



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101348215 B

(45) 授权公告日 2010. 11. 03

(21) 申请号 200810222665. 1

F02D 29/06(2006. 01)

(22) 申请日 2008. 09. 22

(56) 对比文件

(73) 专利权人 北京运达伟业科贸有限责任公司
地址 100088 北京市海淀区西土城路 8 号主
楼 805

CN 1504399 A, 2004. 06. 16,

CN 101162885 A, 2008. 04. 16,

审查员 徐治华

(72) 发明人 谷盛 王永钢 王心愈 梁克
李方军 杨林昌

(74) 专利代理机构 北京法思腾知识产权代理有
限公司 11318

代理人 杨小蓉

(51) Int. Cl.

B66C 17/20(2006. 01)

B66C 13/18(2006. 01)

B66C 13/00(2006. 01)

B66C 5/02(2006. 01)

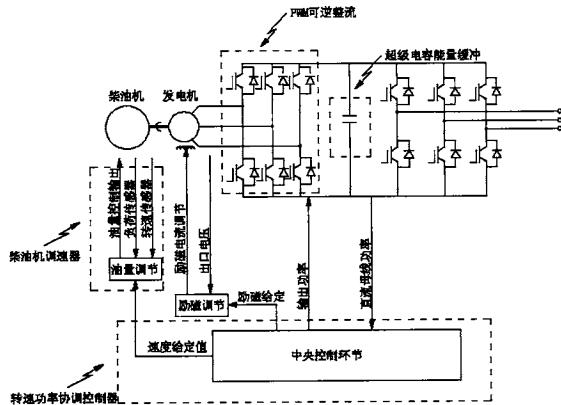
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 4 页

(54) 发明名称

调速节油柴油发电机组供电轮胎式龙门集装
箱起重机

(57) 摘要

本发明涉及一种调速节油柴油发电机组供电轮胎式龙门集装箱起重机，其特征在于，所述起重机还包括：电气系统，由可调速运行的柴油发电机组及其调速设备发出的三相交流电源经过用于柴油发电机组发电量控制的电力电子可逆整流装置转换为直流电源，直接通过直流供电供给拖动各机构运行的变频器，将直流电源转换为频率可调的交流电源，用于驱动起升机构、大车机构和小车机构；所述超级电容组并联在直流侧母线上，所述超级电容组的总电容量为 10 法拉以下；所述中央控制单元由智能工业控制系统构成，用于检测直流母线上的电流电压状况进而实时计算其功率状况，并以此为基础作为柴油发电机组调速依据控制发电机的转速和转矩。本发明成本低，节能环保。



1. 一种调速节油柴油发电机组供电轮胎式龙门集装箱起重机，该轮胎式龙门集装箱起重机采用变速运行柴油发电机组实现供电，包括：起升机构、小车机构和大车机构；其特征在于，所述轮胎式龙门集装箱起重机可以根据负载的变化调节柴油发电机组的运行速度，以实现节能运行，还包括：

电气系统，该电气系统包括：柴油机、同步发电机、电力电子可逆整流装置、超级电容组、变频器、中央控制单元、柴油机调速器和励磁调节器，设备运行中需要的交流能量由电力电子逆变设备实现；由可调速运行的柴油发电机组及其调速设备发出的三相交流电源经过用于柴油发电机组发电量控制的电力电子可逆整流装置转换为直流电源，直接通过直流供电供给拖动各机构运行的变频器，将直流电源转换为频率可调的交流电源，用于驱动起升机构、大车机构和小车机构；

所述超级电容组并联在直流侧母线上，用于在负载增大时实现柴油机提速的缓冲能量和用于在直流母线功率短时间内增加速率超过阈值时提供混合动力，受限于制作工艺，该超级电容组由多台电压等级为 125V 以下的超级电容单体串联而成，所述超级电容单体的电容量为 200 法拉以下，由它构成的超级电容组的总电容量在 10 法拉以下即可满足工况需求；

所述中央控制单元由智能工业控制系统构成，该系统与柴油机、同步发电机、电力电子可逆整流装置连接，用于检测直流母线上的电流电压状况进而实时计算其功率状况，并以此为基础作为柴油发电机组调速依据控制发电机的转速和转矩，该转速与转矩的设置将依据于柴油发电机组转矩曲线，通过转速给定实现柴油发电机组在不同的转速下运行，转矩控制使得柴油发电机组运行于该转速允许的转矩范围之内，使其工作于最经济的工况；同时，该中央控制单元将依据运行工况计算所需要的励磁电压实现励磁给定。

2. 根据权利要求 1 所述的轮胎式龙门集装箱起重机，其特征在于，所述的超级电容单体配有温度接口，温度信号接入中央控制单元，以实现对超级电容组的监控和保护。

3. 根据权利要求 1 所述的轮胎式龙门集装箱起重机，其特征在于，所述的电力电子可逆整流装置为三相可逆桥式 PWM 整流电路，包括由绝缘栅极双极型晶体管 IGBT 和其并联的续流二极管构成，通过控制绝缘栅极双极型晶体管 IGBT 开关的通断时机和调节占空比实现控制直流侧电压和交流侧电流。

4. 根据权利要求 1 所述的轮胎式龙门集装箱起重机，其特征在于，所述的超级电容组同放电电阻配合使用，以实现对于电容组的保护。

5. 根据权利要求 1 所述的轮胎式龙门集装箱起重机，其特征在于，所述的中央控制单元应用可编程逻辑控制器实现控制功能。

6. 根据权利要求 1 所述的轮胎式龙门集装箱起重机，其特征在于，所述的发电机组由可变速柴油发动机拖动，柴油发动机采用工程机械用柴油机。

7. 根据权利要求 1 所述的轮胎式龙门集装箱起重机，其特征在于，驱动起升机构电机、大车机构行走电机和小车机构行走电机通过它们的变频器直接连接到直流母线上，工作于直流供电状态。

8. 根据权利要求 1 所述的用于轮胎式龙门集装箱起重机，其特征在于，所述的变频器连接到直流母线上，用于提供恒频恒压的交流源，实现 RTG 设备运行需要的电源供应。

