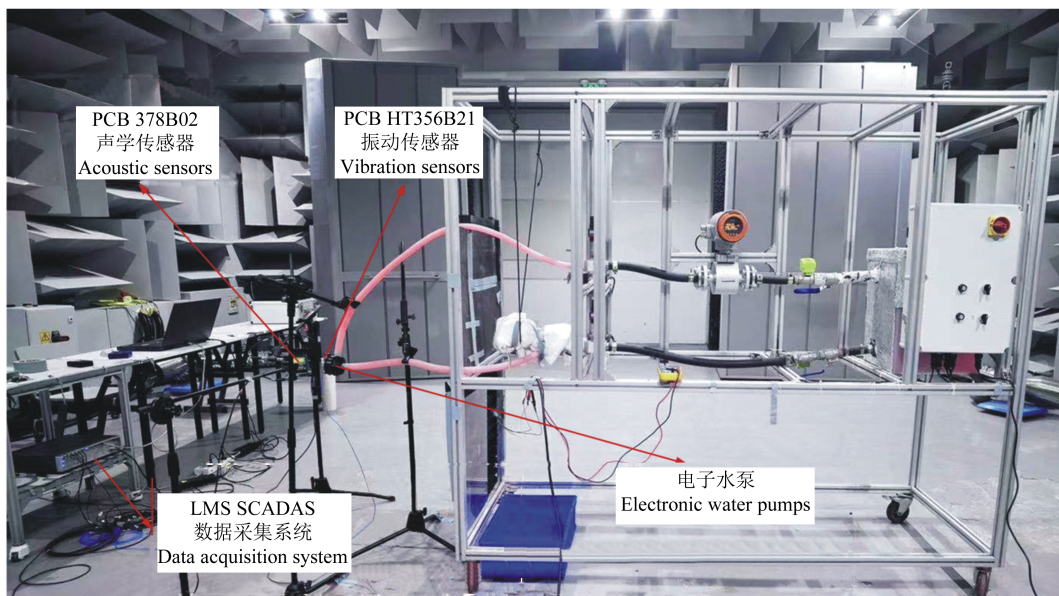


图 6 EWP 试验布置

Fig. 6 Test layout of the EWP

制器硬件设计,3种控制策略通过 Simulink 平台搭建,并通过 Embedded Coder 工具生成应用层代码与底层驱动代码集成,然后编译、烧录至电子水泵控制器中,直流母线电压设置为 12 V,逆变器死区时间设置为 3 μ s。

通过示波器采集 SVPWM、RCSVPWM 和 HRCSVPWM 控制策略下相电流和谐波含量,为体现高频谐波的幅值抑制效果,对其进行快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transform, FFT) 分析,试验结果如图 7 所示。

