

防止动态电压恢复器频繁切换电路的设计与研制

谢 磊¹ 刘清亮² 王洪海³ 陈 杰³

(1. 潍柴重机股份有限公司 2. 潍柴动力股份有限公司 3. 山东华天电气有限公司)

摘要：动态电压恢复器 (Dynamic Voltage Restorer, DVR) 主要由超容、逆变器、静态开关 (STS)、控制单元组成。当电网电压发生暂降、中断、上升等问题时, 设备在很短的时间起到一个短时提供电能的作用。当电网电压异常, 逆变器启动时, 逆变电压会通过静态开关内部晶闸管吸收电容传导到电压采样点, 导致 DVR 控制器误判电网电压为正常, 执行电网电压正常操作。因此, DVR 会频繁动作。在电压采样点并联电阻分压可以解决上述问题, 但电阻增加了设备损耗, 没有达到理想效果。针对现有技术的不足, 设计防止 DVR 频繁切换的电路及控制方法, 避免 DVR 频繁切换。

关键词：动态电压恢复器 DVR ; 静态开关 ; 逆变器 ; 电压暂降 ; 阻容支路

0 引言

近年来, 随着高新科技的不断发展, 供电质量 (主要指电压质量) 与工业生产、IT、通信、医疗等行业, 以及人们的生活联系日益密切。因此, 由电压暂降造成的影响和危害日益严重。电压暂降给各行业带来了严重的经济损失, 甚至会造成极坏的社会负面影响, 已成为困扰供电企业和电力用户的严重电能质量问题。

1 背景需求

动态电压恢复器是一种新型的电力电子装置, 串联于电源和敏感负载之间, 主要由超容、逆变器、静态开关 (STS)、控制单元组成。当电网电压发生暂降、中断、上升等问题时, 动态电压恢复器会立即切断输入侧电源, 同时从装置自带的储能器件中吸取所需的能量, 通过三相桥式逆变电路系统产生一个与电

网电压幅值、相位均相同的电压供给负荷, 输出电压无缝链接达到额定值, 能在很短的时间起到一个短时提供电能的作用, 保障负载在短时间内的正常工作。动态电压恢复器响应速度通常为 2ms, 满足精密数控机床等设备的需求。装置主回路原理图如图 1 所示。

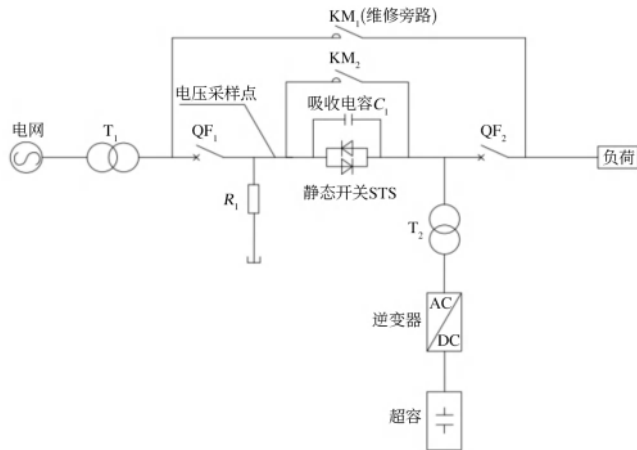


图 1 动态电压恢复器主回路原理图

动态电压恢复器实时采样电网电压，当电网电压正常时，执行相应操作：启动静态开关 STS，关闭逆变器；当动态电压恢复器控制器判断电网电压发生暂降、中断、上升等问题时，执行相应操作：关闭静态开关 STS，启动逆变器。由于静态开关 STS 内部晶闸管存在吸收电容，因此，当电网电压异常时，动态电压恢复器切除静态开关启动逆变器时，逆变电压通过 STS 内部晶闸管吸收电容传导到电压采样点，从而导致动态电压恢复器误判电网电压为正常，执行电网电压正常操作：启动静态开关 STS，关闭逆变器。此时，动态电压恢复器又检测到电网电压异常，这时动态电压恢复器又执行电网电压异常操作：关闭静态开关 STS，启动逆变器……，因此，动态电压恢复器会频繁动作，导致负载不能正常工作。虽然设备厂家采用在电压采样点并联大功率电阻分压的方式解决上述问题，但由于大功率电阻并联在电网上增加了设备损耗，并没有达到理想效果。

