

浅谈场桥大车停车方式的改进

蛇口集装箱码头有限公司 李义刚

前言：场桥也称轮胎吊起重机简称 RTG (Rubber-Tyred Gantry Crane)，是布置在堆场内，可沿堆场车道方向和场区间移动，用于集装箱装卸的起重机械，用柴油发动机提供动力。E-RTG 功能同轮胎吊，由 RTG “油改电”改造而来，采用市电提供动力。自 RTG 改造为 E-RTG 以来，虽然取得了良好的节能环保效果，但也带来了一些新的问题，其中场桥大车刹车片的损耗急剧增长就是问题之一。

摘要：就“油改电”后场桥日常使用及发动机与市电切换转场等工况对大车刹车产生的影响进行分析，并针对产生的影响提出相应的解决方案。

关键词：E-RTG 油改电 大车刹车 斜坡制动

1. 问题综述

自 RTG “油改电”以来，场桥 1075 项目和 1131 项目的设备在使用过程当中经常出现以下问题：

- (1) 大车在进堆场过程中经常报大车刹车故障，故障可复位；
- (2) 大车刹车片易磨损，2010 度更换大车刹车片 39 片，是 2010 年前 3 年消耗量的总和；
- (3) 大车刹车线圈偶尔出现烧坏，且该故障对生产影响较大。

2. 故障检查与分析

针对上述情况，通过对该批次场桥的全面检查和故障分析，初步判定故障主要由以下几个方面的原因造成：

- (一) 堆场的箱量分配较分散，场桥大车行走次数增加，大车刹车频繁开启，大车刹车片的磨损也相对加快；
- (二) 设备经过“油改电”节能改造，针对大车行走的要求有所提高。场桥“油改电”后，其大车行走被限制在规定的跑道范围内，当出现大车跑偏时，大车刹车即刻动作以保障设备及箱区安全。而大车急速停车过程中，惯性较大，轮胎的缓冲作用造成设备左右往复晃动，从而使得大车刹车片受力往复磨擦；
- (三) “油改电”后的电场桥采用市电供电与发电机供电自动转换技术，在过场时需要在堆场的对位区使大车可靠停车，大车行驶至该区域时传感信号促使大车刹车动作以确保可靠停车，大车刹车动作后驱动系统才停止工作，此时大车行驶速度可高达 12m/min，因惯性而产生的冲击会加速大车刹车片磨损和造成刹车反馈信号故障。同时，刹车片磨损使得刹车盘与刹车片的间距变大，从而出现因刹车线圈产生的磁力不能吸合刹车盘，刹车线圈产生的闭合回路磁力线变弱，导致刹车线圈形成涡流，并因此造成刹车线圈温度升高而损坏。

