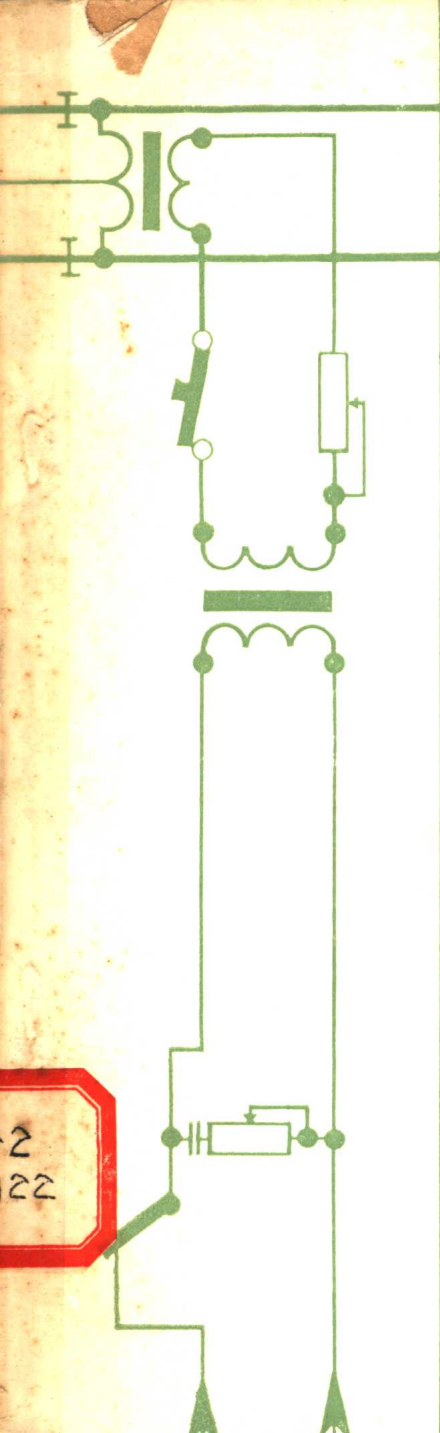




阿·阿·塔雷科夫 著
阿·波拉芝巩诺夫
孙耀文译 孙铭甫 审

25赫相敏轨道电路

中国铁道出版社

25 赫相敏轨道电路

阿·阿·塔雷科夫著
阿·波·拉芝巩诺夫

孙耀文 译

孙铭甫 审

中 国 铁 道 出 版 社

1982年·北京

ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ
РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ 25ГЦ
А. А. ТАЛЫКОВ
А. П. РАЗГОНОВ
《ТРАНСПОРТ》 МОСКВА 1972

25赫相敏轨道电路

[苏] 阿·阿·塔雷科夫 著
阿·波·拉芝诃诺夫

孙耀文 译

孙铭甫 审

中国铁道出版社出版

责任编辑 陈广存

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092★ 印张: 4.5 字数: 98千

1982年12月 第1版 1982年12月 第1次印刷

印数: 0001—3,000册 定价: 0.50元

内 容 简 介

本书第一~五章译自《25赫相敏轨道电路》(ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ 25 ГЦ) (ТРАНСПОРТ), 1972; 第六章选译自《铁路自控和遥控装置器材手册》(АППАРАТУРА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ СПРАВОЧНИК) (ТРАНСПОРТ), 1976。书中介绍了苏联铁路近年来在电化区段逐渐广泛采用的25赫相敏轨道电路, 分析了此种轨道电路的电路结构、参数确定、电源的选择以及所用的主要器材。

本书供铁路运输有关轨道电路设计、施工、运营的工程技术人员参考。也可供铁路高等院校学生进行课程设计与毕业设计时参考。

本书由俞涵升、陈永超、陈习莲校阅。

前 言

苏联铁路实行交流电化初期，一些区段广泛采用75赫交流脉冲轨道电路。实践表明，这种轨道电路在车站上应用遇到了困难。钢轨阻抗过高致使功率衰减增加，并使轨道电路在频率75赫时比50赫对道床电阻的变化更为敏感。后者，因为站内经常出道床电阻过低的情况对站内轨道电路的工作不利。有鉴于此，已在几年前就开始采用交通部中央科学研究院研制的25赫交流脉冲轨道电路，由静态分频器ПЧ-50/25对其进行供电。

