

25Hz相敏轨道电路

技术与应用

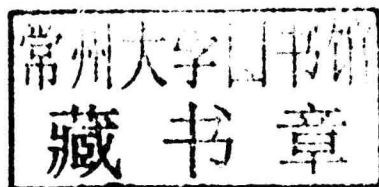
陈建译 陈习莲 编著

25Hz XIANGMIN GUIDAO DIANLU JISHU YU YINGYONG

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

25 Hz 相敏轨道电路技术与应用

陈建译 陈习莲 编著



中 国 铁 道 出 版 社

2013年·北 京

内 容 简 介

本书全面、详细地介绍了 25 Hz 相敏轨道电路的特点、工作原理、25 Hz 变频器和电源屏、专用器材的技术条件和测试方法、设计和开通方法,解决冲击干扰的 97 型和扼流适配变压器型 25 Hz 相敏轨道电路,解决分路不良的 3 V 化、UI 型 25 Hz 相敏轨道电路和多特征、高压脉冲轨道电路,改进型 25 Hz 相敏轨道电路。同时介绍了站内电码化、电气化干扰及防护、典型故障处理等内容。

本书可供铁路信号设计人员、施工人员以及现场维护人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

25 Hz 相敏轨道电路技术与应用/陈建译,陈习莲编著. —北京:
中国铁道出版社,2012. 12
ISBN 978-7-113-15769-2

I. ①2… II. ①陈… ②陈… III. ①相敏轨道电路 IV. ①U284. 23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 304202 号

书 名: 25 Hz 相敏轨道电路技术与应用
作 者: 陈建译 陈习莲 编著

责任编辑: 崔忠文 李嘉懿 编辑部电话: 021—73146 电子信箱: dianwu@vip. sina. com
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 张玉华
责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 化学工业出版社印刷厂

版 次: 2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 16.5 字数: 335 千

书 号: ISBN 978-7-113-15769-2

定 价: 40.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电 (010) 51873170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

前 言

在我国电气化区段的车站,25 Hz 相敏轨道电路得到广泛的应用。

为了便于技术人员更好地了解和掌握 25 Hz 相敏轨道电路,本书对 25 Hz 相敏轨道电路的原理及其改进、站内电码化、电气化干扰及防护、故障处理进行了全面、详细的介绍。

全书分为四篇。

第一篇为 25 Hz 相敏轨道电路,介绍了 25 Hz 相敏轨道电路的特点、工作原理、25 Hz 变频器和电源屏、专用器材的技术参数和测试方法、设计和开通方法。阐述并分析了解决冲击干扰的 97 型和扼流适配变压器型 25 Hz 相敏轨道电路,解决分路不良的 3V 化、UI 型 25 Hz 相敏轨道电路和多特征、高压脉冲轨道电路。详细介绍了改进型 25 Hz 相敏轨道电路。

第二篇为站内电码化,介绍了四线制、二线制电码化的工作原理、主要器材的特性以及电码化的设计和开通。

第三篇为电气化干扰及防护,介绍了电力牵引种类,分析引起站内不平衡干扰的原因,详细说明电力牵引区段减少干扰的措施。

第四篇为故障处理,结合典型故障案例从牵引电流干扰、器材问题、电源故障和高铁牵引电流不畅等方面详细说明处理方法,并分析故障原因。

本书可供铁路信号设计人员、施工人员以及现场维护人员学习和参考。

本书由陈建译、陈习莲编著。第一篇、第二篇由陈习莲编写,由陈建译、翟永林、蒋立红、王建国、买萌、刘伟宁审核;第三篇、第四篇由陈建译编写,由陈习莲、岳春华、姜锡义审核。

限于编者的水平,书中有不妥和错误之处,恳请读者给予批评指正。

编 者
2012 年 12 月

目 录

第一篇 25 Hz 相敏轨道电路

第一章 概 述	1
第一节 25 Hz 相敏轨道电路的特点	1
第二节 25 Hz 相敏轨道电路的组成及原理	3
第二章 交流二元继电器和微电子接收器	7
第一节 交流二元继电器工作原理	7
第二节 JXW-25 型微电子接收器	16
第三章 25 Hz 电源	21
第一节 分离磁路变频器工作原理	21
第二节 混合磁路变频器工作原理	24
第三节 25 Hz 电源屏	26
第四节 智能型 25 Hz 信号电源屏	31
第四章 25 Hz 相敏轨道电路专用器材的技术参数及测试	39
第一节 专用器材技术参数	39
第二节 专用器材测试方法	43
第五章 25 Hz 相敏轨道电路的开通	55
第一节 25 Hz 相敏轨道电路的类型和调整	55
第二节 25 Hz 相敏轨道电路开通准备	56

