

CAMB'95

PROCEEDING OF 4th CHINESE ACADEMIC
CONFERENCE ON VARIABLE SPEED AC DRIVES

中国交流电机
调速传动学术会议
论文集

第四届

中国·大连

1995.9 DALIAN·CHINA

目 录

前言	吴济钧
----	-----

第一部分 综 述

1. 大容量高性能交流传动的工业应用水平	周也平(1)
2. 国外交流变频调速装置发展状况	王占奎(13)
3. 变频器质量及可靠性指标的商榷	吴忠智 吴加林(21)
4. 功率变流技术新进展	厉无咎(30)
5. 电力电子装置中谐波和无功问题及对策	王兆安 刘进军(48)
6. 动车GTO变频器发展水平及应用前景	袁维慈(56)
7. 国内外新器件研制及应用现状	俞 苹(64)
8. 电力半导体器件的现状与发展趋势	吴济钧(74)
9. 关于现代交流系统主要技术环节标准化问题的探讨	李世林 许广锡(83)

第二部分 异步电动机调速及控制技术

10. 二次性能指标在晶闸管PWM型交流调速系统中的应用	陆兴本(91)
11. 关于人工神经网络的交流传动系统参数辨识及自适应调速控制	汪 镭 王清灵(101)
12. 异步电动机变频调速系统的一体化仿真及简化	金新民(113)
13. 双馈调速系统中电机侧变流器触发信号的微机实现	曹以龙 王清灵(118)
14. 直接力矩控制系统仿真及性能改善之方案	许 越 胡 钢 胡育文 汤立新(124)
15. 高性能直接转矩控制低速研究	邵剑文 李永东 司宝军 姬志艳(131)
16. 无速度传感器矢量控制高性能通用变频器介绍	竺 伟 李魁民 王 宇(138)
17. 交流调速技术在攀钢恒压供水系统中的应用	侯川华 李颖梅 田泰玉(146)
18. 滑模变结构控制理论及其在交流传动系统中的应用	赵 金 万淑芸 孙晓鹏 王离九(153)
19. 无速度传感器感应电动机调速系统的自适应速度辨识	时巧生 王丽敏 张春明(159)
20. 交叉双闭环变频调速装置	张金平 蔡 葵 康全林 郑喜顺 刘莲萍(164)
21. 交流变频调速传动系统的能量回馈制动装置	杜森青(172)
22. 数字模拟式异步电机直接转矩控制系统	邓泽生 肖 莹(177)

23. 双馈电机变速恒频发电控制系统 李志民 张遇杰(183)
24. 利用空间矢量法实现交流电机的数字化变频调速系统
. 张宇 康勇 陈坚(189)
25. 异步电动机的非线性自适应控制 邓智泉 彭兆行(196)
26. 用绕组函数法计算开关磁阻电机的电感
. 杨玉岗 刘大庆 姚若萍 杨芳春(201)
27. 单片机控制的三绕组异步电动机串级调速系统 姜长泓 冯江(208)
28. 一种双微机矢量控制系统的实现 . . . 钟彦儒 余功军 曾光 刘宏(216)
29. 无速度传感器的矢量控制变频调速系统 展朝旭 毕绍新(222)
30. 无速度传感器异步电机直接转矩控制系统的数字仿真
. 薛峰 谢运祥 刘泰章(231)
31. 直接转矩控制中几个关键问题的探讨 . 严青 万淑芸 张晓光 王离九(238)
32. 80C196-8098双单片机控制的全数字化矢量控制交流调速系统 .
. 刘立志 刘峰 张承慧 曾毅(243)
33. 空间电压矢量调制器的一种高载波比实现方法
. 宋浩 马瑞卿 刘昌旭 程初(250)
34. 电流跟踪型逆变器滞环控制的探讨 . . 王猛 李鹤轩 窦日轩 戴忠达(255)
35. 关于矢量控制原理的若干问题讨论 孟彦京 刘玉(260)
36. 三相交流异步电机节电运行的新方法—最小输入功率法 徐方逸(267)
37. 微机控制的异步电动机变频调速系统 吴晴 徐崇庶(273)
38. 采用集成触发器的三相晶闸管交流调压调速系统 杨兴瑶(279)
39. 8098单片机实现电压源逆变器瞬时电流和方波电压分频段控制 . . 王勇智(282)
40. 磁浮车用直线异步牵引电动机特性分析 李红(288)
41. 空间矢量PWM技术的研究 东伟 喻辉洁 李永东(293)
42. 全数字化大功率电流型变频调速系统研究 . . . 徐黄生 朱慧斌 周明宝(299)
43. 交流传动系统中的实时仿真 严周南(304)
44. 交流变频调速系统中应用神经网络观测器的研究 赵双云 陈敏逊(309)
45. 通用变频器的双单片机控制系统 冯江华(315)
46. 应用无速度传感器的直接转矩控制系统研究
. 司保军 李永东 姬志艳 邵剑文(323)
47. 交-直-交传动电力机车无电区运行工况的控制技术 刘连根(332)

48. 采用8098单片微机的解耦控制IGBT-SPWM变频调速系统 李 刚 夏新顺(340)
49. 无速度传感器感应电动机矢量控制系统的设计 . 王长江 李发海 谢桂林(349)
50. 采用单片机控制XDM-1的三相变频调速系统 . . 吴玉广 孔清福 杨志军(356)
51. XDM-1三相电压脉宽调制器 吴玉广(361)
52. 2X 1400kW, 3kV 异步电动机的矢量定向VVVF传动系统
. 王 松 高金宝 安 伟 解 仑 杜 沧 李崇坚(366)
53. 感应电动机矢量控制的节能分析 . . . 伍家驹 王牛保 张毅安 曾文峰(374)
54. 一种新型的交流调速内反馈调速电机的原理与运行 屈维谦(381)
55. 速度自适应观测器在异步机磁场定向控制的应用
. 刘赤兵 朱义国 薛必翠(397)