运营经验表明，25赫轨道电路有两个重要优点：耗用功率降低和低道床电阻下能保证可靠工作。此外，25赫轨道电路无需向集中信号楼做信号电流馈线引入（象采用75赫轨道电路时所做那样），也无需装设备用的变频器。所有这些可使大站电气集中工程和运营简化，成本显著降低。

在交流电化初期，绝缘节短路没有采用相位监督。轨道继电器对牵引电流干扰的防护是利用了复杂的滤波器，因而，轨道电路的电路复杂、维修困难。在当时，如果轨道继电器的轨道线圈和局部线圈象法国或英国那样，由两个独立的配电线进行单独供电，这就要求采用笨重的、昂贵的和维修复杂的旋转变频机。因此，苏联铁路对于牵引电流干扰和绝缘节短路，研制并采用了频率—电路的方式来防护站内轨道电路。

轨道继电器的脉冲特性，借助其复示器的专用结线电路就能相当可靠地监督绝缘节短路。遗憾的是这种电路复杂并

有大量接点，因而由于这些接点磨损和电蚀致使轨道电路发生故障的概率增高了。

掌握并产生了可靠的轨道电路自给电源——参数式铁磁分频器——为人们提供了重新评价绝缘节短路相位监督的质量以及研制电路和器材简单并具有较高动作可靠性的站内25赫连续式交流相敏轨道电路的可能性。

研制交流电力牵引车站用25赫轨道电路时，相敏接收器采用既具有相位又具有频率选择性能的 ДСШ-13和ДСР-12型感应式二元继电器。

本书介绍的相敏轨道电路，其相敏继电器线圈由ПЧ-50/25型参数式分频器按两相系统进行供电。此种供电方式的特点是简单并能保证轨道继电器对牵引电流干扰具有较高的防护性。为局部线圈供电的分频器在轨道继电器对牵引电流干扰的防护系统中起着过滤元件的作用。为继电器轨道线圈和局部线圈供电的分频器输出电压之间具有正交相差，因此，轨道电路无需调整相位比，其维护大大简化。

目 录

前 言	1
第一章 交流电力牵引在轨道电路中产生的干扰	1
1. 交流电力牵引的基本特性	1
2. 双轨条回归时钢轨中牵引电流的干扰	3
3. 单轨条回归时轨条中牵引电流的干扰	11
第二章 交流电力牵引时的轨道电路及其对干扰的防护	15
1. 轨道电路对干扰的防护方法	15
2. 信号电流频率的选择	19
3. 区间和车站25赫电码和脉冲轨道电路	20
第三章 25赫轨道电路供电设备中的参数式分频器	25
1. 分频器动作原理	25
2. 分频器特性	34
3. 提高分频器工作稳定性的方法	42
4. 元件故障及在槽路中有50赫电压时分频器的工作情况	48
第四章 25赫相敏轨道电路两相电源系统	52
1. 两相电源系统的特点	52
2. 电源组合电路	53
3. 分频器的并联工作及25赫轨道电路线束供电的分段	57
4. 大站25赫相敏轨道电路用分频器屏	59
第五章 交流电力牵引的车站和接合站采用相	

敏轨道继电器的25赫轨道电路.....	63
1. 概述.....	63
2. 频率25赫二元轨道继电器的电气特性.....	64
3. 采用两个扼流变压器的25赫双轨条轨道电路.....	66
4. 双轨条单扼流变压器轨道电路.....	81
5. 单轨条和分歧轨道电路.....	83
6. 两种电力牵引制式接合站用的25赫轨道电路.....	84
7. 轨道电路的调整和维护.....	95
第六章 25赫相敏轨道电路主要器材.....	101
1. 交流ДСШ型插入式二元翼板继电器.....	101
2. ПОБС-2, ПОБС-3, ПОБС-5, ПРТ-25和ПТ-25型轨道变压器和继电变压器.....	109
3. ПОБС-2АУЗ, ПОБС-3АУЗ, ПОБС-5АУЗ, ПРТ-АУЗ, ПТ-25АУЗ and ПТИУЗ型轨道变压器和继电变压器.....	113
4. 3Б-ДСШ型插入式防护盒.....	117
5. ДТ-1-150和2ДТ-1-150型扼流变压器.....	121
6. ПЧ50/25型静态分频器.....	128
7. АВМ-1型低压多次动作自动开关.....	134
8. 焊接轨端连接线.....	136