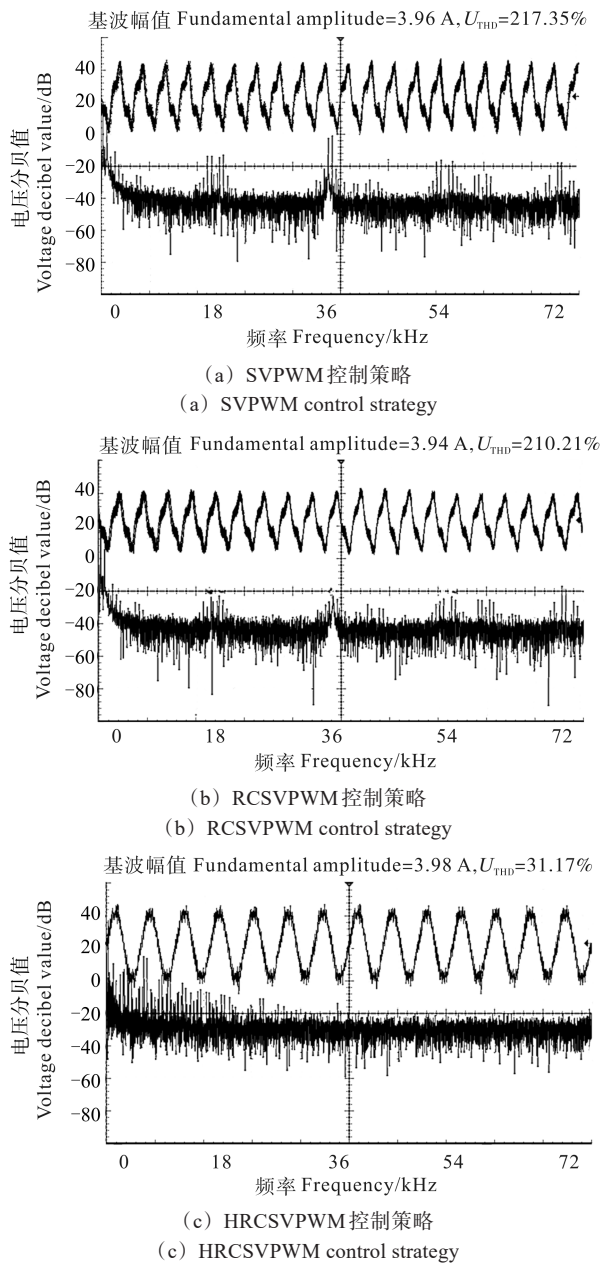


图 7 EWP 相电流波形及频谱图

Fig. 7 Phase current waveform and spectrum of EWPs

在 SVPWM、RCSVPWM 和 HRCSVPWM 控制策略下 EWP 电流基波幅值分别为 3.96、3.94、3.98 A,前后基本保持不变,说明后两种策略不影响 EWP 的运行性能。由图 7 可以看出,3种策略总谐波畸变率分别为

217.35%、210.21%、31.17%,变化趋势与第 3 节仿真结果一致。SVPWM 控制策略下相电流谐波集中出现在 18、36、54 kHz 等载波频率整数倍频段。在 RCSVPWM 和 HRCSVPWM 控制策略下,这些频段的电流谐波得到了明显的分散,其峰值削弱效果显著。因此,所提出的 HRCSVPWM 控制策略对于 EWP 运行过程中的相电流谐波分散和抑制效果显著。