第三部分 同步电机、开关磁阻电机及交流伺服电机控制技术

56. GTR在开关型磁阻电动机调速系统中应用的几个问题 . 王宏华 许大中(402)
57. 大功率IGBT-PWM交流伺服系统 张英泽(408)
58. 多单元变频调速同步运行负荷均衡微机控制系统
. 宋伟平 齐 勇 沈晓兰 苏彦民(416)
59. 永磁同步机中永磁轴角度的一种测定方法 . . . 胡 鹰 王 坚 李鹤轩(423)
60. 以GTO元件组成的逆变器调速系统在1580热轧厂的应用
. 吴武军 张继椿(426)
61. 交交变频同步电机磁场定向控制系统的研究
. . . 李崇坚 李向欣 杜 沧 朱春毅 干永革 王 征 王 文(432)
62. 智能控制在电机调速系统中的应用 胡汉金 王志良 刘 朋(440)
63. 交流伺服系统低速电流数字控制方法
. 沈安文 万淑芸 孙晓鹏 王离九 刘长樵(445)
64. 开关磁阻电动机驱动发展简史及其发展方向 . . 王宏华 许大中 全 力(451)
65. 开关磁阻电机驱动系统电流控制方式的研究 徐国卿 张泉柱(456)
66. 同步电动机参数对步进运动的动态影响 . . . 孙鹤旭 迟 岩 藏小杰(466)
67. 5000KW轧机主传动同步电机交交变频全数字矢量控制系统
. 干永革 李向欣 杜 沧 王 征 王 文 李崇坚(475)
68. 稀土永磁同步电动机 $\cos \phi = 1$ 变频调速 马瑞卿 李声晋 卢 刚(479)
69. 同步电动机矢量控制动态解耦性和仿真研究 张 波 严仰光(484)
70. 采用DSP的全数字化PMSM控制系统 张 学 李永东 严 彤(490)

71. 采用IPM的永磁交流伺服电机驱动器 高波 王炎(499)
72. 永磁同步电动机矢量控制.最大转矩控制关系和特性研究
. 张波 严仰光(503)
73. 稀土永磁无刷直流方波电机双闭环调速系统的研制
. 李先祥 周波 章勇海 朱震莲(510)
74. 同步电动机矢量控制系统的动态过程 马小亮(515)
75. 数控机床进给用永磁同步交流伺服系统的研制
. 王猛 李鹤轩 宾日轩 戴忠达(519)
76. 开关磁阻电动机的电压型PWM控制方式 金玉辉(523)
77. 开关磁阻电机驱动系统一种主电路的分析研究 . 刘剑 满永奎 杨桦(528)
78. 开关磁阻电机调速系统微机控制器设计
. 黄建中 蒋全周 邬赵家壁(535)
79. 一种PWM控制器在电机控制中的应用 . 王晓冬 徐殿国 黄鹤 王炎(542)
80. 交—交变频同步机传动的无功功率补偿 周建荣 曾涛 平静(546)

第四部分 交流调速传动用变流技术

81. 谐振直流环节逆变器在多电机调速系统中的应用 丁洛 严仰光(552)
82. 滞环控制的电流跟踪型SPWM逆变器 . . 王志良 郝玉东 胡汉金 严飞(557)
83. 有源电力滤波器的无功电流运算电路 . 叶忠明 潘祖善 夏仁平 何绍雄(562)
84. 普通变频器高性能化机理及实用方法探讨
. 张晓光 严青 万淑芸 王离九(569)
85. 全数字化电流比较型逆变器的研究 . . 郭建波 储方杰 周绍英 刘自四(575)
86. 一种基于有源钳位原理的新型PWM直流环零电压零开关损耗电路
. 洪乃刚(580)
87. 一种新颖的Buck软开关电路的分析与仿真 谢勇(586)
88. 采用PWM波实时数据快速处理系统的高性能中频交流变频调速器
. 何礼高 胡育文(593)
89. PWM逆变器的电流追踪型控制策略研究 钟福金 赵刚(603)
90. 整流—逆变系统主电路波形的计算机辅助分析
. 张德宽 徐道恒 曲国杰 赵大为(614)
91. 三种谐振型PWM变换器的比较 谢勇(619)
92. 张量法在机车主电路仿真中的应用 夏寅(625)
93. 混合型电压空间矢量的PWM方法 卓祖航 冯培悌(632)

94. 全数字通用变频器中GTR开关频率的提高与可靠性研究
 陈其工 凌有铸 张绍德(638)
95. GTR模块应用探讨 周德贤(642)
96. 用于单相电路的串联混合型电力有源滤波器 . . 刘进军 刘 波 王兆安(647)
97. 大功率晶体管并联技术研究
 朱典旭 张锦生 赵雅丽 张长安(653)
98. 并联型电力有源滤波器直流侧电压的控制 . . . 杨 君 葛文运 王兆安(659)
99. 大功率变频器的实现—功率合成技术 陈永真 徐为荣(664)
100. 不对称三相电路中谐波及基波负序电流的实时检测
 杨 君 葛文运 王兆安(668)
101. 快恢复二极管在大功率变流器应用中的主要问题 . . . 张广超 吴茂杉(674)
102. 160KVA GTO PWM变频调速装置的研究
 刘长樵 翁福鼎 田卫家 王建民(682)
103. 脉宽调制(PWM)中最小脉冲宽度的确定 张维国(694)
104. 电压型交变频器的谐波分析及对电机的影响实验研究
 陈德俭 李 强 葛竞存 宋心德(700)
105. 晶闸管三点式逆变器 张加胜 邵钟武(713)
106. 高精度比较判断式磁链追踪型PWM法及其应用 . . . 吴守箴 臧英杰(717)
106. 国产10KV、12MW静止变频起动装置研制成功 . . . 叶澄中 仲明振(727)
107. 单相电源供电的电压型变频器网侧谐波分析 刘进军 王兆安(740)
108. 脉宽调制器TL494在IGBT逆变器控制系统中的应用 左 鹏(747)
109. GTO三点式逆变器及其控制
 陶生桂 庄红元 乌正康 邵丙衡(752)
110. 磁悬浮动车IGBT逆变器的初步试验研究
 袁维慈 李 红 左 鹏 刘伟志 李学峰(765)
111. 有源电力滤波技术的发展动向 马大铭 朱东起 高景德(770)
112. PERI075-A变频调速装置研究 朱典旭 张锦生 张雅丽(776)
113. PWM调制策略及磁通轨迹控制 张 黎(783)
114. 通用逆变器的全数字化异步SPWM控制
 宋高升 赵卫兵 张宗桐 徐 安(790)
115. 纯数字化MIFMAS及PWM控制GTO变频调速系统的研究试验
 马钧培 程泓生 吴 燕 陈报生 田 佑 许广锡(797)