第一章 交流电力牵引在轨道

电路中产生的干扰

交流电力牵引区段轨道电路的轨道接收器，遭受牵引电流基波和高次谐波的干扰影响。为了正确地计算轨道电路和确保轨道接受器对干扰的防护，首先必须了解电力牵引的基本特性、牵引电流的谐波分量以及轨条中回归电流的分布条件。

1. 交流电力牵引的基本特性

苏联铁路所用的交流电力牵引，其接触网对轨条和对地的额定电压为25千伏。设置牵引变电所的互相距离为40~60公里，并对区段进行双向供电。双线区段牵引变电所的接触网中总计算电流为800~1000安。当某变电所瞬间切断而其负载由相邻的一个或两个变电所承担时，在向强制状态过渡中，接触网中的电流可增到1500安或每条接触导线增到700~750安。

货用和客用电力机车BJ160^K，BJ180^K和ЧC4（起动和最大功率状态）的耗电量列于表1。

接触网短路电流取决于短路点到牵引变电所的距离，变电所的功率以及供电系统的功率。如短路发生在牵引变电所的近处，接触网电流值可达10,000~14,000安。

接触网短路时间的长短取决于防护器材的调整，目前为0.15~0.3秒。

高次谐波的百分比根据交流曲线离开正弦形式的可能偏

差来决定，此偏差主要是由于网压曲线非正弦形状和负载回路非线性引起的，在后一种情况下，在电流的每一周期中其参数均可能发生变化。

表 1

电力机车类型	额定功率 千瓦	起动电流 安	● 最大电流 安
BJ160 ^K	4540	70	332
BJ180 ^K	6300	70	435
ЧC4	4900	110	433

在沿接触网和轨条流通的牵引电流中可能只产生奇次谐波，因为牵引电流曲线与横坐标轴对称。关于这一点可见电力机车一次侧电流的示波图形（图 1）。

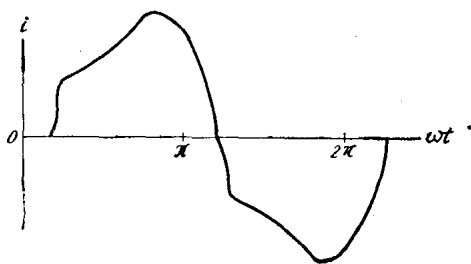


图 1 电力机车一次侧电流曲线

一次电流曲线的负半周乃是正半周沿横坐标移动 180° 的镜相。如所周知，在这种情况下，电流曲线中不包含直流成分和偶次谐波。

电力机车产生的奇次谐波最大百分比（根据苏联交通部中央科学研究院电气化研究所资料）如下：

谐波号	3	5	7	9	11	13
谐波百分比	18,0	7,0	3,6	2,4	1,65	1,2

2. 双轨条回归时钢轨中牵引电流的干扰

无论轨道电路受电端还是供电端产生干扰的主要原因是回归牵引电流沿着钢轨不平衡流散。下面分析有轨道扼流变压器的双轨条轨道电路(图2)。轨条阻抗以 Z_1 和 Z_2 表示,轨道

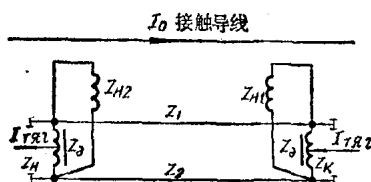


图2 采用扼流变压器的双轨条轨道电路等效电路

扼流变压器（包括与其相连接的器材）在供电端和受电端的阻抗—— Z_s 和 Z_r ；钢轨漏泄电导分别为 g_1 和 g_2 。相邻线路接触网的磁影响此时不予以考虑。