第三节	25 Hz 相敏轨道电路的测试	64
第四节	交叉渡线的处理	67
第六章	解决冲击干扰的 25 Hz 相敏轨道电路	71
第一节	97 型 25 Hz 相敏轨道电路	71
第二节	扼流适配变压器型 25 Hz 相敏轨道电路	73
第三节	对 97 型和扼流适配变压器型 25 Hz 相敏轨道电路的分析	75
第七章	解决 25 Hz 相敏轨道电路分路不良的措施	85
第一节	概 述	85
第二节	解决分路不良的方法	86
第八章	改进型 25 Hz 相敏轨道电路	110
第一节	改进型 25 Hz 相敏轨道电路	110
第二节	改进型加监控器 25 Hz 相敏轨道电路	127

第二篇 站内电码化

第一章	电码化概述	136
第二章	站内四线制电码化	141
第一节	四线制电码化工作原理及特点	141
第二节	四线制电码化图册、器材及使用	147
第三节	站内电码化设计原则及电路	157
第四节	四线制站内预叠加电码化的开通	171
第三章	站内二线制电码化	182
第一节	概 述	182
第二节	主要器材	184
第三节	二线制电码化组合	193

第三篇 电气化干扰及防护

第一章 电气化铁路基本知识·····	203
第二章 交流电力牵引对轨道电路的干扰·····	207
第三章 交流电力牵引区段减少干扰的措施·····	211
第四章 电气化区段电务安全作业·····	223

第四篇 25 Hz 相敏轨道电路故障处理

第一章 概 述·····	226
第二章 牵引电流干扰轨道电路故障案例·····	228
第三章 器材问题引起轨道电路故障案例·····	234
第四章 电源故障引起轨道电路故障案例·····	241
第五章 高铁牵引电流不畅引起轨道电路故障案例·····	245
第六章 其他原因引起轨道电路故障案例·····	250
参考文献·····	256

第一篇 25 Hz 相敏轨道电路

第一章 概 述

1978 年 10 月根据铁道部(78)铁基字 1422 号文件要求,由当时的电气化局及西安信号厂开始研制 25 Hz 相敏轨道电路。

25 Hz 相敏轨道电路在前苏联站内广泛采用。前苏联还采用 25 Hz 相敏自动闭塞(УСAB),作为自动闭塞的发展方向。

25 Hz 相敏轨道电路器材参照前苏联的技术标准进行研制。1979 年 5 月在凤州做了室外试验,根据铁道部[1979]铁电务字 994 号文件要求,进行扩大试验。1980 年 4 月先后开通孔寨线路所、阳平关站、石家庄Ⅲ场、Ⅳ场以及机务段站场,并取得成功。1982 年经铁道部鉴定,决定在电气化区段站内推广使用。25 Hz 相敏轨道电路在我国的丰沙大线、京秦线、大秦线、广深、京广、京沪等电气化区段的车站,得到广泛的应用。

第一节 25 Hz 相敏轨道电路的特点

25 Hz 相敏轨道电路具有以下特点。

1. 25 Hz 相敏轨道电路的接收端使用交流二元继电器。在道床电阻为 $0.6 \Omega \cdot \text{km} \sim \infty$, 钢轨阻抗为 $0.62 \angle 42^\circ \Omega/\text{km}$, 25 Hz 电源的波动为 $\pm 5\%$, 分路电阻为 0.06Ω 时, 站内轨道电路的最大长度为 1200 m, 能够保证调整、分路、断轨三种状态的检查。

站内正线及区间为混凝土轨枕时, 道床电阻为 $1.5 \Omega \cdot \text{km}$, 钢轨阻抗为 $0.5 \angle 52^\circ \Omega/\text{km}$, 交流二元继电器落下值按 5.5 V 考虑(-40°C), 可靠返还系数为 $5.5/(15 \times 1.05) = 0.349$, 分路电阻为 0.06Ω 时, 区间 25 Hz 相敏轨道电路的最大长度可达 3000 m。

所以, 25 Hz 相敏轨道电路频率低, 轨道电路长, 信息传输距离远。

2. 交流二元继电器两个线圈的电源由两个独立的参数变频器供给, 两个变频机的输出电压 U_j (局部线圈电压) 超前 U_g (轨道线圈电压) 90° 。因此, 25 Hz 相敏轨道电路的调整容易, 不必对每段轨道电路进行相位调整。

3. 25 Hz 相敏轨道电路采用的 JRJC-66/345、JRJC₁-70/240 交流二元继电器动作时间快。接入 1200 m 轨道电路及 2 km 电缆, 加复示继电器(JWXC-1700)的落下时间, 从轨道分路至复示继电器落下总时间小于 0.15 s。因此易实现与高频率的轨道电路信息叠加, 如与我国 ZPW-2000 或 UM71 等容易实现叠加并且效果好。