116. 高电压大功率GTO电压型PWM变频调速交流传动技术是最佳高效节能技术
..... 许广锡 陈振生 崔俊 王正元(805)
117. 逆变器磁通轨迹控制的分析 陈效国(812)
118. 1000KW 交-直-交四象限变流器的控制器的研制 王挺泽(821)
119. SPWM 逆变电源输出电压波形分析 康勇 彭力 段善旭 陈坚(828)
120. 1000kVA 等级GTO变流器研制 吴茂杉(834)
121. 经济型专用变频器的研制 江明 秦卫东(843)
122. 用于HEF4752的高线性度压控—流控振荡电路 高蒙 杨庆芬(848)

第五部分 交流调速传动用控制、检测单元与部件

123. 闭环控制单元在交流调速系统中的应用 李颖梅 侯川华 田泰玉(850)
124. 几种大功率GTO吸收电路的比较 梁克宇(853)
125. IGBT吸收电路的研究 刘伟志(859)
126. 感应电机的参数自测定 王长江 李发海 谢桂林(866)
127. GTR的多功能自保护驱动电路的研究 邓元紫 苏彦民(873)
128. 纯数字化MIFMAS的异步、同步PWM控制信号专用模块的研究
..... 徐庆标 冯洁 许广锡(878)
129. 专用芯片MC33035在稀土永磁方波电动机运动控制中的应用
..... 侯亚平 朱震莲(886)
130. 电压大功率变频装置中晶闸管均压回路参数计算及动态均压试验
..... 吕明伟 叶澄中(891)
131. 三相PWM产生器MA818在变频空调器中的应用 刘星桥(901)
132. 大功率D/A转换 于岳亮 陈德荣 潘祖善(908)
133. 异步电机转子磁链的间接观测方法 冯晓刚 陈伯时 夏承光(917)
134. 具有完善短路保护功能的IGBT厚膜驱动器
..... 盛祖权 刘立英 王雯婧 谷煜(924)
135. 90KW GTR变频器产品化的可靠性与短路保护设计
..... 邱文渊 沈吉祥 钱亚新 童国道 勾明荣(933)
136. 功率MOSFET栅极驱动电路设计 张维国 李国平(941)
137. 用霍尔元件测量交-直-交变频系统各电气参量及显示仪表统一化
..... 高铭新(947)

第六部分 工业应用及其他

138. 串激电动机转速的新型控制系统 朱蓉蓉 崔巍 张文修 张欣 骆勇 (955)
139. PWM 变频调速系统在粘胶基碳纤维生产中的应用 姚民生 (961)
140. 粘胶长丝静止变频成套设备研制 丁永汀 (970)
141. 高速印刷品分拣机环形输送带速度控制 孙武贞 黄 佶 吴振麟 (975)
142. 变频调速变压变量供水系统设计方法探讨 曹文田 (982)
143. 细旦丝高速纺丝机变频调速恒张力卷绕控制系统的实现 . 李 艳 徐银泉 (985)
144. AC-AC 变频器输出阻抗研究 侯振义 (992)
145. 紧凑型细旦纺丝机自动控制系统 徐银泉 谢 鉴 (996)
146. 单片机控制变频调速泵站 刘晨光 (1000)
147. 交流传动装置在圣彼得堡地铁车辆上的应用 巴·拉·舍尔金著 袁维慈摘译 (1003)
148. PWM 逆变器型交流电梯紧急自动疏散系统 魏 桥 冷增祥 (1008)
149. PWM 双机变频调速系统——逆变器并联运行可行性研究 . 叶家金 赵国锋 (1012)
150. 交流变频调速技术与功率模块的发展和应用 . 孙伟远 刘 虹 罗会元 (1019)
151. 马达控制用电力电子技术的现状与未来 由宇义珍 (1024)
152. 应用变频调速恒压变流量供水系统 厉无咎 顾明时 (1033)
153. 矿井提升机变频调速的微机控制系统(设计) 马鹏祥 周秀华 谢桂林 于庆广 曲荣廉 李 军 (1040)
154. 单台变频器供多台负载用的模糊控制自动供水系统 孔令甫 周晓原 刘 曾 (1057)
155. 工业缝纫机用交流伺服电动机 唐苏亚 (1061)
156. 脉宽调制(PWM)技术——回顾、现状及展望 李永东 (1067)

谐振直流环节逆变器在多电机调速系统中的应用

南京航空航天大学

丁洛 严仰光

摘要: 本文主要讨论了多电机调速系统中运用零电压开关——谐振直流环节逆变器, 以达到减小逆变器开关损耗, 简化电路结构的目的。文中提出多逆变器共用谐振直流环节的构想, 并推出一种组合式采用结实型谐振直流环节组成的多逆变器系统

