

电气化铁道牵引供电系统的 无功功率补偿装置的研究

林 秀 海

(电 气 工 程 系)

摘 要

交流电气化铁道采用硅整流电力机车,其功率因数较低,且含有高次谐波成分。本文就采用并联电容补偿装置存在的问题,提出改进措施方案。

一、牵引负荷的特点

交流电气化铁道以硅整流电力机车作为牵引动力,其功率因数较低,且含有高次谐波成分。现有我国电气化铁道采用并联电容补偿装置,这对提高功率因数、压低高次谐波含量、减少牵引网损耗、增大电力系统供电能力和改善电压质量方面,均得到较好的效果。

根据电工理论,要将功率因数 $\cos \varphi_1$ 提高到功率因数 $\cos \varphi_2$,需要无功补偿容量 Q_c ,其计算公式为

$$Q_c = P \left[\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_2} - 1} \right] \text{千乏}$$

式中:

P ——平均负荷有功功率,千瓦

$\cos \varphi_1$ ——牵引供电系统的功率因数

$\cos \varphi_2$ ——电力部门规定的功率因数

并联电容补偿装置串联电抗器,按吸收三次谐波含量考虑,选用 $X_L = 0.13X_c$,为防止高次谐波谐振。现有电气化铁道安装的并联电容装置,大部是分按上列公式进行设计的。由公式得出,并联电容补偿装置的容量 Q_c ,取决于牵引负荷有功功率 P ,牵引负荷 P 是急剧变化的,它随着列车牵引吨数、线路状况,以及供电臂上列车数变化而变化,还由于列车运行不均衡性,尤

本文于1986年12月2日收到

其是在山区单线电气化铁道,牵引变电所空载率达40~50%。而并联电容补偿装置,在电网电压不变的情况下,其补偿功率 Q_c 为常数。因此,在牵引负荷轻时,出现过补偿现象,将引起牵引网电压提高,危及接在牵引母线上的电气设备、接触网和电力机车的绝缘;造成变压器、电容器过电压,增加变压器损耗和降低电容器使用寿命等不良的后果。当牵引负荷重时,将出现欠补偿现象,将使牵引侧母线电压下降,导致补偿装置输出容量下降。而且电力部门对过补偿、和欠补偿都要核收电费,这样经济效益大为降低。

二、补偿方式的改进措施方案

由于牵引负荷剧烈波动,并联电容补偿装置在电网电压不变的情况下,只能产生不变的无功功率 Q_c 。因此,牵引负荷轻载时,出现无功功率过剩(过补偿)现象,当牵引负荷重载时,出现无功功率不足(欠补偿)现象,造成种种不利的后果,为了改变这种情况,采取以下措施。

1、并联电容补偿装置分组投入或切除:

根据牵引负荷变化情况的积累资料,从中找出负荷变化的规律。将负荷分为若干组,与其相对应的补偿装置亦分为若干组。根据供电臂牵引实际负荷,通过继电器投入或切除相应的补偿装置。分组自动投入或切除补偿装置,可根据牵引母线电压的高低,自动投入或切除相应的补偿装置。如当牵引母线电压低到整定值范围时,低压继电器动作,使相应的补偿装置自动投入;当牵引母线电压高于整定值时,低压继电器返回,相对应的补偿装置自动切除。另补偿装置分组自动投入或切除,亦可以由无功功率方向的变化,实现补偿装置的分组自动投入或切除。如当无功功率由电力系统送到用户,方向继电器动作,自动投入相应的补偿装置;反之,当用户倒送无功功率到电力系统,方向继电器动作,自动切除相应补偿装置。

分组自动投入或切除补偿装置,可以减轻过补偿或欠补偿的问题,但不能完全克服过补偿或欠补偿的现象。其优点投资较省,便于对现有补偿装置的改造。其缺点,补偿装置较频繁地投入或切除,产生电容器、电抗器过电流、过电压的现象。

