



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

电能质量

程浩忠 艾芊 张志刚 朱子述 编著
陈章潮 主审

<http://www.tup.com.cn>



清华大学出版社

全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材



电能质量

程浩忠 艾芊 张志刚 朱子述 编著

陈章潮 主审

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分9章,分别论述了电能质量的基本概念、电力系统电压偏差、电力系统频率偏差、电力系统谐波、电压波动与闪变、电力系统三相不平衡、暂态过电压和瞬态过电压、配电系统可靠性、电压跌落。只要具有电力系统分析知识的读者都能顺利阅读并理解本书的内容。本书可作为电气工程、电力系统专业工程硕士研究生的教材,也可作为电力工程专业高年级本科生和研究生学习电能质量的教材,还可作为从事电能质量工作的工程技术人员和技术管理人员的专业培训教材或参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电能质量/程浩忠等编著. —北京:清华大学出版社,2006.9

(全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材)

ISBN 7-302-13645-9

I. 电… II. 程… III. 电能—质量分析—研究生—教材 IV. TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 097428 号

出 版 者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 张占奎

印 刷 者: 北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印 张: 28 字 数: 592 千字

版 次: 2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-13645-9/TM·87

印 数: 1~3000

定 价: 53.00 元

前言

自工业社会以来,电力已经成为现代人类社会中不可缺少的重要能源之一。无论在工业生产还是日常生活中,电力用户对电力的可靠性及质量的要求都在不断提高。随着科学技术及工业的发展,许多自动化程度很高的工业用户对电能质量越来越敏感,任何电能质量问题都将导致产品质量的下降,甚至工程作业的停顿,给用户造成不可估量的损失。信息科技的发展则对电能质量及供电可靠性提出更高的要求。信息电力供应应该具有高可靠性、高动态恒定特性、互不干扰性、控制灵活性、应用方便性等特点。它与传统电力供应的区别主要体现在:除了包括人们已经了解的稳态电压质量、谐波和电能的可靠性问题,还包括未为人们所熟知的动态电能质量问题。如何提供方便、优质的电能,使之更好地为信息化社会服务是当今电力工作者面临的新机遇和新挑战。同时,现代电力系统中,电力电子设备的应用越来越广泛,各种非线性、冲击性、波动性负载也大量增加,使电力系统所遭受的电能质量污染也日趋严重。电能质量直接关系到国民经济的总体效益,因此对电能质量进行深入研究有着非常重要的意义。为培养掌握电能质量知识的人才,国外许多著名大学的电气工程专业都开设了这方面的课程。譬如,美国 Purdue University 开设了“Power Quality”课程,The University of Texas AT Austin 开设了“Power Quality and Harmonics”课程;加拿大 University of Alberta 开设了“Advanced Power Quality”课程等。它们各自都编写了教学讲义。

为适应当前形势发展的需求,使更多的工程技术人员掌握电能质量知识,笔者于1999年就为工程硕士研究生和工学硕士研究生开设了“电能质量”课程。同时笔者在电能质量方面有着相当丰富的研究经历和扎实的研究基础,从事电能质量研究工作十余年;完成了30多项来自国家863,华东电网公司,上海市电力公司,上海市区、市东、市南供电公司等单位的有关电能质量方面的课题;在电能质量以及相关领域已发表论文150余篇。本书依托以上项目的报告和论文为背景,结合相关理论和基础工作,对在电能质量方面的教学经验和研究成果进行了提炼和总结。本书在编写过程中将理论与实用方法相结合,能使读者较快地进入这一领域的前沿,对电能质量问题有一个全面的了解。由于电能质量的国内外标准存在一定差异,而且各个国家电能质量问题的侧重点不一样,发达国家的

Foreword

电能质量问题以电压突降为主,而我国目前把主要问题放在谐波方面。因此本书主要针对我国国情介绍电能质量的成果,同时还介绍了国外电能质量的研究成果。

本书被列为“全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材”。全书由程浩忠、艾芊、张志刚、朱子述编著。其中第1~4章、第8章由程浩忠教授编著,第5章由张志刚副教授编著,第6章、第9章由艾芊副教授编著,第7章由朱子述教授编著,最后由程浩忠教授统稿,由陈章潮教授审阅。

本书能够完成获益于许多老师及其研究生,尤其是工程硕士在这一领域内的勤奋工作,还获益于陈章潮教授的不少宝贵意见。此外,国家自然科学基金会、国家科技部、国家教育部、上海市科学技术委员会、上海市教育委员会、上海市教育发展基金会都为笔者相关研究工作的开展提供了相应的资助。在本书的编写过程中,罗毓瑜、范宏、王霄桦、胡丹等进行了文字处理工作,在此一并向他们致以衷心的感谢。