* 本文课题为航空科学基金资助项目

1. 引言

谐振直流环节逆变器是一种新型软开关DC/AC变换器。谐振直流环节将输入直流电压转换为高频脉冲电压波送入逆变桥, 从而使逆变桥上开关器件可以在输入电压为零时进行开关状态转换, 器件的开关损耗几乎为零。这种零电压开关技术可以使逆变器上开关元件不用缓冲电路, 简化主电路结构, 提高开关工作频率, 减小变换器体积和重量, 提高变换器工作的可靠性和效率。

在机械、化工、纺织等工业领域中, 许多场合常常需要控制一组多个电机的速度。在这种多个交流电机调速系统中采用多逆变器共用谐振直流环节系统给电机供电可以使逆变电源具有简洁的主电路结构, 各逆变器开关损耗大大降低。本文详细分析了多逆变器共用谐振直流环节系统的构成、控制规律及存在的问题, 提出了一种新型组合式多逆变器共用谐振直流环节系统, 谐振直流环节与各逆变器可以相互独立控制, 使系统控制方便、便于调节。

2. 谐振直流环节逆变器

2.1 基本电路及工作原理

谐振直流环节逆变器电路结构如图1-a所示。同常规的电压型逆变器相比仅在直流母线上增加了谐振元件 L_r 、 C_r 及谐振控制开关 S_r 。假定逆变器工作时输入电流恒定为 I_d , S_r 为理想开关则电路可简化为图1-b的等效电路。电路工作可以分成两个阶段, 预充电阶段和LC谐振阶段。预充电阶段 S_r 导通, 逆变桥输入电压 V_{or} 被钳在零伏。逆变桥可在此时零电压切换开关工作状态, 谐振电感 L_r 中电流 i_{Lr} 线性增长($di_{Lr}/dt = V_s/L_r$), 充电储能。当 i_{Lr} 达到某一预定阈值 I_{Lo} 时, S_r 在零电压条件下关断, 电路转入LC谐振阶段, 逆变器输入电压 V_{or} 从零开始增长, 当 V_{or} 谐振再次回零时, 控制 S_r 在零电压条件下再次导通, 电路又转入预充电阶段进入下一谐振周期。循环往复, 逆变桥输入端就得到一个脉冲波。而整个逆变器中所有开关均是零电压开关。

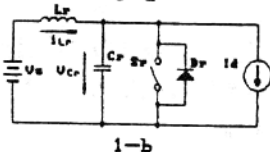
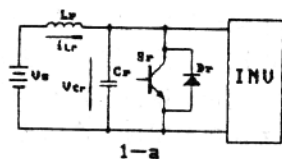


图1

2.2 电流阈值的确定

电流阈值的选取是要保证谐振电感 L_r 中储备足够的能量以确保下一谐振阶段中 V_{or} 能够可靠回零。在LC谐振阶段, 电路状态方程为,

$$L_r \cdot di_{Lr}/dt = V_s - V_{or} \quad (1)$$

$$C_r \cdot dV_{or}/dt = i_{Lr} - I_d \quad (2)$$

代入初态 $i_{Lr} = I_{Lo}$, $V_{Cr} = 0$ 可解得

$$V_{Cr} = V_s (1 - \cos \omega t) + \omega \cdot L_r (I_{Lo} - I_d) \sin \omega t \quad (3)$$

$$i_{Lr} = I_d + V_s \cdot \sin \omega t / (\omega \cdot L_r) + (I_{Lo} - I_d) \cos \omega t \quad (4)$$

要保证电路正常工作需 $I_{Lo} > I_d$ 。理想状态下 $I_{Lo} = I_d$ 就可以使 V_{Cr} 在 $\omega t = 2\pi$ 时回零。但是, 所有元件都不是理想的, 都有损耗。因而为确保 V_{Cr} 能可靠回零, 为 S_r 提供零电压开通环境, 应选择 $I_{Lo} > I_d$ 。此时, 电容 C_r 上的电压最大值为:

$$V_{Cr_{max}} = V_s + \sqrt{V_s^2 + \omega^2 \cdot L_r^2 (I_{Lo} - I_d)^2} > 2V_s \quad (5)$$

由以上分析可知电流阈值 I_{Lo} 与负载电流 I_d 有关。当 I_d 在一定范围变化时, 应选择电流阈值 $I_{Lo} > I_{dmax}$ 以确保 V_{Cr} 能可靠地谐振回零。不过这样选择电流阈值 I_{Lo} 后, 空载和轻载时 $I_{Lo} - I_d$ 较大, 相应 $V_{Cr_{max}}$ 就比较大, 逆变器上各元、器件上承受的电压应力较大。如果实时控制 I_{Lo} , 则需要在快速实时检测 I_d 的同时, 预估出下一周期的 I_d 变化趋势, 再计算出 I_{Lo} 之值, 这无疑要增大控制电路的复杂性, 而且 $V_{Cr_{max}}$ 仍是大于 $2V_s$ 的, 意义不大。

3. 多逆变器共用谐振直流环节的设想

多逆变器共用谐振直流环节就是如图 2 所示, 在同一谐振直流环节母线上挂接多个逆变器。这种方案在需要输出多种电能的逆变电源中是比较经济合理的。后接单相逆变器可以输出单相交流电, 后接三相逆变器可以输出三相交流电, 后接 DC/DC 变换器可以输出直流电。利用一组谐振元件 L_r 、 C_r 就可以获得后接各逆变器中所有开关器件的零电压开关环境, 使各逆变器的开关损耗几乎为零。