4. 25 Hz 相敏轨道电路具有可靠的相位选择性及频率选择性,因此抗干扰性强。

(1)交流二元继电器具有可靠的相位选择性,交流二元继电器的转矩公式如下:

$$M = K / f[U_j \times U_g \cos(\alpha - 90^\circ)] = K_v \times U_j \times U_g \cos\beta$$

式中 K ——继电器结构参数决定的系数;

f ——电流频率;

U_j ——局部线圈电压,V;

U_g ——轨道线圈电压,V;

α —— U_j 与 U_g 间角度;

90° ——理想角;

β ——失调角。

当 $\beta=0^\circ$ 时, $\cos 0^\circ=1$, $M = K_v \times U_j \times U_g$, M 具有最大转矩。

当 $\beta=90^\circ$ 时, $\cos 90^\circ=0$, $M = 0$, 与 $U_j \times U_g$ 大小无关。

当 $\beta=60^\circ$ 时, $\cos 60^\circ=0.5$, M 为最大转矩的一半。

因此交流二元继电器具有可靠的相位选择性。

(2)交流二元继电器具有可靠的频率选择性

当局部线圈电流的频率为 25 Hz,电压为 110 V,轨道线圈电流的频率相差以下倍数时,交流二元继电器的动作情况见表 1-1-1。

表 1-1-1 交流二元继电器的频率选择性

频率差	交流二元继电器的动作情况
2 倍(50 Hz)	5 倍过载电压前接点才有瞬间闭合
5 倍(125 Hz)	30 倍过载电压前接点才有瞬间闭合
25 倍(625 Hz)	∞ 倍过载电压前接点也不会闭合

由表 1-1-1 可知,25 Hz 相敏轨道电路具有频率选择性,在局部线圈电流的频率与轨道线圈相同时,才能正常工作。

综上所述,交流二元继电器必须具有以下条件才能可靠动作:

① U_j 的相位必须超前 U_g 90° ;

② U_j 的频率与 U_g 的频率相同;

③ U_j 电压为 110 V, U_g 电压不小于 15 V(理想角时)。

若 β 不为 0,要达到最大转矩,必须加大 U_g 电压值(加大送端变压器二次侧电压)。

5. 25 Hz 相敏轨道电路有可靠的钢轨绝缘破损的防护,要求电路配线严格按接线图进行。如图 1-1-1 所示。

按图 1-1-1 连接时,轨道继电器的翼板(扇片)向上转动。JJZ、JJG 与 GJZ、GJF 之间的关系为局部变频机输出电压超前轨道变频机输出电压 90° 。BG₂₅、BE₂₅ 必须按图 1-1-1 连接,就能确保相位正确。轨道电压相位在轨道传送过程中有变化,产生失调角,

通过加大送电端轨道变压器二次侧电压,保证交流二元继电器的转矩,使翼板打上止轮。

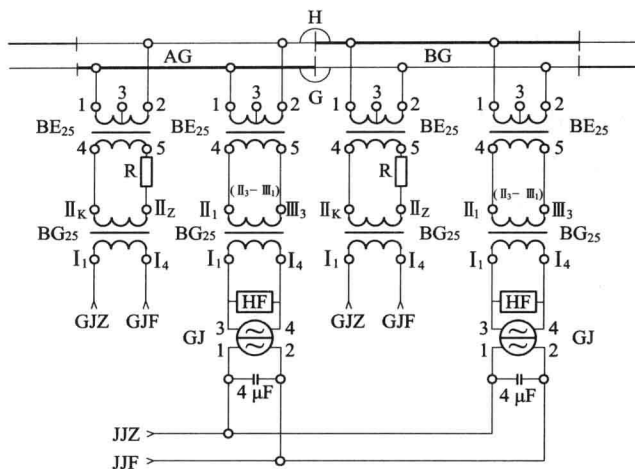


图 1-1-1 25 Hz 相敏轨道电路连接

若绝缘节破损,如将 H、G 绝缘节短路,这时作用在轨道线圈(如 AGJ)上的电流与正常工作电流方向相反,翼板向下转动。因此 25 Hz 相敏轨道电路能可靠地防护绝缘破损。