3. 大车停车方式的改进

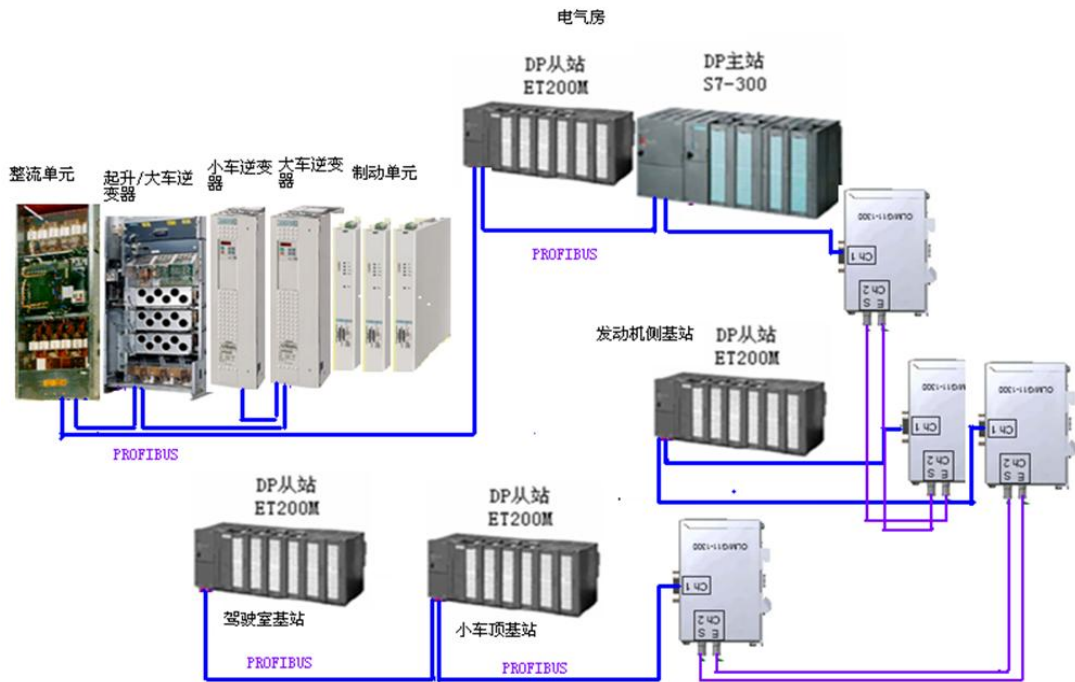
场桥采用机械制动的方式实现大车停车，而机械制动的缺点是制动惯性较大的负载时会出现爬行现象，且对机械的冲击较大。该两个批次的设备均采用可编程控制技术 (PLC) 和

变频器技术，利用现有的控制装置通过改变 PLC 程序的逻辑来控制大车停车方式，实现动力制动与机械制动结合的大车制动功能。

3.1 场桥大车制动机构简介

3.1.1 场桥大车控制系统

设备由西门子 CP315-2DP/PLC、6SE70 系列整流器，6SE70 系列逆变器、PROFIBUS-DP 通讯线路等组成控制系统。如图一所示：



图一

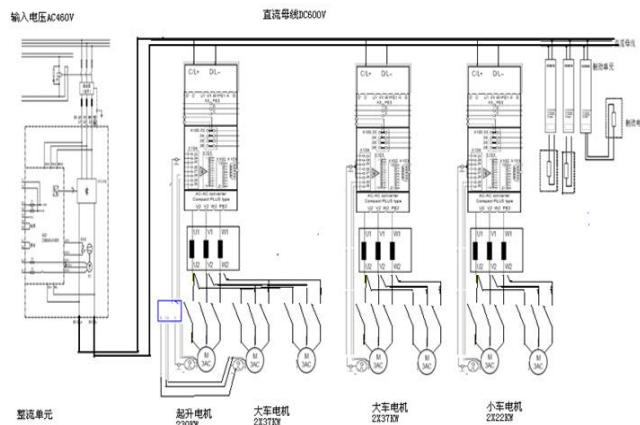
场桥的主要机构分为起升、小车、大车，各机构采用无级变速驱动。速度给定通过驾驶室各机构主令手柄的光电绝对值计数器输入到可编程控制器 PLC，可编程控制器 PLC 根据程序的逻辑运算传到逆变器的输入主给定，逆变器输入主给定信号通过内部的累加器进行运算输出驱动电机。各机构运行的实际速度通过安装各机构电机轴上的脉冲发生器测出。脉冲发生器信号输入到逆变器累加器进行与输入主给定运算，形成闭环控制。

3.1.2 大车行走机构

大车行走机构主要由电气房侧与发动机侧各两台 21KW 的电机与减速箱牵引，大车的驱动由两台逆变器各带动两台电机，其中电气房侧大车电机与起升电机共用一台逆变器，它们之间通过逆变器内部参数和变频器输出经过接触器转换，实现大车电机与起升电机切换。逆变器输入电源由一台整流单元整流出直流电源 600V 电压供电。此方案有如下优点：