调速节油柴油发电机组供电轮胎式龙门集装箱起重机

技术领域

[0001] 本发明涉及轮胎式龙门集装箱起重机，特别涉及一种采用变速运行柴油发电机组实现供电和超级电容实现能量缓冲和部分回收的节能环保新型轮胎式龙门集装箱起重机。

背景技术

[0002] 作为交流供电常用、备用和应急发电用的柴油发电机组被广泛的应用于港口、船舶、通讯等众多领域。在实际应用中，很大一部分柴油发电机组是作为移动设备的工作电源，用以拖动可再生发电类负载（如在港口领域集装箱码头应用非常广泛的轮胎式门式集装箱起重机）。在这些移动设备中，其庞大的柴油发电机组不仅耗油高，而且噪音大、黑烟多。特别是近年来，全球范围内能源供应日趋紧张，能源价格急剧攀升，环保要求日益提高，这种“猛喝油”“冒黑烟”现象已经直接制约了影响我国乃至全球交通行业的健康可持续发展。

[0003] 常规的轮胎式门式集装箱起重机一般采用 300KW ~ 600KW 主柴油发电机组供电，只要处于工作状态，无论是否起降集装箱，发电机组都处于运行状态。统计结果显示场桥平均每月运行 400 小时，空载运行近 200 小时，空载率高达 50% 以上，即使在非空载工况下，也仅在起升过程中需要提供额定功率。

[0004] 另外，轮胎式门式集装箱起重机在发展中还面临装机容量太大的问题，这主要是由于所选的柴油发动机必须满足提升瞬间的大量能量需求，这使得其选型越来越困难，也进一步增加了小负荷工作时的耗能和排放。下放时多余的能量释放到制动电阻，也使得整机的热污染进一步加重。

发明内容

[0005] 为了解决上述问题，本发明的任务是提供一种新的利用变速运行柴油发电机组实现供电和超级电容实现能量缓冲和部分回收的节能环保新型轮胎式龙门集装箱起重机，通过降低低负荷时柴油机转速和利用超级电容组实现缓冲和部分储能，有效实现节能和降低排放的目的。

[0006] 为实现上述目的，本发明所提供的一种轮胎式龙门集装箱起重机，该轮胎式龙门集装箱起重机采用变速运行柴油发电机组实现供电，包括：起升机构、小车机构和大车机构；其特征在于，所述轮胎式龙门集装箱起重机可以根据负载的变化调节柴油发电机组的运行速度，以实现节能运行，还包括：电气系统，该电气系统包括：柴油机、同步发电机、电力电子可逆整流装置、超级电容组、变频器、中央控制单元、柴油机调速器和励磁调节器，设备运行中需要的交流能量由电力电子逆变设备实现；由可调速运行的柴油发电机组及其调速设备发出的三相交流电源经过用于柴油发电机组发电量控制的电力电子可逆整流装置转换为直流电源，直接通过直流供电供给拖动各机构运行的变频器，将直流电源转换为频率可调的交流电源，用于驱动起升机构、大车机构和小车机构；

[0007] 所述超级电容组并联在直流侧母线上，用于在负载增大时实现柴油机提速的缓冲

能量和用于在直流母线功率短时间内增加速率超过阈值时提供混合动力,该超级电容组由多台电压等级为 125V 以下的超级电容单体串联而成,所述超级电容单体的电容量为 200 法拉以下,由它构成的超级电容组的总电容量在 10 法拉以下即可满足工况需求;受限于超级电容的制作工艺,现在使用的超级电容组一般由多台电压等级为 48V 的超级电容单体串联而成,其超级电容单体的电容量为 80 法拉,如果将下放过程的能量全部由超级电容组吸收,设下放距离为 13 米,当下放 40 吨箱时,不考虑能量损失,则其下放势能为 5096000J,电容组工作电压在逆变器保护低电压和高电压之间,不是一般性设为 600V ~ 800V,则所需要的电容量为 36.4F。为了满足需求的工作电压,需要将电容单体串联再并联实现,则需要将 17 个电容单体串联以满足电压需求,这使得每一回路电容量为 4.71F,欲全部吸收下放能量需要 136 个电容单体才能实现。

[0008] 在本发明的方案中采用一组 17 个电容串联,可以提供 4.71F 电容量,其储存的能量为 659400J,设上升速度为 20m/min,则可以提供其上升 1.69m 折合 5.13s 的能量缓冲时间,该时间远大于柴油机组的时间常数,从而可以大幅削减成本同时满足系统正常运行需求。设电容单体价格为 5000 元,则仅此一项节约成本 60 万左右。

[0009] 所述中央控制单元由智能工业控制系统构成,该系统与柴油机、同步发电机、电力电子可逆整流装置连接,用于检测直流母线上的电流电压状况进而实时计算其功率状况,并以此为基础作为柴油发电机组调速依据控制发电机的转速和转矩,该转速与转矩的设置将依据于柴油发电机组转矩曲线,通过转速给定实现柴油发电机组在不同的转速下运行,转矩控制使得柴油发电机组运行于该转速允许的转矩范围之内,使其工作于最经济的工况;同时,该中央控制单元将依据运行工况计算所需要的励磁电压实现励磁给定。所述的中央控制单元应用可编程逻辑控制器实现控制功能。

[0010] 一般可以通过电流电压电流测量设备如霍尔原件测量直流母线电压电流,进而在该控制环节中计算母线功率,以此母线功率作为调节柴油机转速依据。柴油发动机转速给定通过 1939 总线接口给定,为了实现在不同的发动机转速下转矩的匹配,可以通过中央控制单元给定电力电子可逆整流器交流侧电流进而实现发动机的转矩控制,使得发动机可提供的转矩始终大于整流器的转矩值,为了实现在负载波动加大时柴油机组不至于由于转矩太大而导致熄火,当负载短时间内较大波动时可以快速给出柴油机转速增加命令,与此同时由超级电容组实现提升工况的能量供给。这样可以实现柴油发动机的转矩输出能力在较短的时间内达到额定值,从而确保系统的可靠运行。