鉴于目前国内外有关电能质量这一领域的许多问题尚在研究和探讨之中,加之作者水平有限,因此,不完善、不正确的地方在所难免,恳望读者予以批评指正。

作 者

2006年6月于上海

目 录

第 1 章 电能质量的基本概念 /1

1.1	电能质量的主要内容	2
1.2	关于电磁干扰和电能质量的分类	3
1.2.1	IEC 关于电磁干扰及其对电能质量影响的分类	3
1.2.2	IEEE 关于电磁现象和电能质量的分类	3
1.2.3	根据电能质量及电磁干扰现象特征的分类	5
1.3	中国电能质量标准与主要内容	5
1.3.1	电能质量标准化	5
1.3.2	电能质量国家标准简介	7
1.3.3	电力系统频率	9
1.3.4	供电电压允许偏差	9
1.3.5	三相电压不平衡度	9
1.3.6	电压波动和闪变	10
1.3.7	公用电网谐波	10
1.3.8	暂时过电压和瞬态过电压	11
1.4	关于电能质量的一些概念	12
1.5	动态电能质量	15
1.6	IEEE 电压容限曲线及分类	16
1.6.1	电压容限曲线	16
1.6.2	ITIC 曲线	17
1.6.3	IEEE Std. 1159—1995 中的有关定义	18
1.7	电能质量的研究概况	19
1.7.1	电能质量定义	20
1.7.2	电能质量问题起因	21

1.7.3	电能质量研究意义	21
1.7.4	电能质量特点	22
1.7.5	电能质量分析方法	23
1.7.6	电能质量标准	26
	参考文献	27

第2章 电力系统电压偏差 /31

2.1	电压偏差的国家标准	31
2.1.1	中国国家标准 GB 12325—1990	31
2.1.2	国外电压偏差的标准	32
2.2	电压偏差超标的危害	33
2.2.1	电压偏差对用电设备的影响	33
2.2.2	电压偏差对电力系统稳定和经济运行的影响	39
2.3	电力系统电压调整	47
2.3.1	有功、无功功率传输对电压水平的影响	47
2.3.2	负荷无功功率与电压水平的关系	49
2.3.3	电力系统电压调整	50
2.3.4	无功电压的自动控制	60
2.4	电力系统无功潮流	62
2.4.1	无功电源的优化	62
2.4.2	无功潮流优化的模型及算法	65
2.4.3	电网电压调整标准	74
2.4.4	无功补偿规划原则	76
2.4.5	无功补偿容量的配置	78
2.5	无功和电压管理	80
2.5.1	无功和电压管理的目标和方法	80
2.5.2	电压监测点和中枢点的选择	81
2.5.3	电力系统的电压监测	82
2.5.4	电压偏差的统计考核	84
2.5.5	无功功率补偿设备的运行和管理	85
	参考文献	86

第3章 电力系统频率偏差 /87

3.1	电力系统频率概念	87
-----	----------	----

3.1.1	频率偏差	87
3.1.2	频率的基本属性	87
3.1.3	电力系统频率、电源频率和负荷节点频率	88
3.1.4	频率波动	89
3.1.5	电力系统的频率特性	89
3.1.6	频率突然下降及崩溃	93
3.1.7	频率与电压的关系	95
3.2	频率偏差对电力系统的影响	96
3.2.1	影响频率的因素	96
3.2.2	系统低频率运行对水电厂的影响	97
3.2.3	系统低频率运行对火电厂的影响	98
3.2.4	系统低频率运行对负荷的影响	100
3.2.5	冲击负荷引起的电力系统频率波动	108
3.2.6	电力系统高频率运行的危害	109
3.3	电力系统频率的检测与评价	110
3.3.1	电力系统频率的4种运行工况	110
3.3.2	电力系统的动态频率	112
3.3.3	电力系统频率的检测	113
3.3.4	电力系统频率的评价	113
3.4	电力系统频率偏差的标准和规定	114
3.4.1	国内外有关的标准和规定	115
3.4.2	频率偏差标准和规定的讨论	119
3.5	电力系统频率调整	120
3.5.1	频率的一次调整	120
3.5.2	频率的二次调整	122
3.5.3	调频厂的选择	125
	参考文献	127

第4章 电力系统谐波 /128

4.1	电力系统谐波的基本概念	128
4.1.1	电力系统中正弦波形	129
4.1.2	谐波的定義和性质	129
4.1.3	非正弦波形的有效值和畸变率	132
4.1.4	特征谐波和非特征谐波	134