- 1) 当多台电机同时工作，有的处于电动状态，有的处于制动状态时，处于电动状态的与处于制动状态的逆变单元可通过直流母线交换能量，从而减少整流单元、逆变单元或制动单元的容量。
- 2) 多台逆变单元共用一台整流单元，共用一组制动单元，可节省设备投资和安装空间。驱

动系统组成见图二所示：



图二

3) 大车行走最大速度为 120m/min，堆场的对位区校准位置窄，当大车最大速度行走在该区域时，采用机械制动，大车停车的惯性较大，准确停车可靠性差，也不利于司机操作。对此在堆场对位区及换电区域的内堆场设置大车减速区，大车减速区为 7 米，减速区以 12m/min 速度行走，行使到换电区及对位区时采用逆变器斜坡制动，逆变器斜坡制动后机械制动动作，这时场桥在停止状态大车刹车动作，防止大车刹车片受力摩擦。

3.1.3 大车停车方式分析

该批次设备大车行走状态由大车控制字 1 的后四位决定，而大车停车方式由大车控制字的后三位决定，既控制字 0、控制字 1、控制字 2，分别对应逆变器的 OFF1, OFF2, OFF3, 它们所对应的大车停车方式如下表：

值 \ 字	OFF1	OFF2	OFF3	停车方式
字	0	1	1	自由停车
段	0	0	0	紧急停车
取	1	1	0	快速停车
值	1	1	1	行走状态

注：当 OFF2 为 0 以后，OFF1 和 OFF3 也会被立即置 0。

三种停车方式分析如下：

- 1) 自由停车。当主令手柄松开时，PLC 控制逆变器控制字 0 位为 0，启动逆变器 OFF1，驱动器处于待机状态，大车慢速停车，当大车停止后机械制动动作。这种停车方式对刹车片的磨损是非常小的，不会造成额外的损耗。
- 2) 快速停车。大车的防撞保护动作，PLC 控制逆变器控制字 2 位为 0，启动驱动器 OFF3，驱动器利用斜坡制动方式使大车电机实现快速停车，当大车电机停止后，刹车盘与刹车片才抱死。这种停车方式对刹车盘片的影响也是很小的。
- 3) 紧急停车。当设备出现故障或紧停开关被按下，PLC 控制逆变器控制字 1 位为 0，启动逆变器 OFF2，逆变器处于封锁状态，大车机械制动立即动作使大车停车。由于场桥设备自重较大，这么大的惯性在紧急停车的情况下会全部加在四个刹车盘片上，对大车刹车片的损耗是非常大的。

综合对上述三种刹车方式的分析，可知场桥“油改电”后由于频繁紧急停车，导致大车片损耗加剧。

3.2 改进方案分析

3.2.1 改进分析

根据逆变器控制字各位的功能，改变逆变器的控制字可实现斜坡制动，大车对位停车的需求。PLC 与逆变器之间采用 PROFIBUS-DP 通讯方式，大车电机的驱动系统为两组，分别为电气房侧与发动机侧，通信地址为电气房侧逆变器 14 号从站，发动机侧逆变器 13 号从站。

Address	Variable Name	Data Type	Initial Value	Comment
148.0	CONV2_READ_PZDW	INT	0	=20-G31 tr read angle position to fc
150.0	CONV2_READ_PZDW	INT	0	=20-G31 tr spare
152.0	CONV2_READ_PZDW	INT	0	=20-G31 tr spare
154.0	CONV2_READ_PZDW	INT	0	=20-G31 tr spare
156.0	CONV2_READ_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G31 tr Fault SFC 14
158.0	CONV2_READ_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G31 tr spare
160.0	CONV3_WRITE_PKW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga
162.0	CONV3_WRITE_PKW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga
164.0	CONV3_WRITE_PKW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga
166.0	CONV3_WRITE_PKW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga
168.0	SPARE5	WORD	W#16#0	=20-G41 ga
170.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#067F	=20-G41 ga control word 1
172.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga (set point)
174.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga steering set point
176.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga control word 2
178.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare
180.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare
182.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare
184.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare
186.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare
188.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare
190.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare
192.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare
194.0	CONV3_WRITE_PZDW	WORD	W#16#0	=20-G41 ga spare