[0011] 作为本发明的一种改进,所述的超级电容单体配有一温度接口,温度信号接入中央控制单元以实现对超级电容组的监控和保护。

[0012] 作为本发明的另一种改进,所述的电力电子可逆整流装置为三相可逆桥式 PWM 整流电路,包括由绝缘栅极双极型晶体管 IGBT 和其并联的续流二极管构成,通过控制绝缘栅极双极型晶体管 IGBT 开关的通断时机和调节占空比实现控制直流侧电压和电流。

[0013] 对于由变速发电机组发出的非工频三相交流电,经由电力电子可逆整流设备实现整流运行,转换为直流电后供给直流母线,该电力电子整流装置包括由绝缘栅极双极型晶体管 (IGBT) 和其并联的续流二极管构成的 PWM 桥式全控可逆整流电路,电机内线圈的电感作为该拓扑结构必须的感性负载,使其电流不会随电压工作于开关状态,滤除交流测 PWM 谐波电流,同时可以隔离电网电动势和整流器交流侧电压,由此构成电压型 PWM 整流器

(VSR)。该电路即可工作于整流状态,又可工作于逆变状态,以发电机为负载,则可视为拖动同步电机实现转矩控制,当工作于不同的负载转矩(由该电力电子设备控制)下,可以实现再生制动工况运行,通过二极管向直流侧供电。

[0014] 作为本发明的又一种改进,所述的超级电容组同放电电阻配合使用,以实现对于电容组的保护。

[0015] 在该机构中包含放电用晶体管,放电电阻和二极管,放电电阻的接通由放电用晶体管控制,其通断由电压检测电路完成。电压检测电路直接检测电容两端电压,当被测值超过允许值时,触发发电用晶体管导通,电容上的电荷经过放电电阻释放,使电压降低。该放电电压值依据逆变用变频器的不同类型有不同的值,但在设计中都小于超级电容工作的安全电压上限,大于正常工况下的超级电容的工作电压上限。

[0016] 作为本发明的再一种改进,所述的发电机组由可变速柴油发动机拖动,柴油发动机采用工程机械用柴油机,针对不同的负载需求,实现对柴油发电机组的变速运行,其速度将通过柴油发动机的车用 CAN1939 协议口写入实现转速控制。这样可以实现在不同的运转速度下柴油机的燃烧和排放状况的更优,同时,工程机械用柴油机可实现良好的在不同速段的速度控制。

[0017] 驱动起升机构电机、大车机构行走电机和小车机构行走电机通过它们的变频器直接连接到直流母线上,工作于直流供电状态,可工作于逆变状态也可工作于再生制动状态,逆变状态时能量由直流母线提供给各负载,当工作于再生制动状态时机构将能量反馈到直流母线上,母线电压在电压变化范围内调节,当高于超级电容组可靠工作电压范围时,可以通过制动电阻释放能量保护超级电容组。

[0018] 所述的变频器连接到直流母线上,用于提供恒频恒压的交流源,实现 RTG 设备运行需要的,主要包括:控制系统工作电源,照明电源和交流供电的其他电机(如转场油泵电机等)。

[0019] 本发明的轮胎式集装箱龙门起重机利用变速运行的柴油发电机组拖动,配合超级电容来实现按照功率需求来决定柴油发电机组运行速度的智能变速柴油发电机组。

[0020] 对于一直工作于额定转速的柴油发电机组,当工作于低负荷状况下其效率将变得很低,根据已有研究结果,对于 20% 的标准负载而工作于全速下的柴油机其效率仅能达到 11%,而在 100% 负载下其效率高达 32%,柴油机的损失为 20% 负载下的 80% 和标准负载下的 60%,可见在恒速下柴油机的效率直接同其负载相关。可见柴油机在运转中在低负荷时稳定在较低转速是非常重要的,可以大幅提高经济性,另外当势能负载下放时所回馈的能量也可以通过加装储能机构得到回收利用,但在现场设计中过多的储能单元设置会增加投资和设备自身重量,而使得这样的节能方案得不偿失,为此在本发明中使用超级电容组来实现起升时的混合动力供给,其目的是为柴油机组提速提供足够的时间。

[0021] 使用该发明的优点是使得柴油发电机组可以在不同的负载情况下依据能量需求状况选择不同的转速运行,从而使发动机能够在全程内在其节油的最佳工况运行,而对于原有的提升瞬间的功率短时间内的迅速增加,通过增加的超级电容组可以实现对这一工况的满足。这使得能够在不改变现场工况的情况下实现能量的最优传递,另一方面由于柴油机的提速变得平缓可以进一步的减少排放。

[0022] 采用该发明还可以进一步减小柴油机组的装机容量,同时超级电容组的蓄能作用

使得原来的频繁通过制动电阻发热耗能的情况大大减少，减少了整机的热污染，大大改善轮胎式龙门集装箱起重机电力系统的平稳运行，其环保效果显著，社会效益和经济效益明显增加。

[0023] 本发明的优点在于：

[0024] 1、减少了机组的装机容量。由于超级电容在提升瞬间的电能提供，使得原来选型中影响装机容量的“瓶颈”，即起升瞬间的能量提供问题获得了很好的解决，使得整个系统的装机容量大幅下降，一方面减少了用户的装机开支，另一方面减少了系统运行时的能耗。

[0025] 2、突出的节能效果。一方面来源于较小装机容量带来的能耗降低，另一方面来源于按照负载调速运行带来的效率的提高，同时由于超级电容储存的重物下方的势能和柴油机怠速运转时的能量，使得整个系统的节能效果十分突出。

[0026] 3、较少环境污染。整机的容量减少必然导致机组发生的油耗、噪音和热量等的大为减小；另外系统工作是大部分情况下工作于怠速状况，使得其排放和热污染进一步减小；同时超级电容的设置使得系统运行平缓，不会发生传统机组起升机构上升时的冒黑烟现象。