2 防止 DVR 频繁切换电路的研制

针对上述问题及现有技术存在的不足，本文提出一种防止动态电压恢复器频繁切换的电路及控制方法。通过在动态电压恢复器电压采样点并联阻容支路，并通过晶闸管控制阻容支路投入、切除。当电网电压正常时，动态电压恢复器切除阻容支路晶闸管，此时阻容支路不消耗电网能量；当电网电压异常时，动态电压恢复器投入阻容支路晶闸管，阻容支路与静态开关内部晶闸管吸收电容串联分压，使电压采样点电压低于某一阈值（正常电压 80%），此时动态电压恢复器判断电网电压异常，执行相应操作，避免动态电压恢复器频繁切换。

2.1 阻容支路设计

如图 2 所示，阻容支路由电容、电阻、晶闸管组成。当电网电压异常时，动态电压恢复器控制器投

入阻容支路晶闸管，阻容支路与静态开关内部晶闸管吸收电容串联分压。此时电压采样点的电压为：

$$U' = \frac{X_{c2}}{X_{c1} + X_{c2}} \cdot U = \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2}} \cdot U = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot U \quad (1)$$

式中， ω 为基波角频率； X_{c1} 为 C_1 容抗； X_{c2} 为 C_2 容抗； C_1 为电容 C_1 的容值； C_2 为电容 C_2 的容值； U 为变压器 T_2 输出端电压。

$$\frac{U'}{U} \leq 80\% \quad (2)$$

式中，80% 小于动态电压恢复器低电压保护阈值。

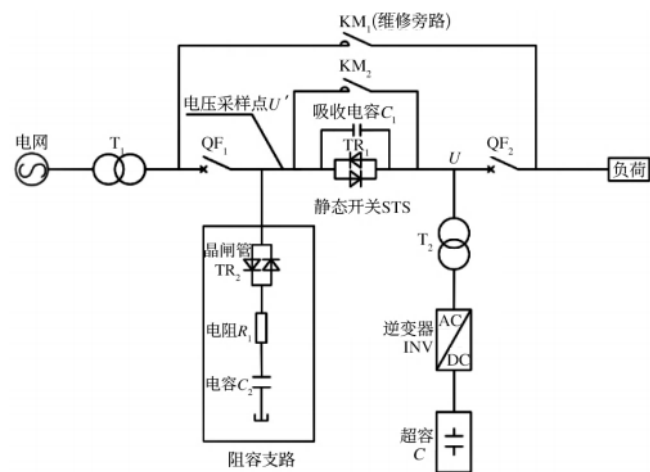


图 2 防止 DVR 频繁切换电路原理图

由式（1）和式（2）可以得出：

$$\frac{C_1}{C_1 + C_2} \leq \frac{4}{5} \quad (3)$$

由式（3）和式（2）可以得出：

$$C_2 \geq \frac{1}{4} C_1 \quad (4)$$

即电容器 C_2 的容值选取要大于电容器 C_1 的容值的 1/4。由于静态开关内部晶闸管吸收电容 C_1 参数已知，可以计算出电容器 C_2 的容值。

2.2 阻尼支路控制方法

如图 2 所示, 动态电压恢复器控制器实时计算电压采样点电压, 当电网电压正常时, 晶闸管 TR_1 投入, 晶闸管 TR_2 切除, 此时静态开关 STS 启动、逆变器关闭、阻容支路脱离电网; 当电网电压异常时, 晶闸管 TR_2 投入, 晶闸管 TR_1 切除, 此时静态开关 STS 关闭、逆变器启动、阻容支路接入电网, 阻容支路与静态开关内部晶闸管 TR_1 吸收电容串联分压, 使采样点电压低于设定阈值, 从而稳定判断电网掉电状态, 防止发生误判。控制方法见图 3。