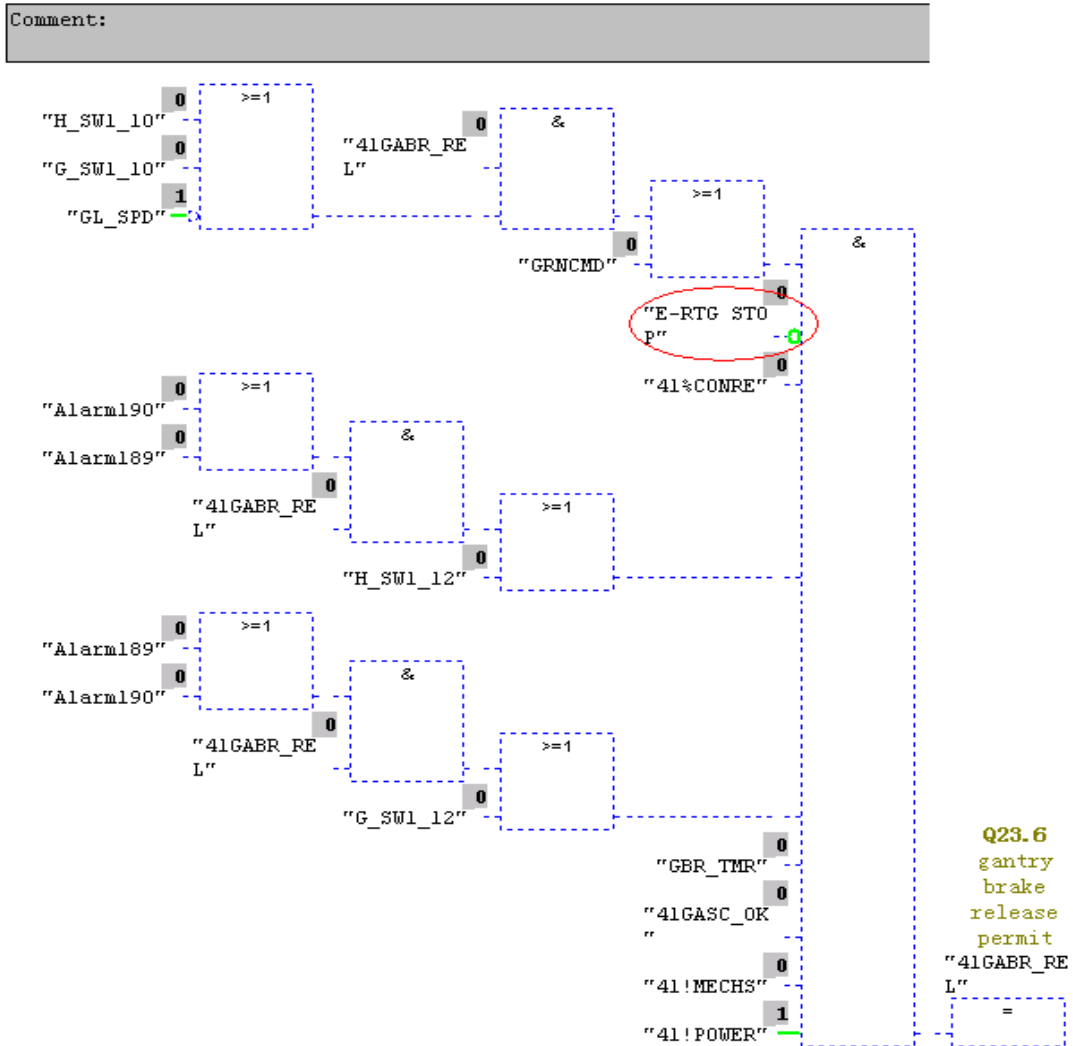
图三

Address	Name	Type	Initial value	Actual value	Comment
0.0	HG_SEND_PKWW01	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga
2.0	HG_SEND_PKWW02	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga
4.0	HG_SEND_PKWW03	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga
6.0	HG_SEND_PKWW04	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga
8.0	SPARE1	WORD	W#16#0	W#16#0000	
10.0	HG_SEND_PZDW01	WORD	W#16#0	W#16#077F	=20-G21 ho/ga control word 1
12.0	HG_SEND_PZDW02	WORD	W#16#0	W#16#F340	=20-G21 ho/ga main set point
14.0	HG_SEND_PZDW03	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga set point fieldweaking
16.0	HG_SEND_PZDW04	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga control word 2
18.0	HG_SEND_PZDW05	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga spare
20.0	HG_SEND_PZDW06	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga spare
22.0	HG_SEND_PZDW07	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga spare
24.0	HG_SEND_PZDW08	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga spare