[0027] 在该方案中，超级电容将主要作为起升瞬间的能量缓冲，用于解决起升瞬间负荷快速增长带来的机械设备响应快速性不够的问题，这样实现机电系统的不同时间常数的匹配。这一方案同以往的依据超级电容来实现单纯的储能节能的作用有很大不同，缓冲能量仅需要提供上升瞬间的额外能量需求，在这一时刻柴油发动机处于额定转速下，这样可以为发动机提供最大转矩。相对于单纯的储能方案，极大的减少了超级电容组的容量。这可以有效的节约一次投入的成本，同时配置的电容的减少也使得整机重量下降，减少了行走时的损耗。

附图说明

[0028] 图 1 是本发明的一种利用变速运行柴油发电机组实现供电和超级电容实现能量缓冲和部分回收的节能环保新型轮胎式龙门集装箱起重机的电气系统配置示意图；

[0029] 图 2 是柴油机组的不同转速下转矩曲线，功率曲线和耗油率曲线；

[0030] 图 3 是三相可逆整流 PWM 电路工作于电容充电模式下的一种电流回路原理图；

[0031] 图 4 是三相可逆整流 PWM 电路工作于电容放电模式下的一种电流回路原理图；

[0032] 图 5 是中央控制器能量判别控制原理图；

[0033] 图 6 是超级电容组配合放电电阻的原理图。

具体实施方式

[0034] 本发明的一种利用低速运行柴油机组和超级电容储能缓冲单元的节能式轮胎式龙门集装箱起重机，它的主要工作机构有起升机构，小车机构和大车机构，由可调速运行的柴油发电机组及其调速设备发出的三相交流电源经过用于柴油发电机组发电量控制的电力电子可逆整流装置转换为直流电源，直接通过直流供电供给拖动各机构运行的变频器，将直流电源转换为频率可调的交流电源，用于驱动起升、大车和小车机构。用于负载波动时能量缓冲的超级电容储能单元并联在直流母线上，用于在负载增大时实现柴油机提速的缓冲能量和实现混合动力运行。设备运行中需要的交流能量由电力电子逆变设备实现。

[0035] 由可调速运行的柴油发电机组及其调速设备发出的三相交流电源经过用于柴油发电机组发电量控制的电力电子可逆整流装置转换为直流电源,作为全车运行的能量来源,本发明中采用的发电机组由可变速柴油发动机拖动,柴油发动机不采用常规集成的发电用两段速稳定运行发电机组配套发动机,而采用工程机械用柴油机,这样可以实现在不同的运转速度下柴油机的燃烧和排放状况的更优,同时工程机械用柴油机可实现良好的在不同速段的速度控制,在本发明中其速度将通过柴油发动机的车用 CAN1939 协议口写入实现转速控制。

[0036] 对于由变速发电机组发出的非工频三相交流电,经由电力电子可逆整流设备实现整流运行,转换为直流电后供给直流母线,该电力电子整流装置包括由绝缘栅极双极型晶体管 (IGBT) 和其并联的续流二极管构成的 PWM 桥式全控可逆整流电路,电机内线圈的电感作为该拓扑结构必须的感性负载,使其电流不会随电压工作于开关状态,滤除交流测 PWM 谐波电流,同时可以隔离电网电动势和整流器交流侧电压,由此构成电压型 PWM 整流器 (VSR)。该电路即可工作于整流状态,又可工作于逆变状态,以发电机为负载,则可视为拖动同步电机实现转矩控制,当工作于不同的负载转矩(由该电力电子设备控制)下,可以实现再生制动工况运行,通过二极管向直流侧供电。

[0037] 直流侧母线并联超级电容组,该超级电容组同拖动各机构的变频器内的电容组并联构成能量储存装置,通过检测该直流母线上的电流电压,通过中央控制单元可以实时计算其功率状况,以功率变化状况作为柴油发电机组调速依据,通过转速给定实现发动机在不同的转速下运行,通过转矩控制使得发动机运行于该转速允许的转矩范围之内,通过转速同转矩的结合计算并考虑到一定的能量损失来实现同需求能量的匹配。

[0038] 超级电容组的作用主要有以下两个方面:1、最主要是作为能量缓冲装置,这是由 RTG 设备的运行特性决定的,当进行提升动作时,需要柴油发电机组快速反应,在最短时间内提速到额定转速以提供最大能量,柴油机组的响应特性有较大延迟,为此使用超级电容组实现在非提升工况下的储能运行,在提升时由超级电容组实现提升初期的部分功率供给,进而提供柴油机组的加速需要时间。2、当工作于提升工况时由超级电容组和柴油机实现混合动力运行,这样可以有效的减少柴油机组装机容量,减少柴油机组运行时的损耗。

[0039] 驱动起升机构电机、大车行走电机和小车行走电机的变频调速装置直接连接到直流母线上,工作于直流供电状态,可工作于逆变状态也可工作于再生制动状态,逆变状态时能量由直流母线提供给各负载,当工作于再生制动状态时机构将能量反馈到直流母线上,母线电压在电压变化范围内调节,当高于超级电容组可靠工作电压范围时,可以通过制动电阻释放能量保护超级电容组。

[0040] 对于 RTG 设备运行需要的交流电源,可以通过连接到直流母线上的逆变装置提供恒频恒压的交流源来实现,将主要包括控制系统工作电源,照明电源和交流供电的其他电机(如转场油泵电机等)。

[0041] 中央控制单元由智能工业控制系统构成,该系统与柴油机,同步发电机,电力电子转换装置连接,它可以检测直流回路的电流电压状况进而计算其功率状况,以此为基础控制发电机的转速和转矩,该转速与转矩的设置将依据于柴油发动机转矩曲线,使其工作于最经济的工况。同时将作为整个系统的监控设备,实现整个系统的运行状况的检测和启动、停止等功能。同时该中央控制单元将依据运行工况计算所需要的励磁电压实现励磁给定。

[0042] 轮胎式龙门集装箱起重机是用于集装箱码头堆场的一种专用集装箱装卸设备,它是无固定轨道的流动机械,利用本身的柴油发电机组发电,供起重机上的用电设备使用。轮胎式龙门集装箱起重机的供电系统与码头地面电力系统完全隔离。一台轮胎式龙门集装箱起重机通常有三个主要动作机构,分别是起升机构、小车机构和大车机构。起升机构是起重机的主要机构,通常功率在 200KW 以上,用于提升或下放集装箱,提升时起升机构耗电,由柴油发电机组供给,下降时因集装箱下方,其势能将转换成电能反馈给起重机。小车机构和大车机构是用于平面移动集装箱的机构,功率相对较小。