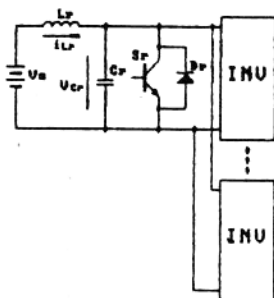


图 2

多逆变器共用谐振直流环节后, 各逆变器负载的变化都直接影响到谐振直流环节的输出电流 I_d , 也就影响到 S_r 的关断电流阈值的选取。多逆变器运行时, 工作频率会各不相同, 这就造成谐振直流环节的输出电流的变化范围很大, 这使得谐振开关 S_r 很难控制, 因为 S_r 的关断电流阈值与输出电流 I_d 有关, 只能选择最大可能负载电流 I_{dmax} 做为选取电流阈值的依据, 当 I_d 较小时, 会引起过高的 $V_{Cr_{max}}$ 给后接的逆变器带来过高的电压应力。许多改进型谐振直流环节拓扑虽然将输出电压的最大值钳位在电源电压 V_s 上, 但仍需要对谐振直流环节实施电流闭环控制。即需要快速实时检测 I_d , 又要有复杂的实时运算控制电路, 实现困难。

针对多逆变器共用谐振直流环节的这种负载变化较大的特殊情况, 较为理想的方案是采用二级变换器组合式结构。选择一种能将输入直流电压转变成高频脉冲波, 而控制又与负载电流无关的电路做为谐振直流环节, 将谐振直流环节视为一独立的功率变换单元。文献[1]中所推出的结实型逆变桥臂 (Rugged Inverter Leg) 电路具有上述功能, 本文中称之为结实型谐振直流环节。

4. 结实型谐振直流环节

4.1 结实型谐振直流环节

结实型谐振直流环节电路如图 3 所示, 其中 C_{e1} 与 C_{e2} 为两个开关元件 S_{e1} 和 S_{e2} 的关断缓冲电容, 是用来在 S_{e1} 或 S_{e2} 关断时延缓器件两端电压的上升, 从而减小器件上的关断损耗。

L_r 是谐振电感, C_{r1} 和 C_{r2} 是谐振电容, L_r 、 C_{r1} 、 C_{r2} 的作用是产生谐振为 $Sc1$ 或 $Sc2$ 提供一个零电压开通环境。

结实型谐振直流环节工作时, 每个输出脉冲周期工作过程可以大致分为八个模态, 其中有两个续流稳态, 工作稳态和换流稳态, 分别对应 $V_{do}=V_s$ 和 $V_{do}=0$ 。

模态1, 工作稳态。 $Sc1$ 与 $Dr1$ 导通, 其余器件均截止。电感电流 $i_{Lr}=I_{Lo}>I_d$, $i_{Lr}-I_d$ 由 $Sc1$ 、 $Dr1$ 续流, $V_{do}=V_s$ 。电源通过 $Sc1$ 向逆变桥供电, 这个稳态一直延续到 $Sc1$ 关断。

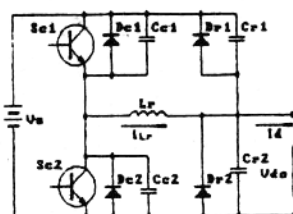


图3

模态2, $Sc1$ 软关断。 $Sc1$ 关断后, i_{Lr} 转移到 C_{r1} 与 C_{r2} 上。 C_{r1} 与 C_{r2} 延缓 $Sc1$ 两端的电压上升使 $Sc1$ 软性关断。当 C_{r1} 上电压上升到 V_s 时, $Dc2$ 导通, 模态2结束。

模态3, i_{Lr} 线性下降。 $Dc2$ 导通后, i_{Lr} 由 $Dc2$ 和 $Dr1$ 向电源返回能量, i_{Lr} 线性下降, 当 i_{Lr} 下降到 I_d 时, $Dr1$ 自然关断, V_{do} 不再受 V_s 钳位, 模态3结束。

模态4, L_r 、 C_{r1} 、 C_{r2} 谐振。 $Dr1$ 关断后, 形成 L_r 、 C_{r1} 、 C_{r2} 谐振回路, 谐振使 i_{Lr} 进一步下降, 同时 $V_{do}=V_{cr2}$ 也开始下降。 $i_{Lr}>0$ 时, $Dc2$ 导通, $i_{Lr}=0$ 时, $Dc2$ 自然关断, $Sc2$ 在零电压条件下开通, $i_{Lr}<0$ 时, $Sc2$ 导通, 当 V_{do} 下降到零时, i_{Lr} 达到反向最大值 I_{LM-} , $Dr2$ 导通, 谐振结束。

模态5, 换流稳态。 $Dr2$ 导通后 i_d 由 $Dr2$ 续流, i_{Lr} 由 $Sc2$ 、 $Dr2$ 续流, $V_{do}=0$, 电路再次进入续流稳态。后接逆变器可以在此刻零电压换流, 模态5一直持续到 $Sc2$ 关断。

模态6, $Sc2$ 软关断。同模态2类似, $Sc2$ 关断后, i_{Lr} 转移到 C_{r1} 与 C_{r2} 上, C_{r2} 上电压缓缓上升, 使 $Sc2$ 软性关断。当电压上升到 V_s 时, $Dc1$ 导通, $Sc2$ 关断过程结束。

模态7, i_{Lr} 线性上升。 $Dc1$ 导通后, V_s 经 $Dc1$ 、 $Dr2$ 加在 L_s 两端, i_{Lr} 线性上升。当 $i_{Lr}=0$ 时, $Dc2$ 自然关断, $Sc1$ 零电压开通, i_{Lr} 继续线性上升直至 $i_{Lr}=I_d$ 。

模态8, L_r 、 C_{r1} 、 C_{r2} 谐振。 i_{Lr} 上升至 I_d 后, $Dr2$ 零电流关断, V_{do} 不再受钳位, 电路再次谐振。 V_{cr2} 上升, i_{Lr} 上升。当 V_{cr2} 上升到 V_s 时, $Dr1$ 再次导通, 将 V_{cr2} 钳在 V_s , 谐振结束, i_{Lr} 达到正向最大值 I_{LM+} 。电路状态又转回模态1, 开始一个新的谐振直流环节输出脉冲周期。