26.0	HG_SEND_PZDW09	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga write hoist position to f
28.0	HG_SEND_PZDW10	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga write angle of position t
30.0	HG_SEND_PZDW11	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga spare
32.0	HG_SEND_PZDW12	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga spare
34.0	HG_SEND_PZDW13	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga spare
36.0	HG_SEND_PZDW14	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga Fault SFC 15
38.0	HG_SEND_PZDW15	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga spare
40.0	HG_READ_PKWW01	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga
42.0	HG_READ_PKWW02	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga
44.0	HG_READ_PKWW03	WORD	W#16#0	W#16#0000	=20-G21 ho/ga

图四

图三中所标识为大车变频器控制字 1，其取值的低四位为大车行走状态，当四位全为 1 的时候，大车变频器为正常驱动状态。如图所见十六进制低位为 F。图四为起升大车共用变频器的控制字 1，取值方式与图三相同，所以第四位也为 F，大车为行走状态。

Network 8: Gantry brake command.



图五

注：E-RTGSTOP—换电区检测信号，对位区信号，大车走偏激光信号。

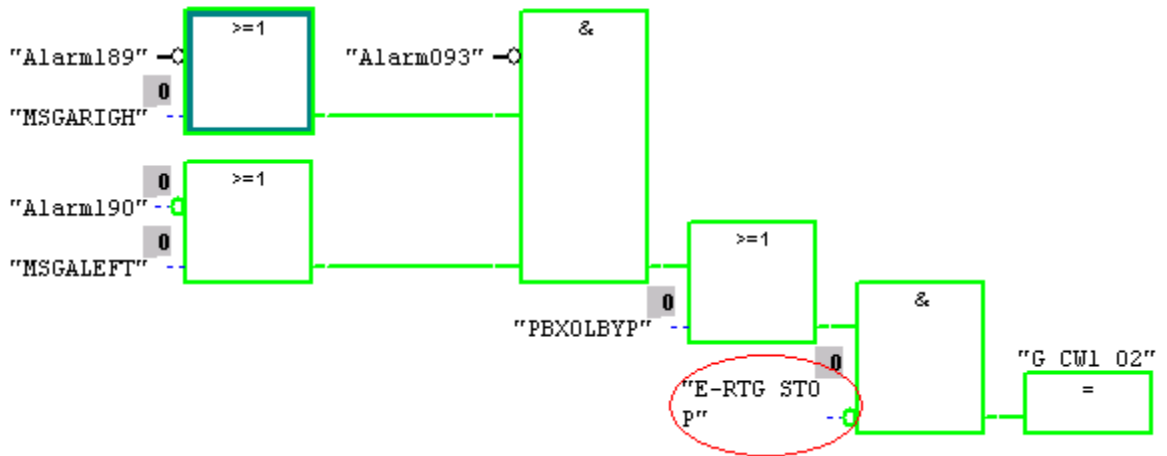
当原程序中 E-RTG STOP 被直接送给刹车抱死程序段，当 E-RTG STOP 信号激发，不给变频器任何反应时间，刹车立即抱死。这会对刹车片造成极大的损伤。