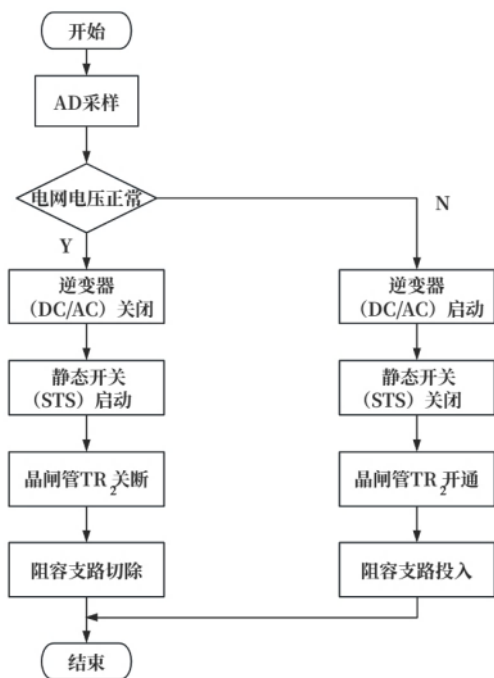


图 3 阻容支路控制方法

2.3 应用实例

动态电压恢复器加装阻容支路后, 目前已成功应用在墨西哥某饮料灌装和膨化食品加工厂 (见图 4)。



图 4 现场装置图

经过现场停电模拟试验, 动态电压恢复器可以达到理想的电压异常补偿效果。图 5~ 图 6 是现场模拟测试波形。

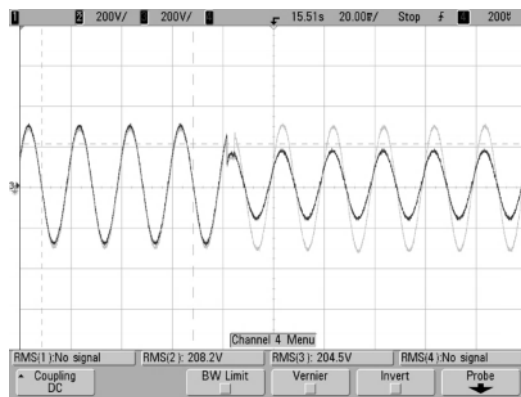


图 5 电压跌落补偿过程

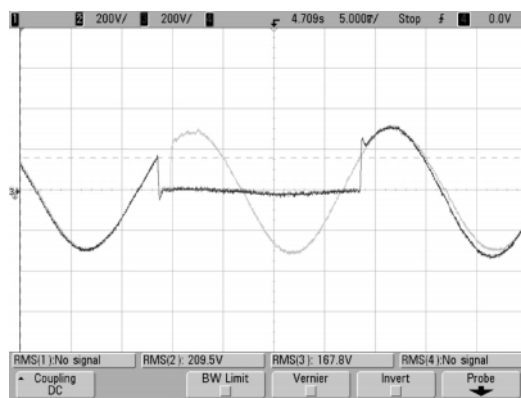


图 6 电压短时中断补偿过程

如图 5 所示，当电网电压处于稳定状态时，逆变器处于热后备状态，保持与电网电压同步，以便在电网扰动时立即动作。当电网电压发生跌落时，装置会立即切断输入侧电源，同时从装置自带的储能器件中吸取所需的能量，通过三相桥式逆变电路系统产生一个与电网电压幅值、相位均相同的电压供给负荷，输出电压无缝链接达到额定值，不中断负载供电，保障设备稳定运行。无论是单相、两相还是三相跌落，甚至跌落至 0%，均可治理，为负载提供合格的电能，保证负荷安全可靠运行。

如图 6 所示，当电网电压发生短时中断时，动态电压恢复器会立即切断输入侧电源，同时从装置自带的储能器件中吸取所需的能量，通过三相桥式逆变电路系统产生一个与电网电压幅值、相位均相同的电压供给负荷，输出电压无缝链接达到额定值，不中断负载供电，保障设备稳定运行。当电网电压恢复正常时，动态电压恢复器会将装置输出的电压波形与电网波形进行同步，同步完成后重新导通 STS，继续由电网向负载供电。

根据企业电压暂降频次预计每年可为用户减少经济损失 40 余万元。

3 结束语

针对现有动态电压恢复器系统存在的不足，提出一种防止动态电压恢复器频繁切换的电路及控制方法，介绍了电路结构、器件选取、工作原理及现场应用情况。动态电压恢复器采用阻容支路与通过静态开关 STS 内部晶闸管吸收电容传导到电压采样点逆变电压分压，使采样点电压低于某一阈值（正常电压

80%），从而稳定判断电网电压异常，防止动态电压恢复器控制器误判。当电网电压正常时，阻容支路离网；当电网电压异常时，阻容支路并网。晶闸管控制阻容支路，器件功率小、损耗小，节约电能。现阶段广泛采用的电压采样点并联大功率电阻的方法损耗大，发热量大。由于电网电压正常时，阻容支路晶闸管切除，阻容支路与电网脱离，因此，阻容支路器件功率可以适当减小。设备加装阻容支路后，现场运行状况稳定，取得了良好的经济效益。

参考文献

[1] 程丽艳，何天鹏，刘红飞. 200kVA 动态电压恢复器的研制与应用 [J]. 电器工业，2024（5）：61-65，70.

[2] 曾进辉，宋志杰，兰征，等. 基于综合能量最优补偿的动态电压恢复器 [J]. 电测与仪表，2021，58（3）：105-111.

[3] 唐志林. 动态电压恢复器在医药行业中的运用 [J]. 中国新技术新产品，2020（6）：72-73.

[4] 周珊. 动态电压恢复器的拓扑结构研究 [J]. 科学技术创新，2017（35）：5-6.

[5] 罗洪，刘琢华，刘杰. 动态电压恢复器在石油化工行业的应用 [J]. 电气时代，2021（10）：31-33.

（收稿日期：2024-09-24）