如果轨道电路位于电力机车和牵引变电所之间,则将有回归牵引电流 $I_{r,r}$ 通过轨道电路。在轨条阻抗相同($Z_1 = Z_2$)和漏泄电导相同($g_1 = g_2$)的情况下,阻抗 Z_s 和 Z_r 的连接如同平衡电桥的对角线,它们不通过牵引电流。因此,在钢轨完全平衡时牵引电流的干扰对轨道电路器材无影响。

当钢轨具有纵向不平衡($Z_1 \neq Z_2$)和漏泄电导不均衡($g_1 \neq g_2$)的条件时,电桥的平衡受到破坏,在钢轨中开始有数值不等的电流流通。这将导致在轨道电路器材中出现牵引电流的干扰。

轨道电路受电端和供电端的干扰电压值可用已知的公式计算:

$$U_{r,r} = \frac{1}{2} Z_s (I_1 - I_2),$$

$$U_{\text{ном}} = \frac{1}{2} Z_{\text{н}} (I_1 - I_2),$$

式中 $Z_{\text{к}}$ 和 $Z_{\text{н}}$ —— 分别为轨道电路受电端和供电端阻抗;
 I_1 和 I_2 —— 轨条中的牵引电流。

所列公式表明, 干扰电压根据钢轨中牵引电流不平衡流散 ($I_1 - I_2$) 和轨道电路两端连接的阻抗 $Z_{\text{к}}$ 和 $Z_{\text{н}}$ 值来计算。

由此得出, 为了正确计算双轨条轨道电路的确保轨道电路对牵引电流干扰的防护, 必须首先知道轨条中流通的牵引电流值和其可能的不平衡性。

回归牵引电流沿双轨条轨道电路的轨条不平衡流散根据其纵向和横向的不平衡来决定, 此外, 在复线铁路区段还与相邻线路接触网的磁影响有关。纵向不平衡是由轨条对牵引电流的阻抗不相等产生的, 而且, 主要取决于轨缝状态, 即取决于焊接轨端连接线的质量和鱼尾板与钢轨间的接触电阻。横向不平衡 (钢轨对地绝缘电阻不平衡) 主要是由于接触网杆塔和其他流散阻抗较低的建筑结构与钢轨连接引起的。相邻线路接触网的磁影响导致在轨条中产生不相等的感应电流。

下面分析致使轨道电路中产生干扰的牵引电流不平衡的可能形式。

纵向不平衡

轨条中牵引电流的不平衡程度用不平衡系数来确定。

电流不平衡系数

$$K = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$$

式中 I_1 和 I_2 —— 轨条中的电流。

不平衡系数还可以用轨条的阻抗来表示, 例如, 对于直流电力牵引的轨道电路

$$K = \frac{r_1 - r_2}{r_1 + r_2} = \frac{\Delta r}{r_1 + r_2}$$

式中 r_1 和 r_2 —— 轨条电阻。

同样，对交流电力牵引的轨道电路

$$K = \frac{\Delta Z}{Z}$$

式中 ΔZ —— 轨条阻抗差；

Z —— 一般轨道电路计算中所用的轨条回线阻抗即钢轨阻抗。

下面将直流和交流电力牵引的轨道电路纵向不平衡值进行比较。轨条阻抗对于沿其流散的牵引电流的不平衡（无漏泄条件下）主要是根据轨端连接线阻抗来决定。每个接头的直流电阻，根据《地下建筑对迷流腐蚀的防护规程》，应不大于长度为 3 米整个轨条的电阻，而对接头对 50 赫交流的阻抗为 $0.0005e^{j53^\circ}$ 欧。长度 1 公里的轨条接头电阻（或阻抗）如下：

对于直流

$$r_{c,r} = r_{1,p} \times 0.003n = 0.0325 \times 0.003 \times 79 = 0.0077 \text{ 欧}$$