4.1.5	谐波和非特征谐波	135
4.1.6	谐波计算的等值电路参数	135
4.2	电力系统非正弦波形的分析方法	136
4.2.1	非正弦波形及其频域分解	136
4.2.2	非正弦电路的电压和电流	142
4.2.3	非正弦电路的功率和功率因数	145
4.2.4	非正弦波形有功功率、无功功率的时域定义	150
4.3	电力系统谐波的来源	152
4.3.1	发电机和电动机	152
4.3.2	变压器和电抗器	154
4.3.3	电弧的非线性伏安特性	158
4.3.4	整流换流装置	159
4.3.5	电力机车	161
4.3.6	家用电器	163
4.4	电力系统谐波潮流计算	163
4.4.1	电网各元件等值电路的谐波参数	164
4.4.2	对称系统的谐波潮流计算	167
4.4.3	谐波潮流的简化算法	168
4.5	电力系统谐波测量技术	171
4.5.1	概述	171
4.5.2	非正弦周期信号的采样	172
4.5.3	非正弦波形下常用电量的测量	173
4.5.4	谐波阻抗的测量	184
4.5.5	对电压互感器与电流互感器的要求	189
4.6	谐波对电网的影响和危害	191
4.6.1	谐波对电网的影响	192
4.6.2	谐波对高压设备的影响	193
4.6.3	谐波对低压用电设备的影响	196
4.6.4	谐波对继电保护的影响和危害	200
4.6.5	谐波对远动自动装置的影响	202
4.6.6	谐波对通信线路的干扰	203
4.7	电力系统谐波的抑制	204
4.7.1	减少谐波源的谐波含量	204
4.7.2	在电容器回路串接电抗器	207

4.7.3	安装交流滤波器	208
4.7.4	采用有源滤波器	209
4.7.5	加大供电系统容量和合理选择供电电压	210
4.7.6	采用相数倍增法	211
4.7.7	谐波对并联电容器的影响	211
4.7.8	电力电容器组的谐波过载能力	215
4.7.9	电容器对系统谐波阻抗的影响	217
4.7.10	并联电容器对谐波电流的放大作用	217
4.7.11	电容器的无功补偿方案	219
4.8	交流滤波装置	219
4.8.1	滤波装置接线方式和滤波方案	219
4.8.2	滤波器的滤波效益	221
4.8.3	单调谐滤波器	222
4.8.4	高通滤波器	226
4.8.5	滤波装置参数选择的条件	229
4.9	谐波对电能计量的影响	231
4.9.1	引言	231
4.9.2	电能表的分类	231
4.9.3	电能表运行原理	232
4.9.4	谐波引起电能表误差的分析	233
4.9.5	计量误差的改进措施及相关标准	237
4.10	电力系统谐波的标准及其管理	238
4.10.1	国外的谐波标准	238
4.10.2	国内公用电网谐波管理的标准	242
4.10.3	家用和低压电器的谐波限制标准	243
4.10.4	对谐波的管理	245
4.10.5	电力系统谐波的监测	246
	参考文献	248

第 5 章 电压波动与闪变 /251

5.1	电压波动与闪变的基本概念	251
5.1.1	电压波动	251
5.1.2	闪变	252
5.1.3	灯—眼—脑模型	255

5.1.4	电压波动和闪变的危害	256
5.2	电压波动和闪变的标准	257
5.2.1	电压波动和闪变的国家标准	257
5.2.2	我国新老标准以及与国际标准的比较	259
5.3	电压波动和闪变的测量	260
5.3.1	电压波动的检测方法	261
5.3.2	IEC 闪变检测方法	265
5.3.3	不同类型的闪变仪	269
5.4	电压波动和闪变的产生和抑制	275
5.4.1	电压波动的产生	275
5.4.2	电压闪变的产生	277
5.4.3	电压波动的抑制	279
	参考文献	288

第 6 章 电力系统三相不平衡 /290

6.1	三相不平衡的概念及计算	290
6.1.1	三相不平衡的概念及表达式	290
6.1.2	三相不平衡的计算	294
6.2	三相不平衡的标准及测量	299
6.2.1	三相不平衡的国家标准	299
6.2.2	三相不平衡的测量仪器	301
6.3	三相不平衡的危害及改善措施	304
6.3.1	三相不平衡的危害	304
6.3.2	三相不平衡的改善措施	308
	参考文献	312