[0043] 本发明由可调速运行的柴油发电机组及其调速设备发出的三相交流电源经过用于柴油发电机组发电量控制的电力电子可逆整流装置转换为直流电源,直接通过直流供电供给拖动各机构运行的变频器,将直流电源转换为频率可调的交流电源,用于驱动起升、大车和小车机构。用于负载波动时能量缓冲的超级电容储能单元并联在直流母线上,用于在负载增大时实现柴油机提速的缓冲能量和实现混合动力运行。设备运行中需要的交流能量由电力电子逆变设备实现。

[0044] 如图 1 所示,由可调速运行的柴油发电机组及其调速设备发出的三相交流电源经过用于柴油发电机组发电量控制的电力电子可逆整流装置转换为直流电源,作为全车运行的能量来源,其速度将通过柴油发动机的车用 CAN1939 协议口写入实现转速控制,事实上工程机械用柴油机在其转速范围内,调速器依据外接负载的变化状况改变其供油量。通过 CAN 总线指定其转速后,柴油机将在较小的转速波动范围内稳定运行,这时需要控制可逆整流装置施加给发电机组的转矩,以避免由于转矩大于柴油机组在当前转速下的转距限制值导致的柴油机灭火和电力拖动反转的状况。其转矩调节依据为如图 2 所示的转矩曲线图。在某一固定速度下其转矩应当处于转矩曲线下方且需考虑到系统能量传递过程中的损耗而保有一定裕量。

[0045] PWM 可逆整流装置主要包括由绝缘栅极双极型晶体管 (IGBT) 和其并联的续流二极管构成的 PWM 桥式全控可逆整流电路,三相电压型 PWM 整流控制器共有 8 种开关模式,图 3、图 4 给出了其三相网侧电流为 $i_a > 0, i_b < 0, i_c > 0$ 时工作于模式 1 和模式 2 的电流状况,当工作于模式 1 时,通过 PWM 整流装置向直流母线充电,而当工作于模式 2 时,直流母线可以拖动发电机组运行,机组运行方向不变,通过改变 IGBT 开关状况的占空比可以实现直流侧电流和电压的调节。

[0046] 直流侧母线并联超级电容组,驱动起升机构电机、大车行走电机和小车行走电机的变频调速装置直接连接到直流母线上,工作于直流供电状态,可工作于逆变状态也可工作于再生制动状态,逆变状态时能量由直流母线提供给各负载,当工作于再生制动状态时机构将能量反馈到直流母线上,母线电压在电压变化范围内调节,当高于超级电容组可靠工作电压范围时,可以通过制动电阻释放能量保护超级电容组。

[0047] 超级电容组用作缓冲而不是完全的用作能量储存使得超级电容组的电容量可以大幅下降,选用的超级电容组电压等级为 48V,故需要多台串联以满足电压需求,对于本系统采用 17 台串联实现,单台超级电容参数如下:

[0048] 电压等级 :48V

[0049] 电容量 :80 法拉

[0050] 等效内阻 (直流) :12.3 毫欧

[0051] 漏电电流 :3 毫安

[0052] 电容组配置计算过程如下 :

[0053] 如果采用电容组吸收所有下放能量 (该方案在国内已有运用), 则需要的电容量计算过程如下 :

[0054] 设下放距离为 13 米, 当下放 40 吨箱时, 不考虑能量损失, 其下放过程产生的势能可计算如下 :

$$[0055] E = mgh = 40000 \times 9.8 \times 13 = 5.096 \times 10^6 J$$

[0056] 将该势能全部吸收到超级电容组, 且电容组工作电压范围 (受限于逆变器工作电压范围) 设为 600V ~ 800V, 则需求电容量为 :

$$[0057] C = \frac{2E}{u_1^2 - u_2^2} = \frac{2 \times 5.096 \times 10^6}{800^2 - 600^2} = 36.4 F$$

[0058] 单体电容选用常用的 48V, 80F 电容, 则为满足电压需求, 每一分组需串联电容为 800V/48V 约为 17 个, 此时每一回路电容量为 $80F/17 = 4.71F$ 。为此为了实现需要的电容量需要并联 $36.4F/4.71F$ 约 8 组电容组, 所需电容单体数量为 $17 \times 8 = 136$ 个。

[0059] 在本发明方案中电容作为缓存能量装置使用, 不需要吸收全部下放能量, 节能主要依靠柴油发动机降速实现, 为此使用 17 个电容单体串联实现, 其电容量为 $4.71F$, 可以吸收的能量为 :

[0060]

$$E = \frac{1}{2}C(u_1^2 - u_2^2) = \frac{1}{2} \times 4.71 \times (800^2 - 600^2) = 6.594 \times 10^5 J$$

[0061] 该部分能量转化为势能可以使设备上升距离为 :

$$[0062] h = \frac{E}{mg} = \frac{6.594 \times 10^5}{40000 \times 9.8} = 1.69m$$

[0063] 设设备上升运行最高速度为 20m/min, 不考虑上升起始阶段的加速过程, 仅依靠电容组储存的能量能够提供的运行时间为

$$[0064] T = \frac{S}{V} = \frac{1.69 \times 60}{20} = 5.07s$$

[0065] 这一时间足以使柴油发动机加速到额定速度, 从而使得在这一时间之后, 柴油机组可以具备最大的转矩输出能力。

[0066] 超级电容单体配有温度接口, 温度信号接入中央控制单元实现对超级电容组的监控和保护。

[0067] 如图 6 所示, 在该机构中包含放电用晶体管 V_b , 放电电阻 R_1, R_2 和二极管 VD_b , 放电电阻的接通由放电用晶体管 V_b 控制, 其通断由电压检测电路完成。电压检测电路直接检测超级电容 C 两端电压, 当被测值超过允许值时, 触发电用晶体管导通, 电容上的电荷经过放电电阻释放, 使电压降低。该放电电压值依据逆变用变频器的不同类型有不同的值, 但在设计中都小于超级电容工作的安全电压上限, 大于正常工况下的超级电容的工作电压上限。该制动电路在逆变器中作为通用配置, 仅需在使用时将超级电容组并联在直流母线上并且依据保护要求选择放电电阻值即可。