在 EWP 的加速过程中,采用 Colormap 图对其噪声进行分析,借此反映随着转速变化的噪声阶次信息,试验结果如图 8 所示。

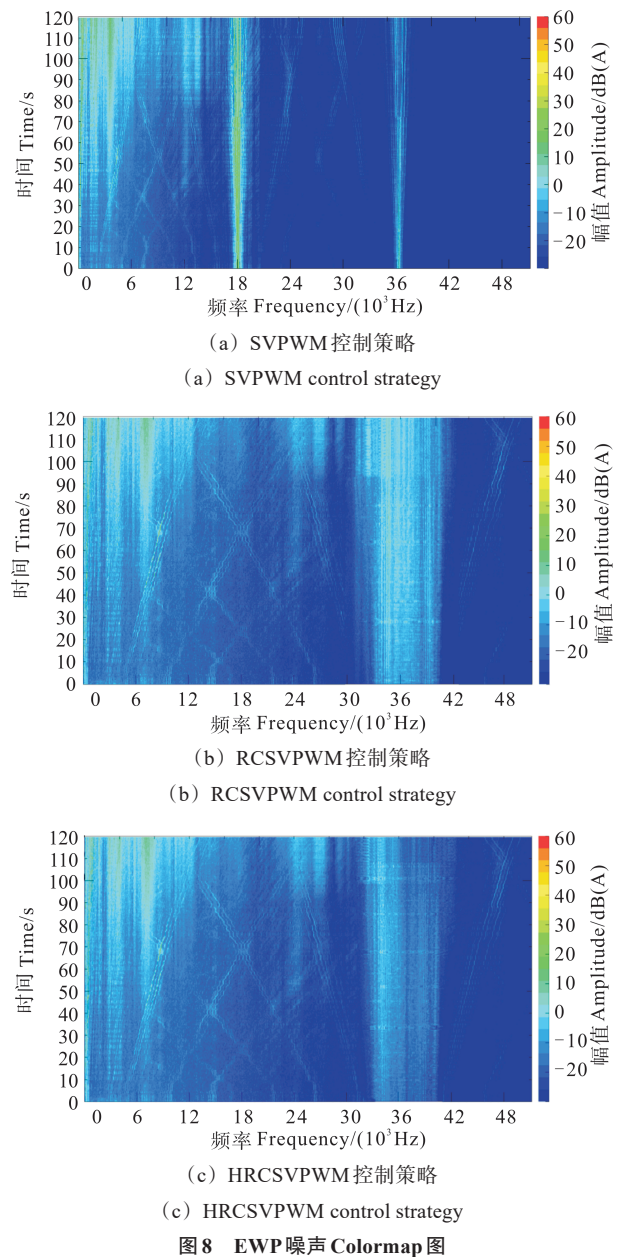


图 8 Colormap diagram of the noise from EWPs

由图 8(a)可知,SVPWM 控制策略下,EWP 噪声集中出现在 17~19 kHz 与 35~37 kHz 频段处;且随着转速的增加,噪声声压级不断地变强,阶次特性明显,呈伞状分布。在试验过程中,该控制策略下的高频段噪

声尖锐刺耳,使人感到不适。由图8(b)和图8(c)可知,RCSVPWM、HRCSVPWM控制策略对17~19 kHz频段的噪声分散抑制效果显著;原35~37 kHz频段的噪声被分散在32~40 kHz频段,扩频效果显著,噪声声压级得到削弱,伞状阶次分布变为束状阶次分布。另外,相较于前2种控制策略,HRCSVPWM控制策略在噪声声压级的抑制上更加有效,由原来的窄带噪声变为宽带噪声,因此试验人员几乎不会受到EWP带来的噪声影响。

记录EWP在加速过程中,3种控制策略对应的流量和噪声声压级结果,如图9、图10所示。在各转速工况下,3种控制策略的流量曲线几乎重合,说明新的控制策略并不会影响EWP的正常运行。采用RCSVPWM和HRCSVPWM控制策略都可使EWP的声压级得到明显下降,声压级幅值平均下降约3 dB(A)。在转速较高时,下降幅度最大可达到4.3 dB(A)左右。对比3种控制策略的声压级曲线,HRCSVPWM在变速运行工况下,噪声声压级曲线平滑,噪声突变情况得到有效的遏制,保持较高的稳定性。因此,HRCSVPWM算法在车用EWP的噪声抑制上取得不错的效果,可针对不同转速工况进行调节控制,适应性强,具有可靠的稳定性。

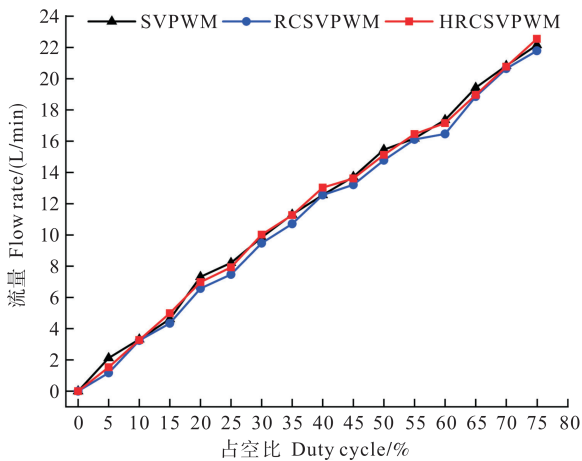


图9 EWP流量对比

Fig. 9 Comparison of the flow rate for EWP

5 结论

为了满足乘客对车内声品质的要求,以车用EWP为研究对象,提出HRCSVPWM噪声主动控制策略,得出如下结论:

1)使用Xorshift算法的随机序列生成器,产生均匀性更好的随机数;结合锯齿波周期函数,建立EWP控制模型。通过Simulink进行仿真分析,表明该方法可以有效控制其PWM谐波信号,谐波幅值与总谐波畸变率明显降低。