式中 $r_{1,p} = 0.0325$ 欧 —— 1 公里轨条的电阻，不包括接头电阻；

$n = 79$ —— 每根钢轨长 12.5 米时 1 公里轨条接头数；

对于 50 赫交流

$$r_{c,r} = 0.0005e^{j53^\circ} \times 79 = 0.04e^{j53^\circ} \text{ 欧}$$

当一根轨条电阻为 $r_{1,p} + r_{c,r1}$ 而另一根轨条电阻可能由于轨端连接良好仅为 $r_{2,p}$ ($r_{c,r1} = r_{c,r}$) 时，轨道电路的纵向不平衡系数即 $r_{c,r2} = 0$ 的值最大。

直流电力牵引的轨道电路纵向不平衡系数为：

$$K = \frac{r_{1p} + r_{ct} - r_{2p}}{r_{1p} + r_{ct} + r_{2p}} = \frac{0.0325 + 0.0077 - 0.0325}{0.0325 + 0.0077 + 0.0325} \\ = 0.106, \text{ 或 } 10.6\%$$

所得结果与直流电力牵引区段所采用的不平衡计算值12%相当接近。同样，可得出，交流电力牵引的轨道电路不平衡系数为：

$$K = \frac{\Delta Z}{Z} = \frac{0.04}{0.8e^{i65^\circ}} = 0.05 \text{ 或 } 5\%$$

横向不平衡

横向不平衡（轨道电路漏泄不平衡）取决于轨道电路对地绝缘电阻差，并主要是由轨条与接触网杆塔电的耦合产生的。

将钢轨和具有小的接地电阻的接触网杆塔连接是不容许的，而且研究了这样的情况，即杆塔的接地电导在0.5～3 1/欧·公里范围内变化，它取决于杆塔结构，土壤湿度和其化学成分；此值平均为1.5 1/欧·公里。此时牵引电流不平衡等于8%。

目前，在区间一般均装设接地电阻大于500～700欧的钢筋混凝土电杆，而接地电阻小于100欧的杆塔则通过火花间隙接至钢轨。此时，电杆接地电导从1.5 1/欧·公里降到小于0.03 1/欧·公里的数值，也就是说降到几十分之一。这种情况可以认为，在完好的火花间隙条件下，漏泄不平衡对钢轨中牵引电流不平衡分布的影响很小，所以，在轨道电路

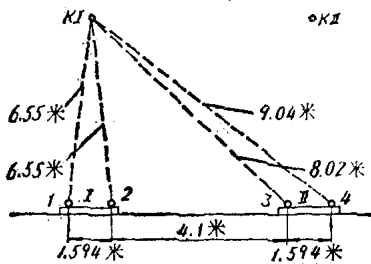


图3 接触网对钢轨的磁影响

中将不产生牵引电流的干扰。

相邻线路接触网磁影响的不平衡

在复线铁路区段和在不少于 2 条股道的车站上产生相邻线路接触网磁影响的不平衡。苏联交通部中央科学研究所进行的计算表明，轨条中感应产生的电流，其值大小不等，并与接触网电流的相角差近似于 180° 。磁影响的程度根据接触导线的电流值和钢轨间互感值以及接触导线和钢轨间互感值来决定。接触导线与轨条和相邻轨条的互感以及轨条本身之间的互感可用下列公式求算：

$$M = \left(1 + 2 \ln \frac{400}{\alpha \sqrt{\varepsilon \gamma_3 f}} - j \frac{\pi}{2} \right) 10^{-4} \text{亨/公里},$$

式中 α —— 产生影响的导体和受影响的导体之间的距离，米；

$\varepsilon = 1$ —— 考虑土壤磁导的系数，亨/米；

γ_3 —— 大地单位导电率，1/欧·米；

f —— 电流频率，赫。

轨条 1 中的感应电动势（图 3）乃是接触导线电流和轨条 2、3 和 4 中流散的电流感应的电动势总和，即：

$$e_1 = j\omega M_{1k} \dot{I}_k + j\omega M_{12} \dot{I}_2 + j\omega M_{13} \dot{I}_3 + j\omega M_{14} \dot{I}_4 \quad (1)$$

式中 M_{1k} , M_{12} , M_{13} , M_{14} —— 分别为第一轨条和接触导线、第一和第二、第一和第三、第一和第四轨条的互感；

$\dot{I}_k$, $\dot{I}_2$, $\dot{I}_3$, $\dot{I}_4$ —— 分别为接触导线、第二、第三和第四轨条的电流。

在此电动势作用下第一轨条中产生电流 $\dot{I}_1$ ，它可用 $e_1 = Z_1 \dot{I}_1$ 公式求算（ Z_1 —— 第一轨条阻抗）。将 e_1 值代入 (1)