2、可控硅无功功率补偿装置

功率电子技术的发展,可控硅的无功功率补偿装置已在实际中应用。具有控制性能好,经济、维修方便等优点,将得到推广应用。其原理电路图(图一)。

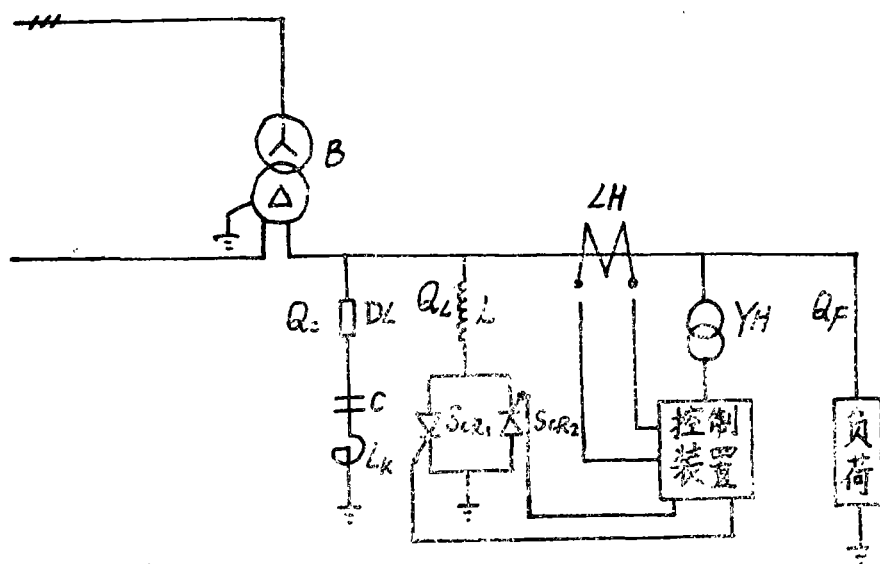
其补偿原理:并联电路补偿装置,按照电力部门规定 $\cos\varphi$,亦即限制的无功功率容量 Q_s ,以最大牵引负荷 P ,计算并联电容补偿装置容量 Q_c ,在电网电压不变的情况下,并联电容补偿装置输送给系统恒定无功功率 Q_c 。当牵引负荷增大时,负荷吸收无功功率 Q_F 亦增大,电抗器 L 经可控硅的控制,吸收无功功率 Q_L 减小;反之,当牵引负荷减小时,负载吸收无功功率 Q_F 减小,而电抗器 L 经可控硅的控制,吸收无功功率 Q_L 增大。因而,无论牵引负荷 Q_F 如何剧烈变化,总是保持

$$Q_F + Q_L = \text{常数}$$

亦保持

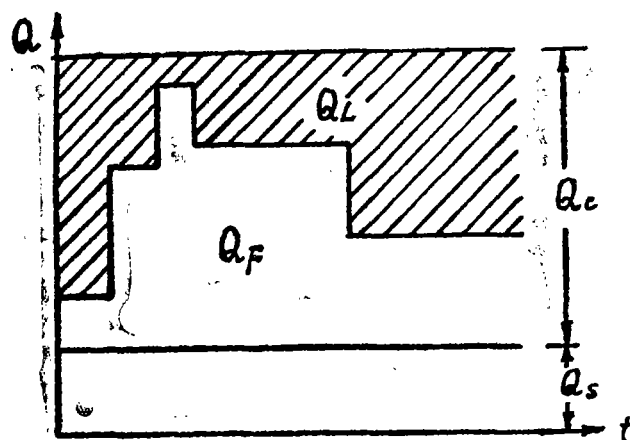
$$Q_s = Q_F + Q_L - Q_c = \text{常数}$$

其变化情况可用图二表示



B——变压器
C— L_K ——并联电容补偿装置
LH——电流互感器
DL——断路器
SCR₁、SCR₂——可控硅
YH——电压互感器

图一 可控硅无功功率补偿装置原理图



图二 无功功率变化示意图

当 Q_F 增大时， Q_L 减小；反之， Q_F 减小而 Q_L 增大，是经“控制装置”控制可控硅导通角 α 的大小而实现的。“控制装置”是用接在牵引变电所的牵引侧电压互感器（YH）和电流互感器（LH）取得牵引负荷变化量，当 Q_F 减小时，“控制装置”使可控硅导通角 α 小，则流过电抗器L的电流增大，因此，电抗器L吸收无功功率 Q_L 增大；反之， Q_F 增大时，导通角 α 加大，因此流过电抗器L的电流减小， Q_L 减小，从而实现不论牵引负荷怎样剧烈的波动，总是满足 $Q_F + Q_L = \text{常数}$ 的关系。

采用可控硅无功功率补偿装置，不论牵引负荷如何变动，不会产生过补偿或欠补偿的问题，保证运行可靠性。其缺点补偿装置容量增大，投资高。

三、结 论

1、补偿装置分组自动投入或切除,可减小过补偿和欠补偿的问题,而且投资少,便于对现有补偿装置的改造,是当前切实可行的补偿方式。

2:可控硅无功功率补偿装置是发展方向,需要进一步研究降低无功功率补偿装置容量,作为牵引负荷的电力机车,若能装上补偿装置,而且考虑吸收高次谐波,将减轻牵引供电系统提高功率因数和压低谐波含量的困难。

参 考 文 献

- 〔1〕 (日本)原力·今泉真一 利用功率电子技术补偿无功功率
电气自动化译从 1982.4.
- 〔2〕袁则富、阎法舜 成渝电气化铁路并联电容补偿设计中问题探讨
电气化铁道动态 1981.1.