6. 25 Hz 相敏轨道电路设备简单,工作稳定可靠,便于维修。

第二节 25 Hz 相敏轨道电路的组成及原理

在交流电力牵引区段,电码化车站的股道和道岔区段采用双扼流双轨条相敏轨道电路。在不通过牵引电流的轨道区段采用无扼流双轨条相敏轨道电路。

下面以双扼流双轨条轨道电路为例说明 25 Hz 相敏轨道电路使用的器材及构成原理。如图 1-1-2 所示。

一、供电端设备

(一) 扼流变压器

扼流变压器的型号有 BE-400/25、BE-600/25、BE₂-600/25、BE₂-800/25 等。BE-400/25、BE-600/25 为油浸冷却;BE₂-600/25、BE₂-800/25 为空气冷却。

BE-400/25 为无空气间隙的磁饱和扼流变压器。每个牵引线圈通过电流按 200 A 考虑。交流电力牵引区段的轨道电路不平衡系数按 5% 计算时,则牵引线圈不平衡电流为 20 A。若不平衡电流为 50 A,磁路饱和时,扼流变压器的二次开路电压不超过

◎ 第一篇 25 Hz 相敏轨道电路

95 V。因此采用低变比($n=3$)和无空气间隙的磁饱和扼流变压器可保证人身安全。

当牵引电流增大时,可采用 BE-600/25、BE₂-600/25、BE₂-800/25 扼流变压器。

(二)限流电阻

限流电阻 R 型号为 R1-4.4/440、R1-2.2/220、R-2.2/220 信号变阻器。

限流电阻的阻值一般为 $1.1 \sim 4.4 \Omega$,其作用为:

- (1)确保轨道电路分路。
- (2)在送端分路时,防护电源变压器和变频机过载。

(三)BG₂₅ 供电变压器

供电变压器有 BG-65/25、BG₁-140/25、BG₃-130/25 等型号。

根据轨道电路的不同长度和类型,按调整表规定的电压值,调整 BG₂₅ 供电变压器二次侧电压,以保证轨道电路的正常工作。

(四)5 A 或 10 A 熔断器

此熔断器的作用是当轨条中牵引电流超过规定值时,烧断熔断器,保护其他信号设备不被烧毁。扼流变压器采用 400 A 时使用 5 A 熔断器,采用 600 A 时使用 10 A 熔断器。

熔断器的选择视扼流变压器电流的大小及不平衡系数而定。如 50 Hz 不平衡系数按设计规定为 5%。①当通过扼流变压器 50 Hz 电流为 300 A 时,一般选用 400 A 的扼流变压器(油浸)。扼流变压器不平衡电流在牵引侧为 20 A,折算到扼流变压器信号侧为 $20 \text{ A}/6=3.33 \text{ A}$ 。25 Hz 相敏轨道电路在送电端分路时,分路电流在轨道电路长度小于 1000 m 时为 2 A,另外机车信号电流小于 0.5 A,这三种电流的相量和,就决定在扼流变压器信号侧使用 5 A 熔断器。②当通过扼流变压器 50 Hz 电流为 500 A 时,一般选用 600 A 的扼流变压器(油浸)。扼流变压器不平衡电流在牵引侧为 30 A,折算到扼流变压器信号侧为 $30 \text{ A}/6=5 \text{ A}$ 。25 Hz 相敏轨道电路在送电端分路时,分路电流在轨道电路长度小于 1300 m 时为 3 A,另外机车信号电流小于 0.5 A,这三种电流的相量之和再留有余量,于是在扼流变压器信号侧使用 10 A 熔断器。

(五)1 A 或 3 A 熔断器

1 A 或 3 A 熔断器是为了便于维修人员更换 25 Hz 相敏轨道电路设备而设置。当变压器短路时,铁磁变频机停振无输出,而熔断器不会烧断。当扼流变压器采用 400 A 时,使用 1 A 熔断器;扼流变压器采用 600 A、800 A 时,使用 3 A 熔断器。

为了自动恢复供电,应尽量采用多次动作开关,当牵引电流大时切断设备,牵引电流小时自动恢复供电。

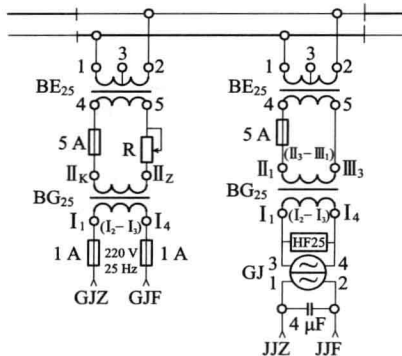


图 1-1-2 25 Hz 相敏轨道电路
(双扼流双轨条)

二、受电端设备

(一) BE₂₅ 扼流变压器

与送电端相同。

(二) BG₂₅ 继电变压器

继电变压器的作用是使继电器与防护盒并联的高阻抗与轨道电路的低阻抗相匹配。旧型的 25 Hz 相敏轨道电路,在受电端有扼流变压器时,变比为 18.3 : 1;受电端无扼流变压器时,变比为 40 : 1。