[0068] 对于系统运行中需要的交流电源由单独的外加逆变装置实现, 该装置可提供恒频恒压的三相交流电。

[0069] 中央控制单元可由 PLC 系统实现,可以实现直流母线电压电流采集,功率计算和励磁给定等功能,而且系统的柴油机转速、转矩值由该中央控制单元实现控制,控制原理,如图 5 所示。中央控制单元根据需求功率(由直流母线侧的功率)和可提供功率进行比较,当功率缺口较小时,逐步提升转速水平,而当提升机构提升动作时,判断其需求功率大于设定预置转速值可以提供的最大功率,则柴油机迅速加速到额定转速,使设备能够尽快提供最大功率,这一判断过程和柴油机的响应延迟由超级电容组提供能量弥补。

[0070] 通过测量直流母线电压电流,进而在该控制单元中计算直流母线功率,并以此直流母线功率作为调节柴油机转速的依据。且可以给定柴油发动机转速,给定电力电子可逆整流器交流侧电流,当负载短时间内较大波动时可以快速给出柴油机转速增加命令。

[0071] 本例中,可调速运行的柴油发电机组不使用普通发电用柴油机组配套柴油发动机实现调速,而采用工程机械用柴油发动机实现调速,这种机组配有全程调速设备,可使系统在全程内提供优化的运行特性。该机组可以通过外部智能控制单元给定转速信号,转速信号给定通过柴油发动机所自带的车用 CAN1939 协议总线接口给定,在该转速信号下该柴油发电机组可以稳定的运行于不同的设定转速值(大于柴油发动机怠速转速小于其额定转速),该机构使用在轮胎式龙门集装箱起重机上,实现其各机构供电。

[0072] 所述的可逆整流装置可以拖动同步发电机运行,在运行过程中运行转矩,即同步发电机机侧电流可调节,该电力电子装置可以工作于整流状态也可工作于再生制动状态,可以将发电机组产生的低压低频电源转换为直流电源,且直流母线电压可以通过该装置配合中央控制单元和柴油机组调节。当轮胎式龙门集装箱起重机处于下放或大车小车不在运行状态时,可以由超级电容组提供的直流电能通过该装置拖动柴油机组运行,在这一阶段柴油发动机停止供油,实现节油运行。

[0073] 所述的可逆整流装置可以控制柴油发电机组转矩,在实际转矩设定时该转矩值依据柴油发动机转矩曲线确定,保证该转矩值小于对应转速下的转矩最大值,以确保柴油机组不会因为同转速反向的阻力矩太大而停机。