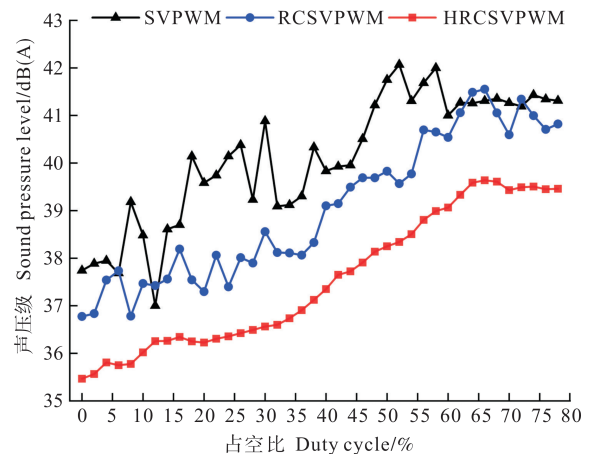


图10 EWP声压级对比图

Fig. 10 Comparison of the sound pressure level of the EWP

2)搭建EWP噪声性能试验平台,对HRCSVPWM控制策略的噪声抑制能力进行真实环境下的验证。试验结果表明,在多转速工况下,HRCSVPWM控制策略噪声抑制效果显著,噪声声压级曲线平滑稳定。

3)提出的HRCSVPWM噪声主动控制策略是一种可以控制EWP噪声品质的有效办法,对改善车用EWP的声品质性能具有实际价值。

参考文献(References)

- [1] 龙俊华,安瑞兵. 汽车冷却系统现状及发展趋势[J]. 汽车实用技术,2020,45(6):75-77.
LONG Junhua, AN Ruibing. Current situation and development trend of vehicle cooling system[J]. Automobile Applied Technology, 2020, 45(6): 75-77. (In Chinese)
- [2] 张雅琴,范伟军,郭斌,等. 汽车电子水泵综合性能测试系统研究[J]. 机床与液压,2022,50(14):105-109.
ZHANG Yaqin, FAN Weijun, GUO Bin, et al. Research on the general performance test system for automotive electronic water pump [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2022, 50(14): 105-109. (In Chinese)
- [3] 严骏. 汽车电子水泵设计及冷却系统控制策略研究[D]. 镇江: 江苏大学,2019:34-40.
YAN Jun. Research on design of automotive electronic coolant pump and control strategy of cooling system [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019: 34-40. (In Chinese)
- [4] 李晓华,黄苏融,李良梓. 电动汽车用永磁同步电机振动噪声的计算与分析[J]. 电机与控制学报,2013,17(8):37-42.
LI Xiaohua, HUANG Surong, LI Liangzi. Calculation and analysis of vehicle vibration and noise of permanent magnet synchronous motor applied in electric vehicle [J]. Electric Machines and Control, 2013, 17(8): 37-42. (In Chinese)
- [5] LAI Y S. New random technique of inverter control for common mode voltage reduction of inverter-fed induction motor drives [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1999, 14(4): 1139-1146.
- [6] 吴元凯,范菁,周颖. 基于随机开关频率SVPWM的永磁同步电机降噪研究[J]. 电子设计工程,2021,29(19):13-18.
WU Yuankai, FAN Jing, ZHOU Ying. Research on noise reduction