(三) HF 防护盒

防护盒有三个作用:

(1) 对 50 Hz 相当于短路,在有 50 Hz 干扰时,交流二元继电器的翼板不会摆颤。

(2) 调整相位角。在轨道电路长度为 800 m 时,使局部电压超前轨道电压接近理想角 90°;当轨道电路长度为 100~1 200 m 时,失调角一般不超过 ±25°,cos(±25°)=0.906,对轨道电压影响很小,同时在制定调整表时给予补偿,如使送电端 BG₂₅ 的二次侧电压增加了 1/cos(±25°)倍。

(3) 在 25 Hz 时防护盒与交流二元继电器产生并联谐振,得到高阻抗。

防护盒原有 HF-25、HF₁-25、HF₂-25 等型号。

轨道电路中的变压器、轨道电路等皆为感性负载,为了使交流二元继电器得到良好的相位比即得到理想角,从而使交流二元继电器得到最大转矩,必须在受电端轨道线圈处并联电容器加以补偿。在轨道电路长度为 800 m 时,使用老器材(BE-400/25、BE-600/25)时得到理想相位的电容为 15.6 μF。

但当不平衡电流达 7 A 以上,在轨道线圈上 50 Hz 的干扰电压大于 15 V 时,继电器翼板就开始摆颤。虽然翼板摆颤不会导致继电器前接点闭合,但它使继电器正常工作受到不良影响,测量困难。因此要对 50 Hz 牵引电流及其谐波进行防护。采用了 LC 串联谐振的方法,将 50 Hz 滤掉,其电感为 0.845 H,电容为 12 μF。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.845 \times 12 \times 10^{-6}}} = \frac{10^3}{2\pi\sqrt{10.14}} = \frac{10^3}{2\pi \times 3.18} = 50 \text{ Hz}$$

对于 $f=25 \text{ Hz}$, LC 串联相当于一个电容。串联阻抗为:

$$\begin{aligned} Z_{\text{串}} &= Z_L + Z_C = j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = j2\pi f \times 0.845 + \frac{1}{j2\pi f \times 12 \times 10^{-6}} \\ &= j157 \times 0.845 + \frac{10^6}{j157 \times 12} = j132.665 + \frac{10^6}{j1884} \\ &= j132.665 - j530.8 = -j398.1 = 398.1 e^{j(-90^\circ)} = \frac{1}{j\omega C'} \end{aligned}$$

$$\text{所以 } C' = \frac{1}{398.1 \times 2\pi f} = \frac{10^6}{398.1 \times 157} = 16 \mu\text{F}。$$

◎ 第一篇 25 Hz 相敏轨道电路

由上式可看出, LC 串联电路对 25 Hz 来说相当于一个电容, 电容值为 $16 \mu\text{F}$ 。这个值与轨道电路长度为 800 m 时的最佳电容 $15.6 \mu\text{F}$ 很接近。因此对 25 Hz 轨道电路来说可以得到良好的相位比。而对 50 Hz 干扰电压来说为串联谐振, 串联谐振时 50 Hz 的阻抗为 20Ω 左右。

防护盒对 25 Hz 相当于一个 $16 \mu\text{F}$ 电容, 这个电容与 JRJC-66/345 交流二元继电器轨道线圈并联, 使并联阻抗增大。 $16 \mu\text{F}$ 阻抗为:

$$Z_C = 1/j(2\pi f \times 16 \times 10^{-6}) = 397.89 \angle -90^\circ$$

JRJC-66/345 交流二元继电器轨道线圈阻抗为:

$$Z_{GJ} = 15 \angle 72^\circ / 0.038 = 394.7 \angle 72^\circ$$

Z_C 与 Z_{GJ} 的并联阻抗为:

$$Z = \frac{Z_C \times Z_{GJ}}{(Z_C + Z_{GJ})} = \frac{397.89 \angle -90^\circ \times 394.7 \angle 72^\circ}{397.89 \angle -90^\circ + 394.7 \angle 72^\circ} = 1266.2 \angle -7.5^\circ$$

由以上分析可知, $16 \mu\text{F}$ 阻抗与 JRJC-66/345 交流二元继电器轨道线圈阻抗基本构成并联谐振, 使负载阻抗加大。

(四) JRJC 型交流二元继电器

JRJC 型交流二元继电器轨道线圈电气特性见表 1-1-2。

表 1-1-2 JRJC 型交流二元继电器轨道线圈电气特性

继电器型号	工作值不大于		释放值不小于		可靠落下电压值(V)	I_g 滞后 U_j 理想角	返还系数 K_V
	电压(V)	电流(A)	电压(V)	电压(V)			
JRJC-66/345	15	0.038	7.5		6.75	$160^\circ \pm 8^\circ$	0.43
JRJC ₁ -70/240	15	0.04	8.6		7.74	$157^\circ \pm 8^\circ$	0.49