式, 可得

$$Z_1 \dot{I}_1 = j\omega M_{1k} \dot{I}_k + j\omega M_{12} \dot{I}_2 + j\omega M_{13} \dot{I}_3 + j\omega M_{14} \dot{I}_4$$

为轨条 2、3 和 4 中电动势和感应电流, 写成类似的方程式, 得到能计算轨条中感应电流分布的方程组:

$$\begin{aligned} Z_1 \dot{I}_1 - j\omega M_{12} \dot{I}_2 - j\omega M_{13} \dot{I}_3 - j\omega M_{14} \dot{I}_4 \\ = j\omega M_{1k} \dot{I}_k ; \\ -j\omega M_{21} \dot{I}_1 + Z_2 \dot{I}_2 - j\omega M_{23} \dot{I}_3 - j\omega M_{24} \dot{I}_4 \\ = j\omega M_{2k} \dot{I}_k ; \\ -j\omega M_{31} \dot{I}_1 - j\omega M_{32} \dot{I}_2 + Z_3 \dot{I}_3 - j\omega M_{34} \dot{I}_4 \\ = j\omega M_{3k} \dot{I}_k ; \\ -j\omega M_{41} \dot{I}_1 - j\omega M_{42} \dot{I}_2 - j\omega M_{43} \dot{I}_3 + Z_4 \dot{I}_4 \\ = j\omega M_{4k} \dot{I}_k 。 \end{aligned}$$

用行列式法解这些方程组。四根轨条中每根轨条的阻抗取 $0.78e^{j70^\circ}$ 欧/公里, 大地导电率 $\gamma_3 = 10 \times 10^{-3}$ 1/欧·米, 钢轨与接触导线之间的距离在图 3 给出。

计算结果表明, 在牵引电流仅在一条接触导线中流通而在第二条导线中无电流的情况下, 钢轨中感应电流不平衡系数可能达到最大值 (3.9%)。若在两条接触导线中具有相等的电流, 则使钢轨中感应电流的不平衡系数降低到 1.7%。在接触网的强制工作状态下 ($I_k = 750$ 安), 轨道电路中电流的最大不平衡可为 $I_1 - I_2 = 10.5$ 安。

对于双轨条轨道电路牵引电流不平衡, 无论在单线还是在复线铁路区段都进行了试验研究。表 2 所示为在单线区段的测试结果。

从表 2 可见, 在轨道电路动态 (在轨道电路上或其附近

有运行的列车)下不平衡达到5%。无车(轨道电路静态)时此系数值较小。在复线区段上不平衡电流的测量结果载于表3。

表2

轨道电路长度·米	$I_1 + I_2$	$I_1 - I_2$	不平衡系数
	安		%
轨 道 电 路 静 态			
1800	56	0.5	0.9
1600	56	1.12	2.0
1500	65	1.2	1.85
1400	60	1.0	1.65
轨 道 电 路 动 态			
2500	68	2.65	3.9
1400	62	1.60	2.6
1800	40	2.00	5.0

测量结果表明,在无列车条件下,当钢轨中主要是感应电流流散时,轨道电路不平衡系数达到3.45%。这个数值与相邻线路接触网磁影响计算所得值很好地符合,此系数计算求得是3.9%,在轨道电路动态条件下,即同时还有回归牵引电流纵向不平衡和相邻线路接触导线的磁影响时,此轨道电路不平衡系数达到9~11%。钢轨中电流最大不平衡为15安。

对钢轨中牵引电流进行多次测量表明,机车从接触网中耗用的电流一般是自运行的电力机车向两侧均匀地分配,因而,轨道电路中此电流值不超过电力机车耗用电流的50%。

因此,对于交流电力牵引在轨道电路中产生的干扰所进行的研究,可得出如下结论:

1). 单线铁路的双轨条轨道电路中的干扰主要根据钢轨的纵向不平衡来决定。