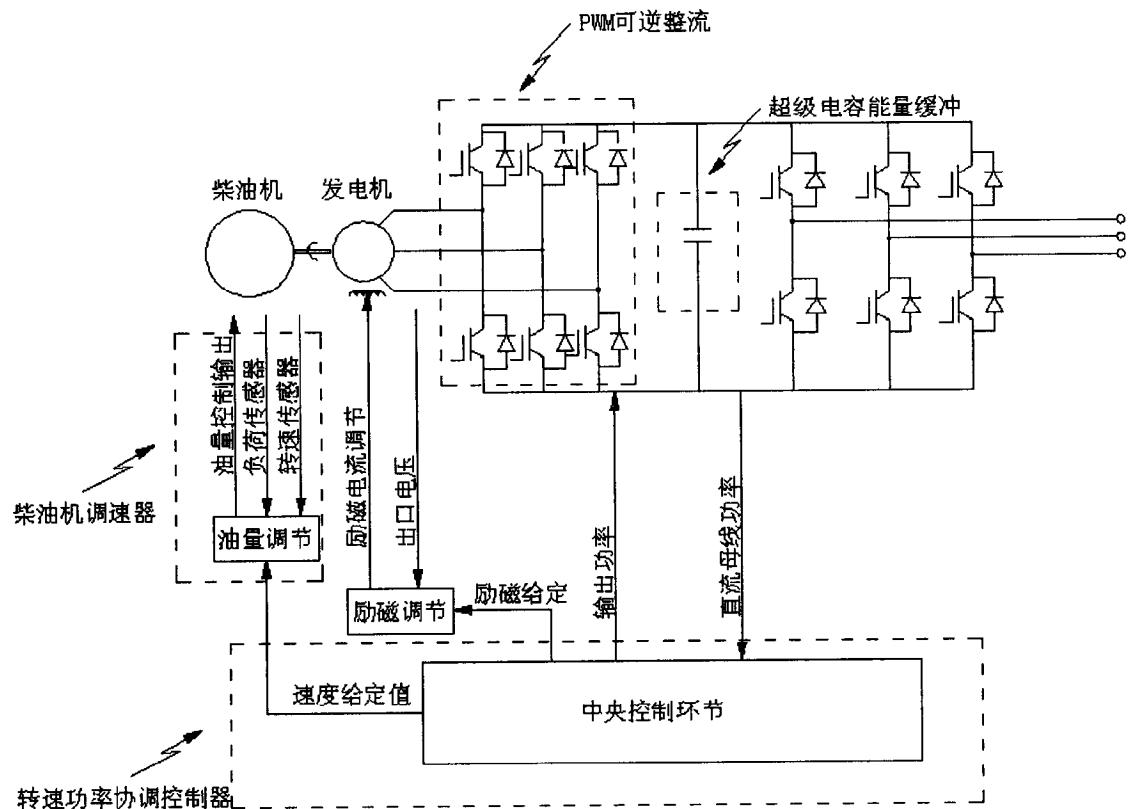


图 1

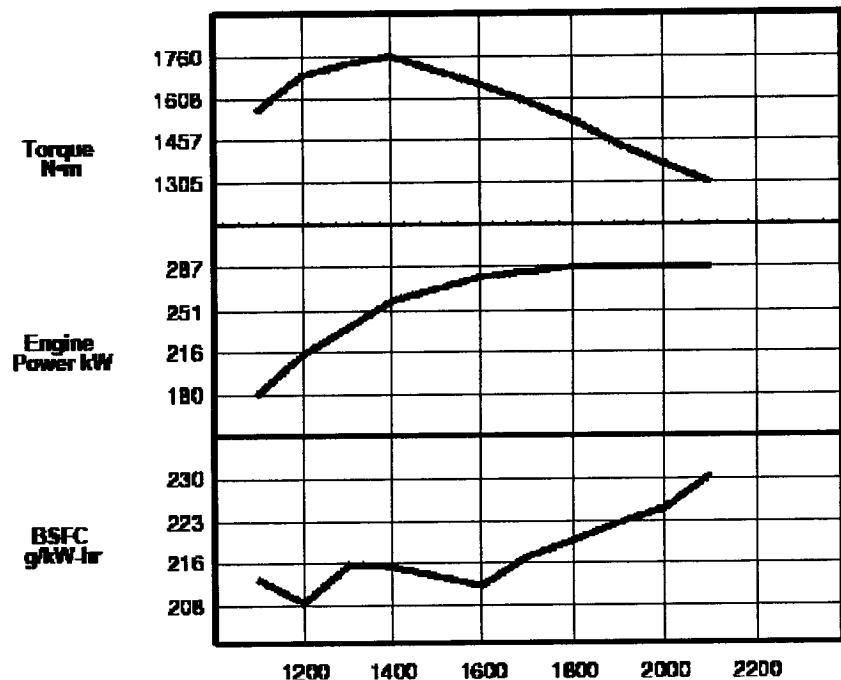


图 2

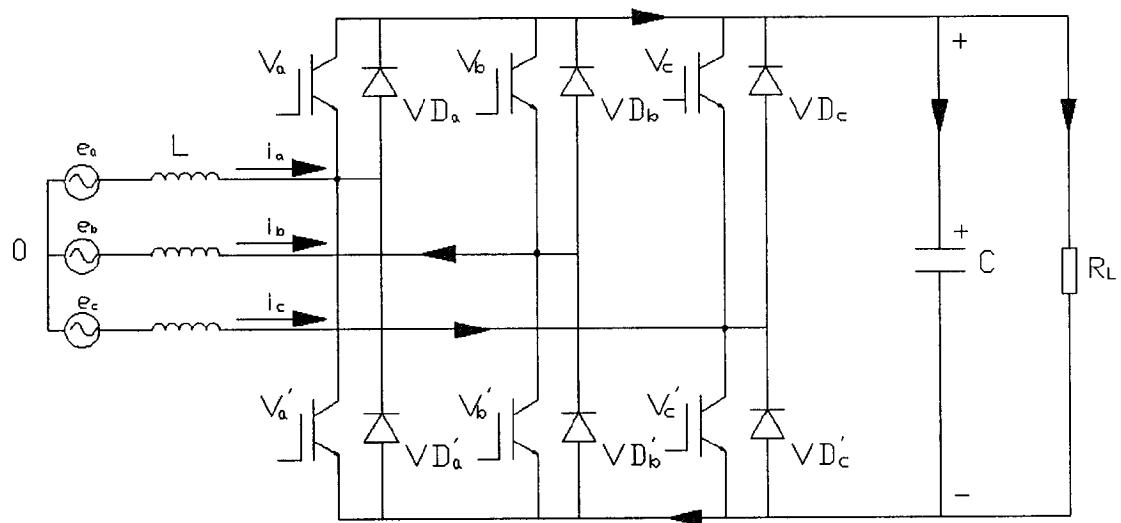


图 3