4.2 结实型谐振直流环节的控制

由以上简要分析可知, $Sc1$ 与 $Sc2$ 的导通时间都是可调的。器件导通后, 关断时由于 C_{r1} 、 C_{r2} 的缓冲作用, 损耗很小。在 $Sc1$ 关断后, 只要跳过模态2驱动 $Sc2$ 就能获得 $Sc2$ 的零电压开通; 同理, $Sc2$ 关断后, 只要跳过模态6驱动 $Sc1$ 就能获得 $Sc1$ 的零电压开通。特别要指出的是 $Sc1$ 、 $Sc2$ 的驱动信号并不需要在特定的时刻上跳, 而只需控制 $Sc1$ 的驱动信号的上升沿落在模态7的前半段($i_{Lr}<0$ 时); $Sc2$ 的驱动信号的上升沿落在模态3或模态4的前半段($i_{Lr}>0$ 时)。因此, $Sc1$ 、 $Sc2$ 的驱动信号只需设计成具有一定死区间隔 Δ 的互补驱动信号即可。换句话说就是结实型谐振直流环节可以实施开环控制, 计算机仿真及电路实验都证实了这一点。进一步定量分析可以推出, 当结实型谐振直流环节输出电流处于一定范围之内, 电路工作状态将保持上述软开关特性。由此可以得出二个重要的结论: ①结实型谐振直流环节可以实施开环控制, 只需将 $Sc1$ 、 $Sc2$ 的驱动信号设计成具有一定死区间隔 Δ 的互补信号, 而且谐振直流环节的输出电压回零时间与输出电流无关; ②结实型谐振直流环节在一定输出电流范围内, $Sc1$ 、 $Sc2$ 始终是软性关断、零电压开通。结实型谐振直流环节的这种

控制特性使之特别适合于用在多逆变器共用谐振直流环节系统中。

4.3 多逆变器系统的构成与控制

用结实型谐振直流环节取代图2中的谐振直流环节就构成了组合式多逆变器共用谐振直流环节系统(图4)。由于采用了结实型谐振直流环节,在多逆变器系统中,谐振直流环节与各逆变器可以相互独立进行控制,只要各逆变器均选择 $V_{do} = 0$ 时切换开关状态即可。

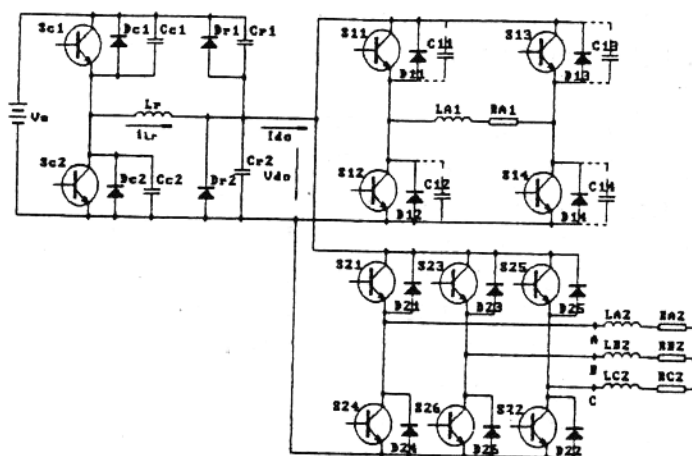


图4

控制时,谐振直流环节采用开环控制,可以根据需要方便地调节输出脉冲的占空比以得到不同的输出电压平均值。逆变器的控制原则一是可以采用合适的离散脉冲调制DPM方式控制。如采用三态滞环离散电流跟踪调节器可以获得良好的电流跟踪特性。这种控制方式可以运用于电流跟踪矢量控制异步电动机调速系统中。逆变器的第二种控制方式是采用单相软开关控制技术,将谐振电容 C_{r2} 分散到逆变器每个开关器件上如图4中单相逆变器里虚线所示。这些电容在开关器件关断时起关断缓冲作用,使器件可以在两端电压不为零时获得软性关断,而器件开通则在逆变器输入电压为零时刻。这种结构和控制特性使逆变器中开关可以在任一时刻软性关断,可以对逆变器实施规则采样单边调制PWM控制[4],使逆变器输出中谐波电流分量得到抑制。因此,这种控制方式可以用于交流电机的VVVF开环控制或闭环控制。

结实型谐振直流环节的另一突出的特点是允许能量双向流动。输出电流可以为负,这就使系统能适应电机向电源回馈能量的发电制动运行状态,使电机可以实现多象限运行。

5. 结论

多逆变器共用谐振直流环节系统是一种将谐振直流环节逆变器软开关技术引入多路输出逆变电源的一种新构想。它只用一组谐振元件就可以使各逆变器均获得零电压开关环境,电路简洁,损耗小,适用于多电机拖动系统或其它需要多路多规格供电电源系统中。

采用组合式结构,运用结实型谐振直流环节使谐振直流环节成为一级可以进行独立控制的功率变换单元。这样消除了谐振直流环节与各逆变器之间及逆变器之间的耦合关系,使谐振直流环节与各逆变器可以独立进行控制。逆变器可以根据负载的需要,采用PWM控制做VVVF控制或运用DPM做电流跟踪控制,具有很大的灵活性,并且各逆变器控制相互独

立、互不影响。特别是结实型谐振直流环节可以采用开环控制策略,这使得整个多逆变器系统控制大大简化,从而使多逆变器共用谐振直流环节的构想易于实现,电路仿真结果也验证了这一点。

参考文献

1. A.Cheriti, et al "A Rugged Soft Commutated PWM Inverter for AC Drive"
PESC 90 pp.856--882
2. 王聪 "DC环节谐振型逆变器的发展与应用"
电气传动 1992 No.1 P.2--8
3. 童永胜 "一种软开关组合式变换器拓扑的分析与实现"
南京航空航天大学博士学位论文 1994.6
4. 丁洛 严仰光 "一种新型软开关PWM逆变器"
江苏电工技术学会年会 1995.3

