

# 小型高效率牵引逆变器的开发

稻荷田 聪 等 (日)

**【摘要】** 介绍一种无吸收电路逆变器,简述这种逆变器的优点、开发中需解决的问题和采取的相应措施。

**关键词:** 无吸收电路 逆变器 IGBT 措施

## 1 前言

随着 IGBT 元件耐压的提高,在铁道机车车辆牵引传动装置中采用 IGBT 逆变器已成主流。3 300 V IGBT 元件的开发使得网压为 1 500 V 的车辆主电路也可以使用二点式逆变器,而且正在走向实用化。

为了进一步减少车辆逆变器的部件以减小体积和重量,提高逆变器的可靠性和效率,我们使用 3 300 V、1 200 A 的 IGBT 模块开发了用于 1 500 V 网压下的无吸收电路的二点式逆变器。

## 2 无吸收电路逆变器

### 2.1 主电路构成及无吸收电路逆变器的课题

新开发的二点式逆变器主电路构成示于图1,表1则分别给出了为实现完全无吸收电路而需要解决的课题及相应的技术措施。

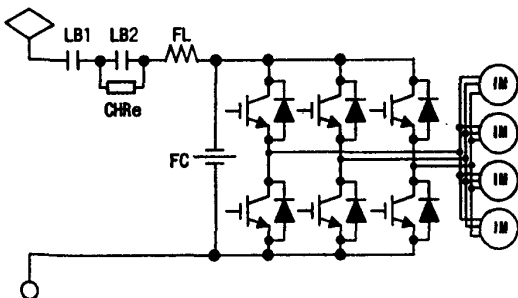


图1 主电路构成

### 2.2 母排的优化设计

要去掉逆变器的吸收电路就必须把电流关断时的跳升电压抑制在元件的耐压以下。为此必须减小主电

路电感。而且,为了抑制逆变器的发热,提高逆变器的效率,还必须减小母排和 IGBT 元件内部的局部发热。

表1 无吸收电路的逆变器的课题

课 题	相应技术措施
1 抑制电流关断时电压的跳升	减小主电路电感
2 电流集中使母排局部发热、应力集中和 IGBT 元件内部的局部发热	优化电感的分布 (母排电流均流)
3 快速开关引起的感应干扰对电机绝缘的影响	采用软门极驱动 抑制 dv/dt

为了解决这些课题,我们使用电流分布仿真器,对母排三维形状进行了电流分布和寄生电感的分析,从而对母排形状作了优化设计。

电流分布仿真器的分析结果见图2。由此使电感的分布得到了优化,而且电感很小;电流分布和元件端子的电流都很均匀。

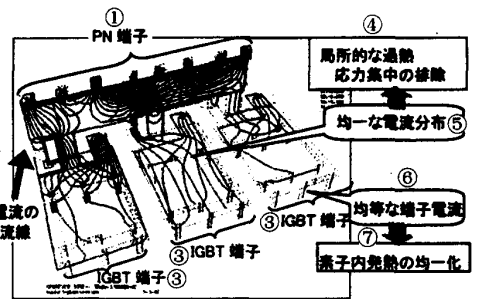


图2 采用电流分布仿真器对母排电流分布进行仿真的结果

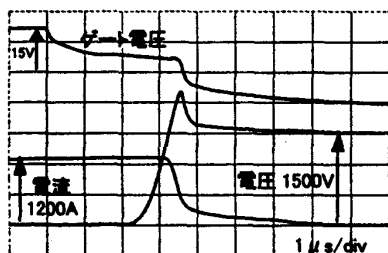
①PN 端子;②电流的流迹;③IGBT 端子;④消除局部过热和应力集中;⑤均匀的电流分布;⑥均等的端子电流;⑦使元件内部发热均匀

### 2.3 门极软驱动

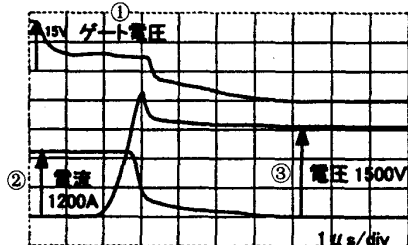
在无吸收电路的逆变器中,由于主电路电感小、又没有吸收电路,因此,IGBT 开关时输出电压的变化