- of PMSM based on RFSVPWM[J]. *Electronic Design Engineering*, 2021, 29(19): 13-18. (In Chinese)
- [7] 邱凌烽,杨凯,杨帆,等. 基于改进重复自抗扰控制的永磁同步电机谐波抑制[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2023(1): 1-5. QIU Lingfeng, YANG Kai, YANG Fan, et al. Harmonic suppression of permanent magnet synchronous motor based on revised repetitive-auto disturbance rejection control[J]. *Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique*, 2023 (1) : 1-5. (In Chinese)
- [8] RUIZ-PEREZ J, RUIZ-GONZALEZ A, PEREZ-HIDALGO F. A new RPWM technique with harmonics injection and frequency randomized modulation[C]//19th International Conference on Electrical Machines, 2010: 5608177.
- [9] 李晓华,雷轶,刘成健. 基于 dSPACE 的永磁同步电机低振动噪声控制策略[J]. *电机与控制应用*, 2017, 44(12): 47-53. LI Xiaohua, LEI Yi, LIU Chengjian. Control strategy of low vibration and noise of permanent magnet synchronous motor based on dSPACE[J]. *Electric Machines & Control Application*, 2017, 44 (12): 47-53. (In Chinese)
- [10] 张鹏程,张志刚. 基于 S-PMSM 驱动系统直流环节的电容电流谐波抑制控制策略[J]. *电子技术*, 2023, 52(2): 398-400. ZHANG Pengcheng, ZHANG Zhigang. Control strategy of capacitor current harmonic suppression based on the DC link of six-phase motor drive system[J]. *Electronic Technology*, 2023, 52(2) : 398-400. (In Chinese)
- [11] 郝正杰. 基于自抗扰控制的永磁同步电机驱动系统关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022: 37-39. HAO Zhengjie. Research on key technologies of permanent magnet synchronous motor drive system based on active disturbance rejection control[D]. Changchun: Jilin University, 2022: 37-39. (In Chinese)
- [12] 李琪琪,庄建,王智超,等. 一种基于 Xorshift 的并行伪随机数生成器[J]. *自动化技术与应用*, 2019, 38(11): 65-67. LI Qiqi, ZHUANG Jian, WANG Zhichao, et al. A parallel pseudo-random number generator based on Xorshift[J]. *Techniques of Automation and Applications*, 2019, 38(11) : 65-67. (In Chinese)
- [13] 李亚伟,顾汝彬,张琳,等. 永磁同步电机周期载波调制技术研究[J]. *计算机与数字工程*, 2022, 50(12): 2791-2796. LI Yawei, GU Rubin, ZHANG Lin, et al. Research on periodic carrier modulation technology of permanent magnet synchronous motors[J]. *Computer & Digital Engineering*, 2022, 50(12) : 2791-2796. (In Chinese)
- [14] 上海汽车集团股份有限公司. 电子水泵的性能测试装置及其测试方法: CN103629098A[P]. 2014-03-12. SAIC Motor Corporation Limited. Electronic water pump performance test device and its test method: CN103629098A[P]. 2014-03-12. (In Chinese)
- [15] LIU Y X, HUANG K X, BAI Y M, et al. A high-randomness and high-stability electronic quantum random number generator without post processing[J]. *Chinese Physics Letters*, 2023, 40(7) : 070303.

Research on noise suppression of electronic water pumps based on HRCSVPWM

HU Xinyang¹ MA Xipei¹ LIU Jie² FAN Pingqing¹

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

(2. CAERI Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Changzhou 213000, China)

Abstract: The noise of automotive electronic water pump (EWP) is an important indicator of the performance of EWP, and its active control is conducive to improve the sound quality of the car. In order to achieve the active control of the noise of EWP, a hybrid random carrier space vector pulse width modulation (HRCSVPWM) strategy was proposed. Firstly, the Xorshift algorithm was used to design a random sequence generator to generate random numbers with good randomness to disperse a large number of harmonics concentrated in the carrier frequency and its integer multiples. Secondly, the sawtooth wave period function was combined to increase the weakening effect on the pulse width modulation (PWM) harmonic amplitude. Then, the simulation model of the EWP was constructed to investigate the harmonic suppression effects of control strategies of space vector pulse width modulation (SVPWM), random carrier space vector pulse width modulation (RCSVPWM) and HRCSVPWM, to verify the ability of HRCSVPWM to suppress PWM harmonics. Finally, EWP noise test platform was constructed to analyse the noise of EWP under three types of control strategies. The results show that the noise suppression effect of HRCSVPWM is remarkable, which can make the noise's sound pressure level of EWP decrease significantly, with an average decrease of about 3 dB.

Key words: Electronic water pump; Noise active control; Harmonic suppression; Random carrier; Xorshift algorithm

Corresponding author: MA Xipei, E-mail: maxipei@163.com

Fund: Shanghai Natural Science Foundation (21ZR1425800); National Natural Science Foundation of China (52172371)

Received: 2023-09-21 Revised: 2023-10-18