交流二元继电器由两个独立的双相变频机供电。轨道电路由轨道变频机供给 25 Hz、220 V 电源, 局部线圈由局部变频机供给 25 Hz、110 V 电源。

其他类型的 25 Hz 相敏轨道电路的设备构成原理与双扼流双轨条轨道电路基本相同。一送多受的交流二元继电器的复示继电器由各自交流二元继电器控制, 如图 1-1-3 所示。轨道电路中, 分支长度大于 65 m 时增加受电端, 即为一送多受轨道电路。各受电端的继电器接点串联后, 动作轨道复示继电器 GJF。

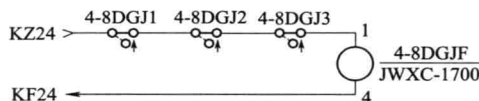


图 1-1-3 一送多受的交流二元继电器的复示继电器电路

(五) 5 A 或 10 A 熔断器

作用与送电端相同。

第二章 交流二元继电器和微电子接收器

第一节 交流二元继电器工作原理

交流二元继电器属于交流感应式继电器,是根据电磁铁所建立的交变磁场与金属转子中感应电流之间相互作用产生转矩而动作的。交流二元继电器由局部线圈、轨道线圈、带轴铝制翼板以及接点组四大部分组成,安装在压铸的铝合金支架上。活动部分采用红宝石轴承,使翼板转动灵活。继电器有两组前接点、两组后接点,轨道电路中只使用前接点。局部线圈和轨道线圈的电源由双相供电的两个独立的参数变频器供给,且 U_j 超前 U_g 90° 。

一、交流二元继电器的磁路系统

交流二元继电器的磁路系统如图 1-2-1 所示。

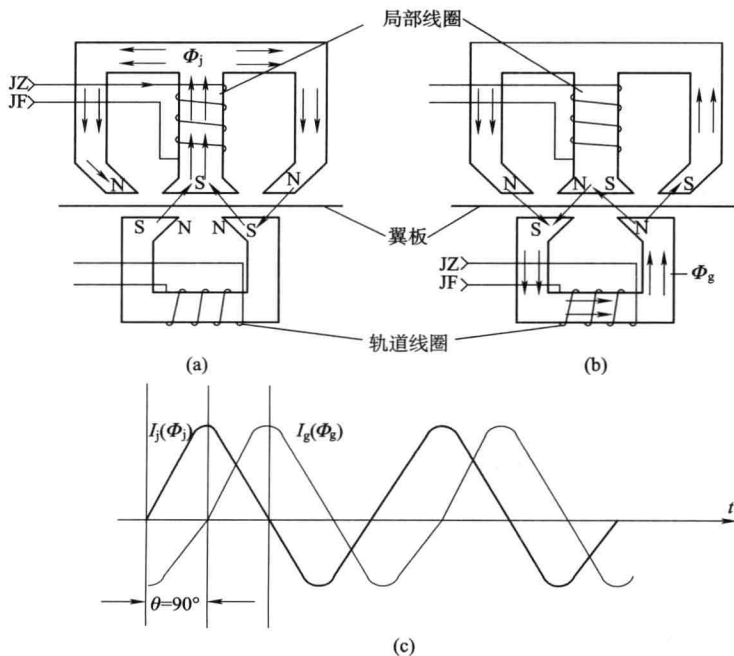


图 1-2-1 交流二元继电器的磁路系统

局部线圈、轨道线圈的阻抗、电压向量图如图 1-2-2 所示。

局部线圈电压的阻抗角为 72° ，轨道线圈电压的阻抗角为 72° 。 U_j 超前 U_g 90° ，因此 U_j 超前 I_g ($90^\circ + 72^\circ$) $= 162^\circ$ 。

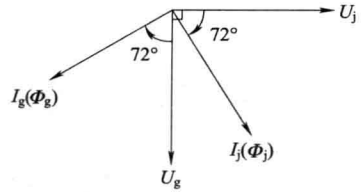


图 1-2-2 局部线圈、轨道线圈的阻抗、电压向量图

二、交流二元继电器工作原理

当两个线圈通过的交变电流为 I_j 超前 I_g 相位角 (θ) 90° 时，那么就有两个交变磁通 Φ_j 、 Φ_g 穿过翼板。交变磁通 Φ_j 、 Φ_g 将分别在翼板中感应产生涡流 i_j 、 i_g 。