滞环控制的电流跟踪型 SPWM 逆变器⁽¹⁾

北京科技大学自动化系 王志良 郝玉东 胡汉金 严飞

摘要: 本文研究了一种滞环控的电流跟踪型 SPWM 逆变器。设计了以 DSP 为控制器、集成电路构成高速滞环电流比较器的电机调速系统。实验结果表明, 这种 SPWM 逆变器控制的电机相电流严格正弦, 能在超低速下平稳运行。

1 引言

电机控制的最优目标之一是在宽调速范围内保持电流为正弦波形, 以消除高次谐波, 实现高性能转矩控制。SPWM 技术就是以此为控制目标的。本文研究了一种滞环控制的电流跟踪型 SPWM 逆变器。设计了以 DSP 为控制器, 集成电路构成高速滞环电流比较器的电机调速系统。实验结果表明, 这种非线性滞环控制下的伺服系统响应速度快、电流严格正弦、控制模型简单、鲁棒性强, 并且不需考虑电机和逆变器的参数。

2 系统构成

三相滞环控制电流跟踪型 SPWM 伺服系统框图如图1所示。

此系统以永磁同步伺服电机为驱动对象, 以电机相电流为严格正弦为控制目标。采用32位数字信号处理器 TMS320C25 作为控制器, IGBT 作为逆变器的开关元件。控制器发出电流给定信号, 经 12 位分辨率 D/A 转换器 DAC1210 变换为模拟信号 i_a^* 、 i_b^* 、 i_c^* 。

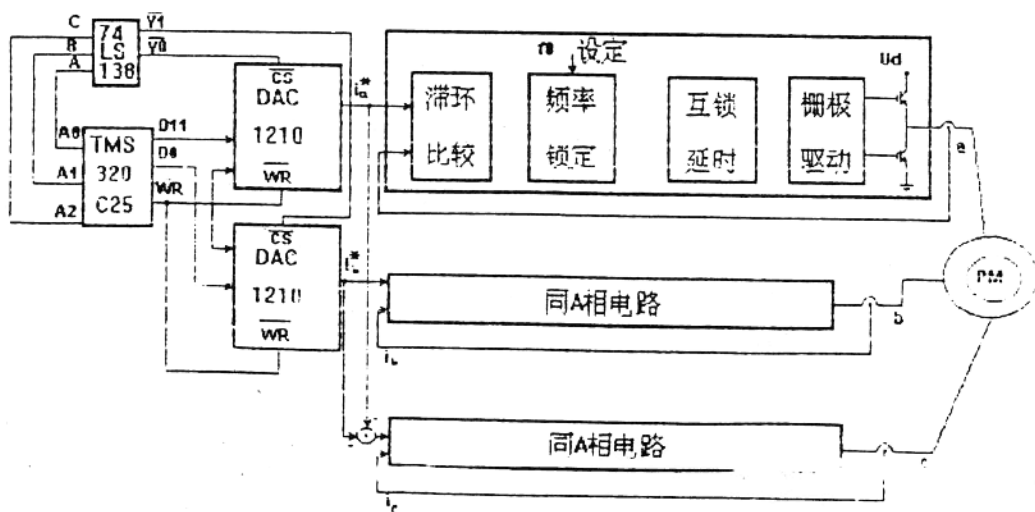


图1 三相滞环控制电流跟踪SPWM伺服系统框图

(1) 本研究为治全部科研基金资助项目

i_c^* (由 i_a^* 、 i_b^* 合成而来), 同时检测电流实际信号 i_a 、 i_b 、 i_c 。 i_a^* 、 i_a 作为电流滞环比较器的输入信号, 由滞环比较器控制电机实际电流始终按正弦规律变化。电流比较器的电路如图 2 所示。其工作原理如下: 当实测电流 i_x ($x = a, b, c$) 大于给定电流 i_x^* ($x = a, b, c$) 时, 比较器 LM339 输出低电平信号, 此信号经 D 触发器送至隔离放大驱动电路, 使逆变器中的上桥臂的 IGBT 管 VT1 关断, 下桥臂的 VT2 导通, 绕组电流减小; 当实测电流 i_x ($x = a, b, c$) 小于给定电流 i_x^* ($x = a, b, c$) 时, 上桥臂的 VT1 管导通, 下桥臂的 VT2 关断, 绕组电流增大。这样, 电机电流就能够跟踪电流给定信号, 严格按照正弦规律变化。

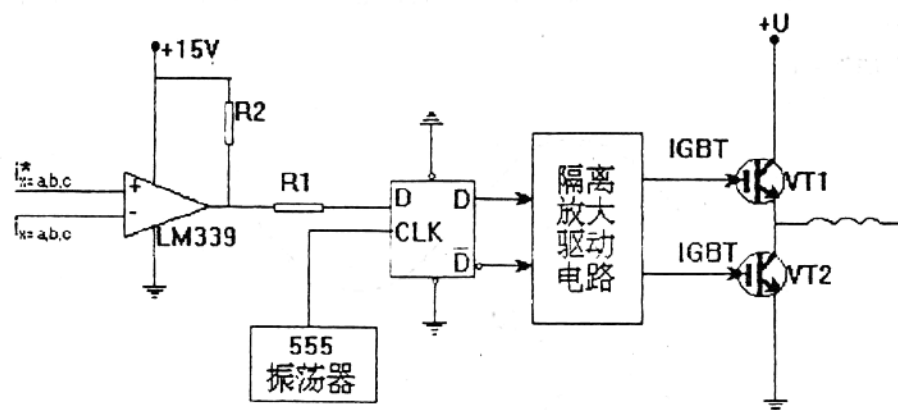


图2 滞环控制的电流比较器

图 2 中的 555 振荡器产生 25 kHz 的高频脉冲序列, 作为 SPWM 方式的调制频率。在功率开关元件 VT1、VT2 允许的情况下, 调制频率越高越好。