3.2.2 改进方案

将大车行走的保护信号、换电区信号及对位区信号接入 PLC 的 I/O 接口中，程序的逻辑写入 M225.2 上，当 M225.2 为 1，14 号从站及 13 号从站的控制字 2 为 0，启动逆变器的 OFF3 快速度停车，逆变器输出制动力矩使大车电机快速度停车，电机的反相电动势通过逆变器回馈到制动单元消耗，实现斜坡制动功能。当场桥大车行使到换电区和对位区时，实现准确对位，避免了机械制动给设备带来的惯性冲击，进而避免了由此导致的大车刹车片磨损。

Network 10: Gantry fast stop command.

Comment:

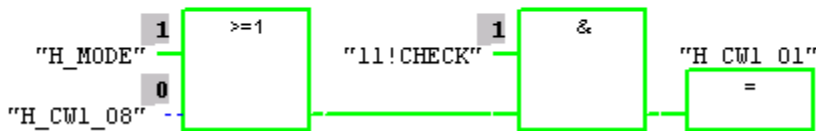


图六

在改进程序中，把 E-RTG STOP 点从 Gantry brake commandx 程序段中去除，在控制大车快速停车的程序段加入 E-RTG STOP 点，则当 E-RTG STOP 信号被激发后，大车改为快速停车，而不是像以前那样直接机械抱死。

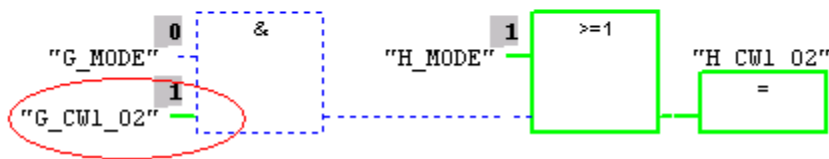
Network 12: output no off2 converter

Comment:



Network 13: Hoist / gantry fast stop mode.

Comment:



图七

大车有两组驱动，其中一组的驱动变频器是与起升共用的，所以要确认此变频器同一时间只能有一种状态，即作为起升变频器或作为大车变频器。所以在 Hoist/gantry fast stop mode 程序段加入图示 G_CW1_02 点。

4 改进效果分析

4.1 改进前后刹车片损耗比较

改进以前大车刹车片有时会出现严重损坏情况，可以一次性使其报废。而且这种

情况在“油改电”项目以后，出现数量剧增，具体数据可见图八的统计。



图八

在“油改电”项目以前刹车片的损耗也基本是磨损的累积使刹车片变薄，导致刹车间隙过大而报废的。而且这种磨损累积的周期也是相当长的。

在“油改电”项目以后，一方面，这种常规磨损的速度变快，导致刹车间隙更容易变大。另一方面，有时会突然出现像图八所示那样的非常规磨损，是刹车片立即报废，这种情况都会出现在作业现场，会直接严重影响作业生产。