1. 局部线圈通过电流 I_j 时产生交变磁通 Φ_j ，如图 1-2-3 所示。

磁通方向根据右手定则， Φ_j 方向向上，磁通 Φ_j 穿过翼板 4 次，如图 1-2-4 所示。

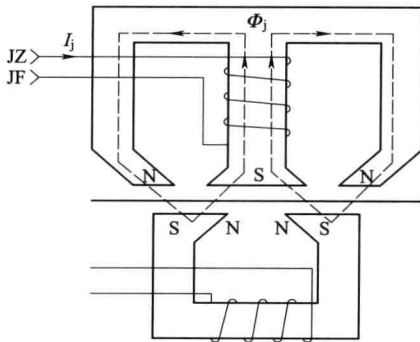


图 1-2-3 局部线圈交变磁通方向

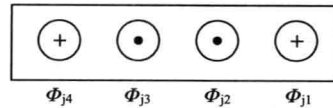


图 1-2-4 局部线圈磁通方向

⊕表示磁通由上而下穿过翼板；

⊙表示磁通由下而上穿过翼板。

其中 $\Phi_{j1} = \Phi_{j2}$ ， $\Phi_{j3} = \Phi_{j4}$ ，但方向相反。在分析磁路时取 $\Phi_{j2} + \Phi_{j3} = \Phi_j$ 。

2. 轨道线圈通过电流 I_g 时产生交变磁通 Φ_g ，如图 1-2-5 所示。

轨道电流 I_g 滞后局部电流 I_j 90° 后流入轨道线圈，产生磁通 Φ_g ，上下穿过翼板 4 次，如图 1-2-6 所示。

图中 $\Phi_{g1} = \Phi_{g4}$ ， $\Phi_{g3} = \Phi_{g2}$ ，但方向相反。在分析磁路时取 $\Phi_{g2} + \Phi_{g1} = \Phi_g$ 。

3. 为分析方便，作以下几项规定：

- (1) 磁通的正向为自下而上穿过翼板，以 $\odot$ 表示。
- (2) 涡流的正向与磁通的正向符合右手螺旋定则，以圆形线表示涡流正向 $\odot$ 规定路径。

(3) Φ_j 、 Φ_g 两个正弦交变磁通间相位差角为 $\theta = 90^\circ$ ，且 Φ_j 超前 Φ_g 90° 。

(4) 忽略铁芯中损耗，认为磁通与产生该磁通的电流同相，即 Φ_j 、 I_j 同相。

(5) 由于铁芯有比较大的气隙，铁芯中磁通不易达到饱和，所以可以认为磁通中

Φ_j, Φ_g 与电流 I_j, I_g 成正比。

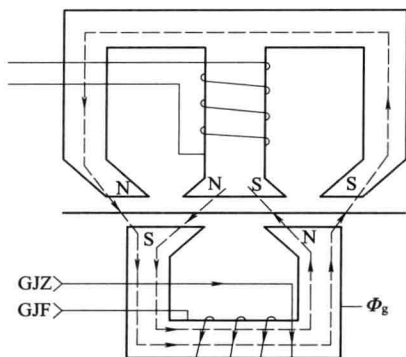


图 1-2-5 轨道线圈交变磁通方向

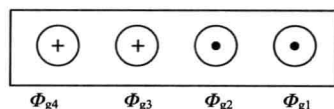


图 1-2-6 轨道线圈磁通方向

因此在翼板上 Φ_j, Φ_g 与所产生的涡流 i_j, i_g 的正向（根据右手定则）如图 1-2-7 所示，则

$$\Phi_j = \sqrt{2} \Phi_{j1} \sin \omega t$$

$$\Phi_g = \sqrt{2} \Phi_{g1} \sin(\omega t - \theta)$$

根据电磁感应定律，在上述规定正向情况下，翼板中 Φ_j, Φ_g 产生的感应正弦电势 e_j, e_g 将分别滞后 Φ_j, Φ_g

90° ，即 $e_j = -\frac{d\Phi_j}{dt}$ ， $e_g = -\frac{d\Phi_g}{dt}$ 。

而涡流路径可近似看作纯电阻，故 i_j, i_g 分别与 e_j, e_g 同相，所以

$$i_j = \sqrt{2} I_{j1} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$i_g = \sqrt{2} I_{g1} \sin(\omega t - \theta - 90^\circ)$$

各项正弦量的矢量图关系如图 1-2-8 所示。图中，感应电势 e_j 与翼板中产生的涡流 i_j 同相；同样 e_g 与 i_g 同相。 Φ_j 超前 e_j 90° ， Φ_g 超前 e_g 90° 。