(dv/dt)很陡。陡的 dv/dt 会引起感应干扰,损坏牵引电动机的绝缘。加大门极电阻,减缓 IGBT 的开关速度,可以减缓 dv/dt 的变化,但仅加大门极电阻则会增加开关损耗,导致逆变器的效率降低。因此,采用了根据 IGBT 工作状态来控制门极电流的软驱动方式。该方式只在输出电压变化很陡的期间,等效加大门极电阻;在输出电压变化很小的期间则等效减小门极电阻,从而不使开关损耗增加,又可抑制 dv/dt。

这种软驱动 IGBT 的开关波形示于图3。由图可以确认它既能抑制开关损耗的增加又能抑制开关时电压的陡变。这样,再加上主电路电感的减小,使这种逆变器的 dv/dt 可与过去采用  $\Delta$  型吸收电路的逆变器相同,开关损耗还减小了8%(换算成元件温升)。



(a) 旧式门极驱动



(b) 软门极驱动

图3 采用软门极驱动电路时的开关波形

①门极电压;②电流;③电压

### 2.4 短路保护功能

在无吸收电路逆变器中,由于主电路电感很小,因此当开关元件万一短路时,元件的电流会急剧增加,这样有可能严重损坏以开关元件为主的主电路。因此,门极驱动单元带有短路保护功能,可以防止短路时的元件击穿和过电流。图4可以说明短路检测的原理。设门极用发射极端子与主发射极端子之间寄生的 IGBT 内部电感  $L_e$  上产生的电压为  $v$ ,则  $v=L_e \times di_e/dt$ 。通过积分运算可以检测出发射极电流  $i_e$ 。发射极电流  $i_e$  超过基准值时,则判断为短路并强迫关断门极。这样便可

简单而且准确地检测短路电流并进行关断。图5是短路电流的关断波形。由图可知,即使元件万一发生短路,也不会使元件损坏并可关断短路电流。

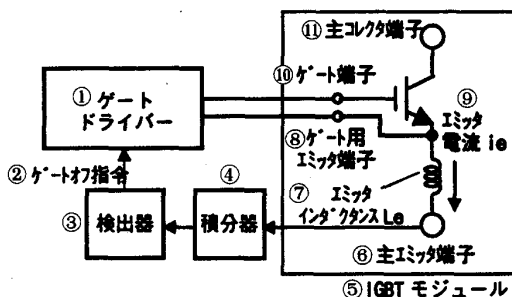


图4 短路电流检测电路

①门极驱动单元;②门极关断指令;③传感器;④积分器;⑤ IGBT 模块;⑥主发射极端子;⑦发射极电感  $L_e$ ;⑧门极用发射极端子;⑨发射极电流  $i_e$ ;⑩门极端子;⑪主集电端子

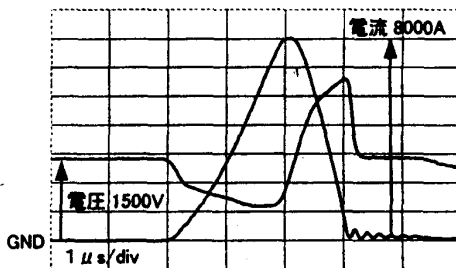


图5 短路保护动作波形

### 2.5 逆变器装置

图6(略)和图7(略)分别是驱动4台185 kW 异步电动机的无吸收电路逆变器的外形和三相一体化结构的功率装置。使用三维 CAD 对逆变器部件的布置和柜体的结构进行了优化。表2对采用  $\Delta$  型吸收电路和分立吸收电路方式与新开发的无吸收电路逆变器的功率装置的重量、部件数量以及元件损耗等作了比较。由于取消吸收电路加上母排的优化,与带  $\Delta$  型吸收电路的逆变器相比,重量约减轻了13%,部件约减少了33%。而且,采用软门极驱动既能把开关时的电压变化抑制在与带  $\Delta$  型吸收电路的逆变器同等水平,又能把元件的损耗减小约8%。