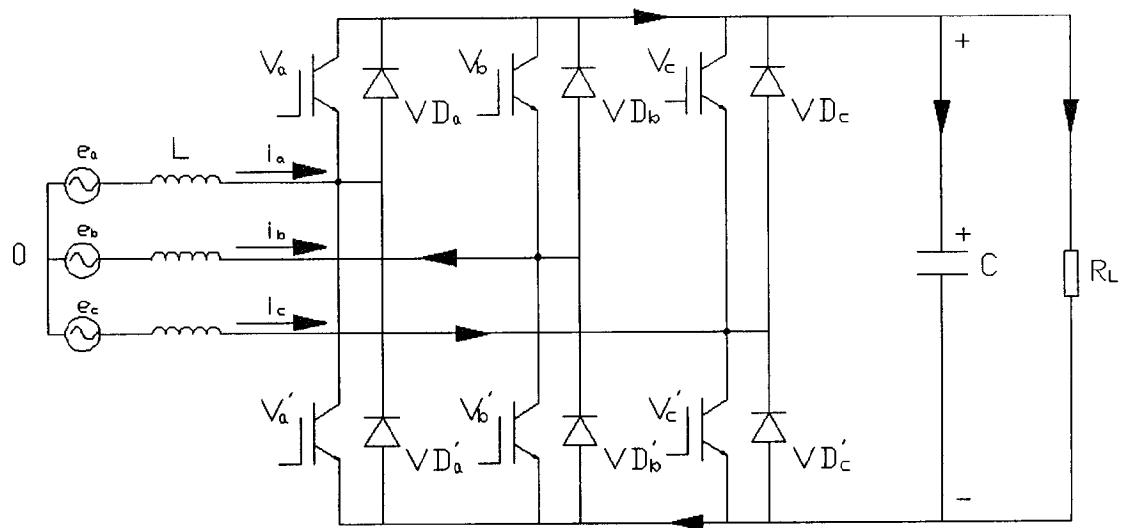


图 4

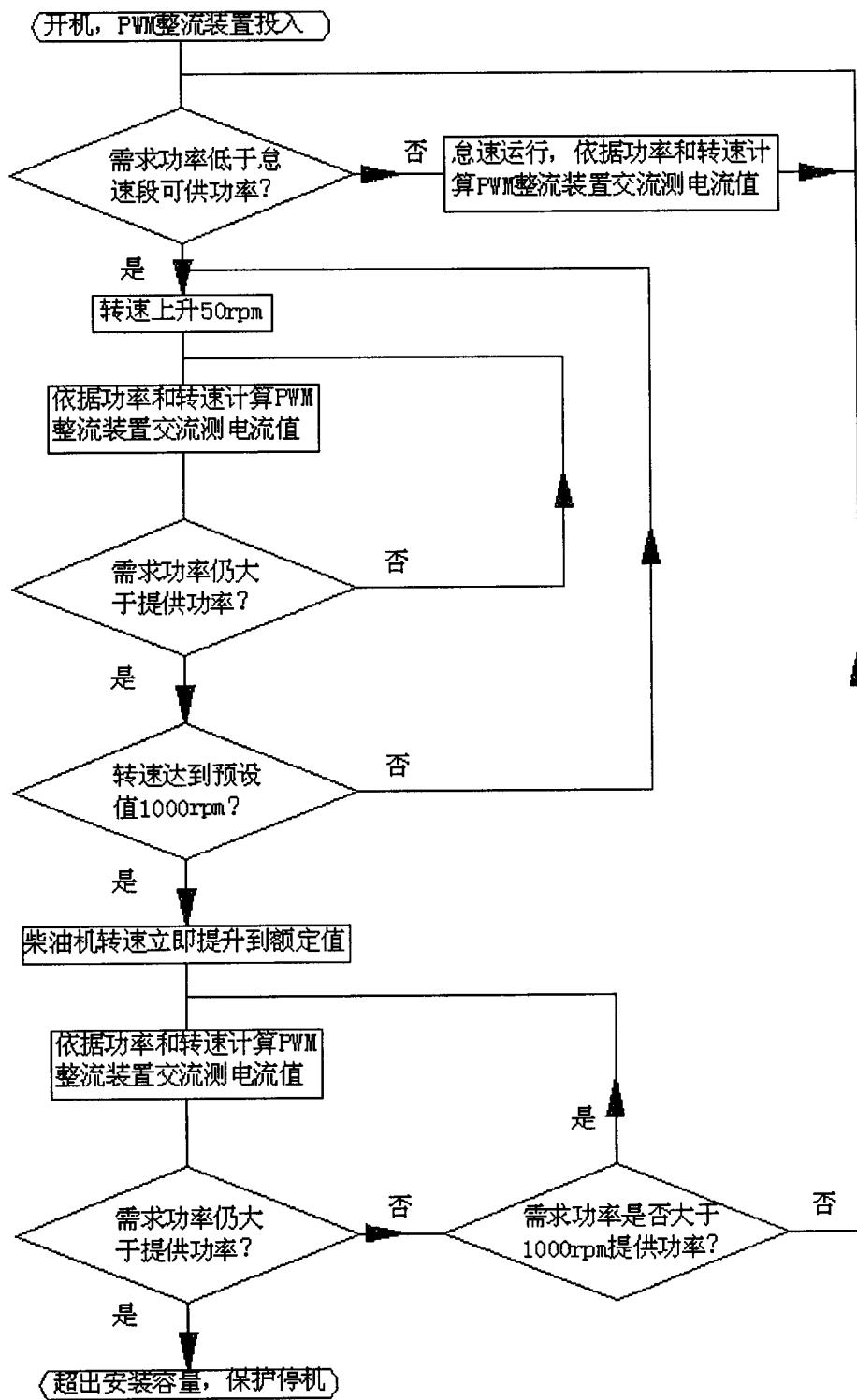


图 5

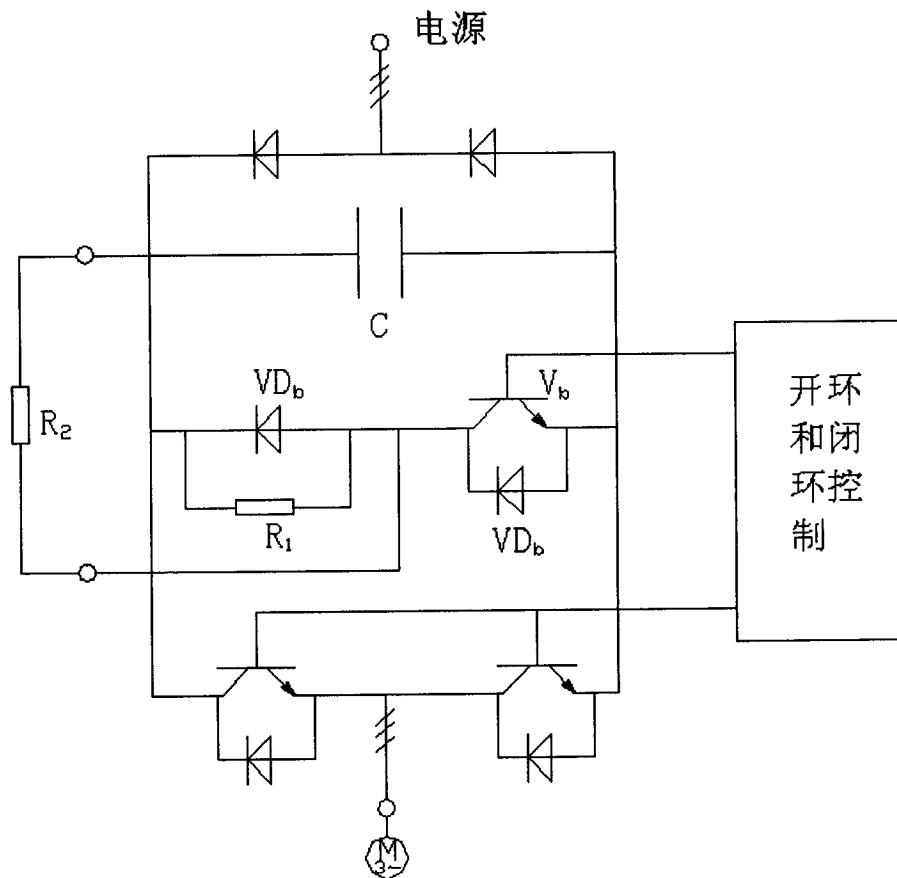


图 6