4. 交流二元继电器转动原理

载流导体在磁场中将受到电磁力的作用。为了说明翼板如何转动，结合图 1-2-9 所示翼板的受力情况进行分析。由图 1-2-9，铁芯有较大的气隙，铁芯中的磁通不易达到饱和，所以可以近似认为磁通与产生它的电流 i_j, i_g 成正比，即

$$\Phi_j = K \cdot i_j, \quad \Phi_g = K \cdot i_g$$

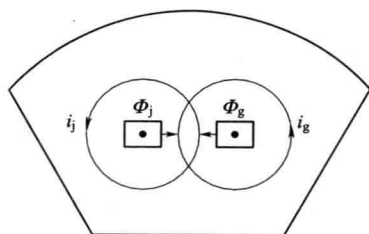


图 1-2-7 翼板上涡流的正向

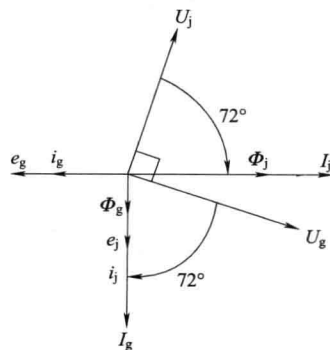


图 1-2-8 正弦量的矢量图关系

还可以近似地认为磁通与产生该磁通的电流同相。这里忽略了铁芯中的损耗,实际上磁通总要比产生该磁通的电流滞后一个相位角。

(1) 当 $t=t_1$ 时, Φ_j 为正值, Φ_g 、 i_j 、 i_g 为负值, 如图 1-2-10 所示。

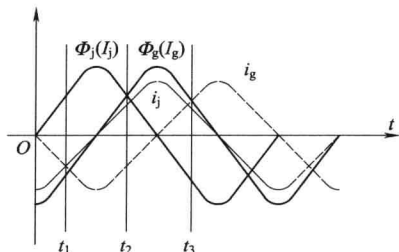


图 1-2-9 翼板的受力情况

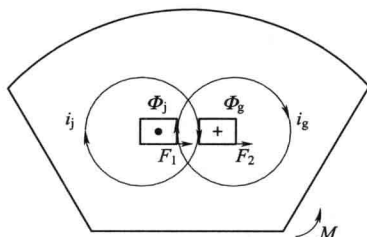


图 1-2-10 $t=t_1$ 时电磁力

电磁力的方向由左手定则确定,手心穿过磁力线(由 $N \rightarrow S$),四指伸开,指向电流方向,大拇指与四指成直角,大拇指的方向就是电磁力的方向。如左手心穿过 Φ_j 的由下而上的磁力线,四指指向通过 Φ_j 感应的 i_g 的电流方向 $\boxed{\cdot \uparrow} i_g$, 则大拇指所指的方向

$\boxed{\cdot \uparrow} F$, 就是电磁力的方向,即 F_1 指向右。

用同样的方法, Φ_g 与 i_j 相互作用产生的 F_2 也指向右。

对翼板来说,合力 $F = F_1 + F_2$, 使翼板向逆时针方向转动。

(2) 当 $t=t_2$ 时, Φ_g 、 Φ_j 、 i_j 为正值, i_g 为负值, 按规定这时翼板上 Φ_j 、 Φ_g 、 i_j 、 i_g 的方向如图 1-2-11 所示。

Φ_j 自下而上穿过手心,四指指向通过 Φ_j 的 i_g 的方向,大拇指的指向就是电磁力的方向 F_3 。同样, Φ_g 自下而上穿过手心,四指指向通过 Φ_g 的 i_j 的方向,大拇指所指方向 F_4 向右。对翼板来说合成电磁力向右,即翼板向上转动。

(3) 当 $t=t_3$ 时, Φ_g 、 i_j 、 i_g 为正向, Φ_j 为负。按规定这时翼板上 Φ_j 、 Φ_g 、 i_j 、 i_g 的方向如图 1-2-12 所示。

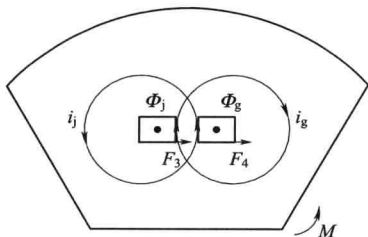


图 1-2-11 $t=t_2$ 时电磁力

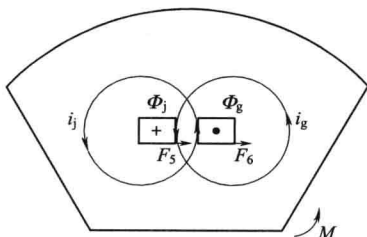


图 1-2-12 $t=t_3$ 时电磁力