4.2 改进前后驱动器的波形比较

1. 机械制动模式下的驱动器波形图



2#红色线：该线性为对位信号。

1#蓝色线：该线性为大车刹车反馈信号，对位灯亮时，刹车立刻抱死。

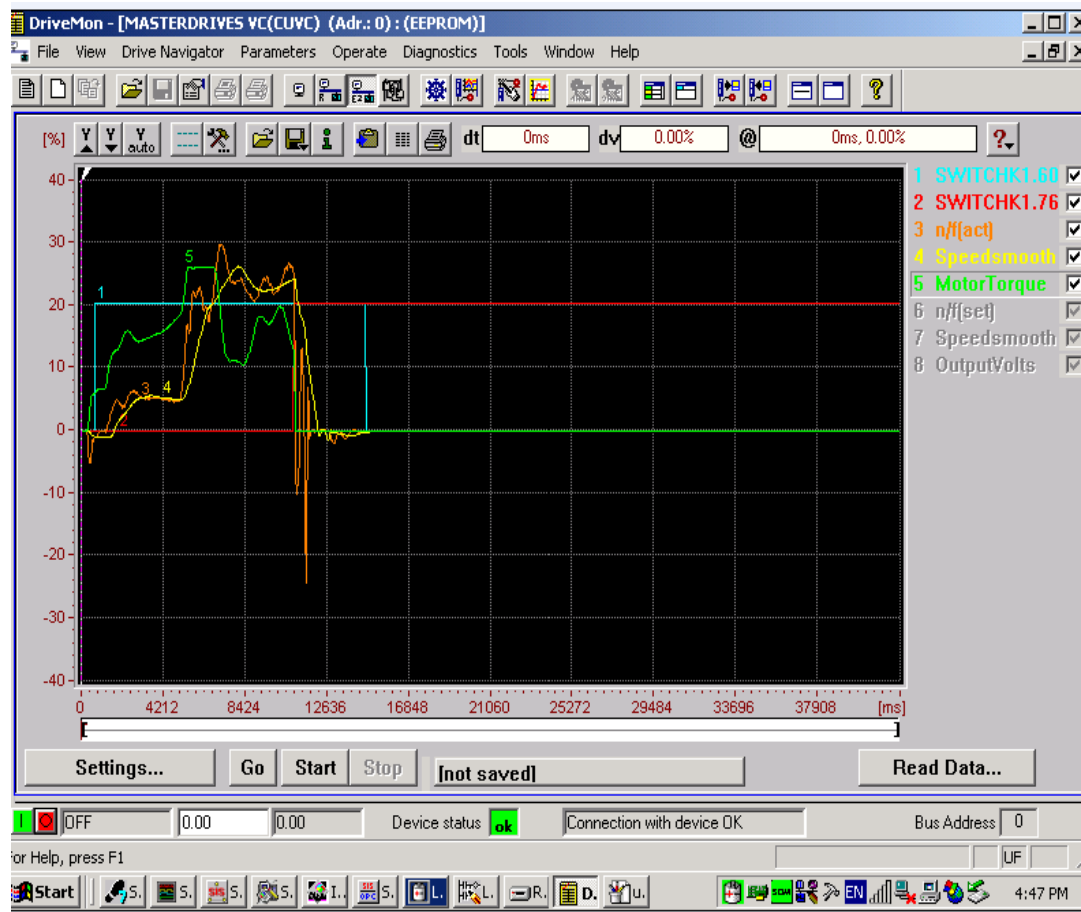
4#黄色线：对位灯亮时，刹车抱死其间，实际速度慢慢降下来，大车刹车带负载抱闸。

3#棕色线：对位灯亮时，刹车抱死其间，主给定信号发生跳动，原因为大车在该区域，大车

给定信号受刹车信号影响，不能立刻为 0。

5#绿色线：对位灯亮时，刹车抱死其间逆变器减速时间未到，逆变器输出力矩较大。

2、动力制动模式下驱动器的波形图



2#红色线：该线性为对位信号。

5#绿色线：对位灯亮时，快速停车（斜坡制动）启动，驱动器输出力矩为 0。

4#黄色线：对位灯亮时，快速停车（斜坡制动）启动。实际速度降下较快，波形可看出较陡。

3#棕色线：对位灯亮时，快速停车（斜坡制动）启动，大车给定信号为 0。

1#蓝色线：该线性为大车刹车反馈信号对位灯亮时，快速停车（斜坡制动）启动完成后，大车停止状态大车刹车才抱死。避免了刹车片的摩擦。

5 附录

5.1 名词解释

1. 1075 项目和 1131 项目是采用西门子控制系统的，本文只对西门子控制系统的大车刹车。
2. 爬行现象，当大车刹车抱死后，由于场桥本身的巨大惯性，大车不会立即停止，还有行进一小段距离。
3. 斜坡制动，把大车驱动电机由电动机状态变为发电机状态，把动能转化为电能，通过制动单元在能耗电阻上消耗掉。