### 2.6 试验结果

与电机一起进行的组合试验结果示于图8。可以看到牵引和再生制动都很稳定。确认能够满足车辆牵引逆变器的基本性能要求。

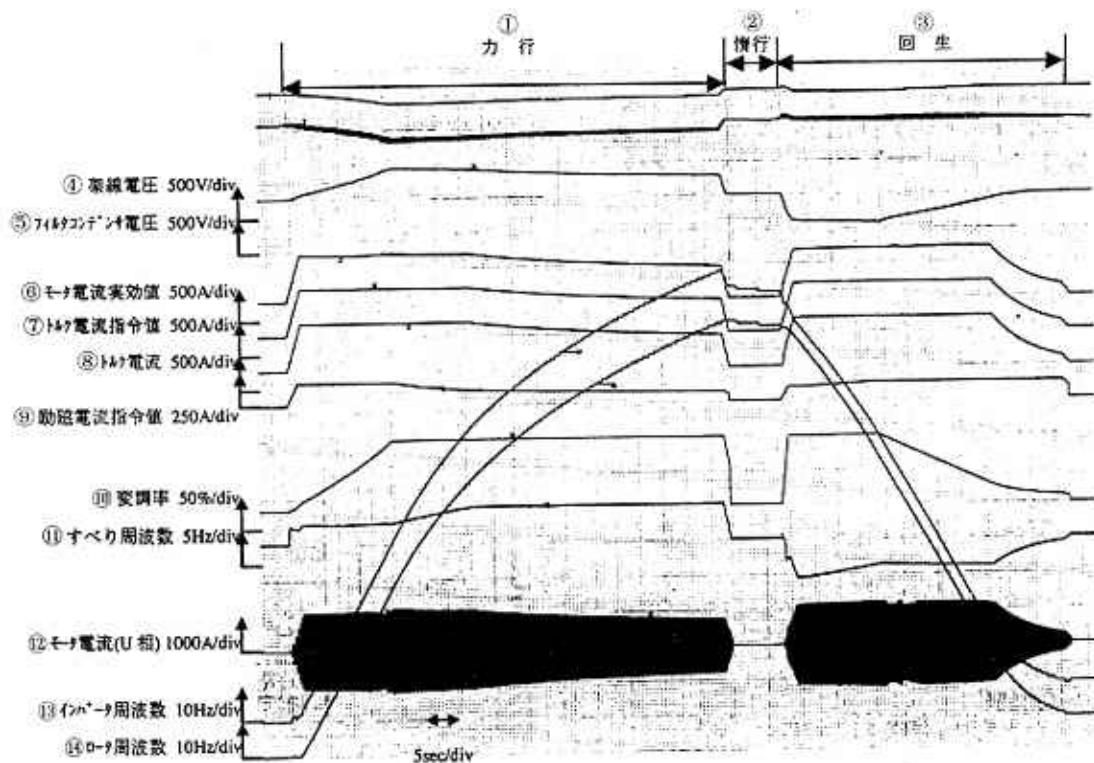


图8 逆变器与电机组组合试验结果

①牵引;②惰行;③再生制动;④网压;⑤滤波电容电压;⑥电机电流有效值;⑦电机电流给定值;⑧转矩电流;⑨励磁电流给定值;⑩调制比;⑪转差频率;⑫电机电流(U相);⑬逆变器频率;⑭转子频率

### 3 结语

为了进一步减少车辆牵引逆变器的部件以减小体积和重量,提高可靠性和效率,我们开发了使用3 300 V、1 200 A IGBT 模块的无吸收电路的二点式逆变器。由于不带吸收电路,加上母排得到优化,使车辆逆变器重量减轻和部件数量减少。而且,采用软门极驱动

使元件的电压变化与带 $\Delta$ 型吸收电路的主电路的相当,同时还可以降低元件的损耗。

(参考文献4篇略)

译自《铁道サイバネ、シンポジウム论文集》,

2000年11月

译者:易厚梅

校者:陈开运

### 日本铁路货运公司订购新车

日本铁路货运公司向 Toshiba 公司订购 EH200型双节式8轴货运电力机车,用以取代 EF64型电力机车在中央线和上越线上运营。该型机车长25 m,宽2.8 m,重量134 t,功率4 520 kW,轴式  $B_0B_0 + B_0B_0$ ,电流制为直流1.5 kV,最高速度为110 km/h。机车能在25%的上坡道上牵引1 100 t的货物列车。首台机车将于2001年5月交付。

谭学斌译自《IRJ》2000, No12

### Talgo 公司推出高速列车样车

作为将用于马德里和巴赫斯洛内之间的新线(以后将延至贝赫比刚、蒙特贝利尔和巴黎)运营的高速列车招标活动中的竞标者之一, Talgo 公司提前6个月推出了它的样车。该样车是一种速度为350 km/h、装备有超轻部件的机车。Talگو 公司声称在2004年前可提供40台该型机车。Alstom、Siemens、Ansaldo和Bombardier等公司也参与了这次竞标。

陈宏译自《R. G. C. F》2000, No9