3 电机电流的仿真研究

我们研究的 SPWM 逆变器的开关调制频率很高, 可以认为在一个开关周期内绕组电感 L 、反电势 E 近似为常量。在此假设条件下, 我们可以写出相电流的数学表达式。

电机 a 相绕组回路可以等效为图 3 所示的电路形式。

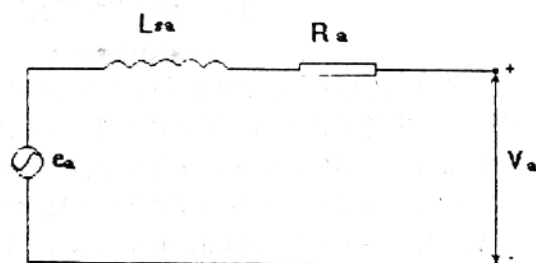


图3 电机A相绕组等值电路

由图 3 可以写出绕组电压方程式:

$$V_a = R_a i_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + E_a \quad (1)$$

式中: V_a -----A 相外加电压

i_a -----A 相绕组电流

L_a -----A相电感

E_a -----A相反电势

R_a -----A相电阻

由式(1)可以得出相电流表达式:

$$i(t) = [i_0 - \frac{(V_a - E_a)}{R_a}] \cdot e^{-\frac{R_a}{L_a}t} + \frac{(V_a - E_a)}{R_a} \quad (2)$$

式中: i_0 -----初始相电流

$i(t)$ -----瞬时相电流

根据式(2)对相电流进行计算机仿真, 得到的滞环控制下的 SPWM 电流波形如图 4 所示。

显然, 滞环控制下的 SPWM 电流波形非常接近正弦。开关调制频率越高, 电流波形就越小。

4 控制软件设计

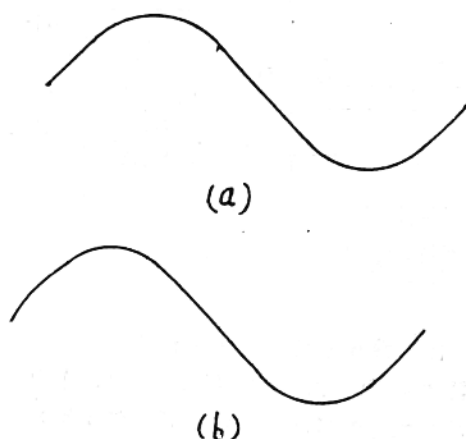


图4 滞环控制下的SPWM仿真电流波形

(a)每周期开关240次 (b)每周期开关960次

SPWM 逆变器的电流给定是由 TMS320C25 数字信号处理器进行的。软件设计并不复杂, 工作量是要在 RAM 区中放置两个巨大的正弦数据表格 (A相电流数据表和 B相电流数据表, C相电流由 A、B 两相电流合成而来)。此正弦数据表是由专门的数据放置程序预先存储好的, 以备主程序运行时随时调用。每个数据表共存 3333 个数据。A相数据表的起始地址为 2000H, B相数据表的起始地址为 3000H。

图 5 所示为电流型 SPWM 控制软件流程图。

5 实验结果

我们研制了图 1 所示的系统。此系统控制下的永磁同步伺服电机的电流实际波形如图 6 所示。由图 6 中可以看出, 在宽调速范围内电流都能保持正弦。而在超低速 ($n = 1$ 转/小时) 情况下电机电流仍然可以保持正弦。这就为高性能伺服系统提供了一个良好的基础。

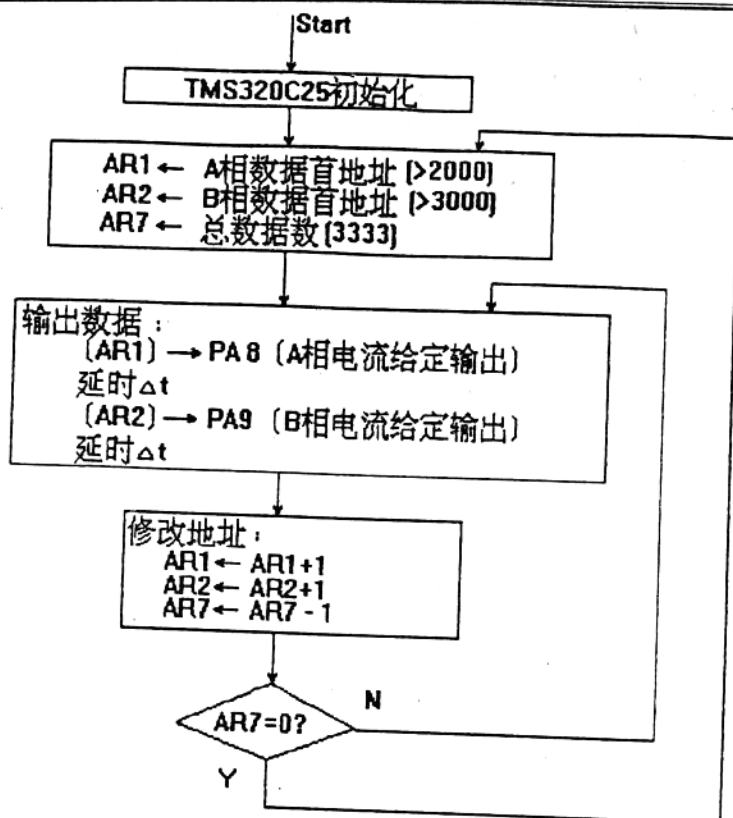


图5 电流型SPWM控制软件流程图

6 结束语

用于交流伺服系统的滞环控制的电流跟踪型 SPWM 逆变器具有控制简单、响应速度快、容易实现、鲁棒性强等优点,实验结果表明,这种 SPWM 电流型逆变器是非常有应用价值的。