第 7 章 暂时过电压和瞬态过电压 /313

7.1	暂时过电压和瞬态过电压的概念	313
7.1.1	电力系统过电压的定义和分类	313
7.1.2	电力系统过电压与绝缘配合	315
7.2	工频过电压的机理与限制	319
7.2.1	空载线路的电容效应与限制方法	319
7.2.2	单相接地时的工频电压升高	322

7.2.3	甩负荷引起的工频电压升高	323
7.3	谐振过电压的机理与限制	325
7.3.1	线性谐振	325
7.3.2	铁磁谐振	329
7.3.3	参数谐振	340
7.4	操作过电压的机理与限制	344
7.4.1	概述	344
7.4.2	单频振荡回路的过渡过程	344
7.4.3	空载线路的合闸和重合闸过电压	348
7.4.4	空载线路的拉闸过电压	350
7.5	雷电过电压的保护	354
	参考文献	354

第8章 配电系统可靠性 /355

8.1	配电系统可靠性	355
8.1.1	配电系统可靠性的概念	355
8.1.2	配电系统可靠性工作的重要性	355
8.1.3	配电系统供电可靠性的概念	356
8.1.4	供电可靠性评价指标与计算公式	357
8.1.5	可靠性统计的有关规定	361
8.2	配电系统可靠性准则	364
8.2.1	电力系统可靠性准则	364
8.2.2	配电系统可靠性准则	366
8.3	我国城市电力网可靠性的规定	366
8.3.1	概述	366
8.3.2	城市电力网对可靠性的一般要求	367
8.3.3	城市电力网可靠性标准	368
8.3.4	城市电力网可靠性应用	370
8.4	以元件组合关系为基础的配电系统可靠性预测方法	373
8.4.1	配电系统可靠性预测评估指标	374
8.4.2	简单放射状网络的评价	377
8.4.3	复杂网络的评价	383
8.5	配电系统缺电和停电损失的计算	389
8.6	配电系统可靠性经济评价	391

8.6.1	经济评价的原则	391
8.6.2	常用的可靠性经济评价方法	391
8.7	提高配电系统可靠性的措施	393
8.7.1	防止故障的措施	393
8.7.2	改善系统可靠度的措施	396
8.7.3	加速故障探测及故障修复	397
8.8	提高配电系统可靠性措施实施效果的计算	399
8.8.1	提高配电系统可靠性措施的效果分析	399
8.8.2	提高可靠度措施效果分布的计算方法	400
	参考文献	402

第9章 电压跌落 /403

9.1	电压跌落概述	403
9.1.1	电压跌落的相关概念	403
9.1.2	电压跌落的原因	404
9.1.3	电压跌落的研究现状	404
9.2	电压跌落的危害性	405
9.2.1	概述	405
9.2.2	电压跌落对计算机及电子设备的影响	406
9.2.3	电压跌落对交流驱动设备的影响	410
9.3	电压跌落的标准	421
9.4	电压跌落值的测量和计算	422
9.4.1	电压跌落幅值计算的基本方法	422
9.4.2	同时计算电压跌落幅值和相位跳变的算法	423
9.4.3	电压跌落持续时间的测量	425
9.5	抑制电压跌落的措施	426
9.5.1	概述	426
9.5.2	动态补偿技术	428
9.5.3	动态电能质量调节装置介绍	431
	参考文献	432

电能质量的基本概念

电能质量描述的是通过公用电网供给用户端的交流电能的品质。理想状态的公用电网应以恒定的频率、正弦波形和标准电压对用户供电。在三相交流系统中,还要求各相电压和电流的幅值应大小相等、相位对称且互差 120° 。但由于系统中的发电机、变压器、输电线路和各种设备的非线性或不对称性,以及运行操作、外来干扰和各种故障等原因,这种理想状态并不存在,因此产生了电网运行、电力设备和供用电环节中的各种问题,也就产生了电能质量的概念。围绕电能质量的含义,从不同角度理解通常包括如下几方面。

(1) 电压质量。指实际电压与理想电压的偏差,反映供电企业向用户供应的电能是否合格。这个定义包括大多数电能质量问题,但不包括频率造成的电能质量问题,也不包括用电设备对电网电能质量的影响和污染。

(2) 电流质量。反映了与电压质量有密切关系的电流的变化,电力用户除对交流电源有恒定频率、正弦波形的要求外,有些用户还要求电流波形与供电电压同相位以保证高功率因数运行。这个定义有助于电网电能质量的改善和线损的降低,但不能概括大多数因电压原因造成的电能质量问题。

(3) 供电质量。技术含义是指电压质量和供电可靠性。非技术含义是指服务质量,包括供电企业对用户投诉的反应速度以及电价组成的合理性、透明度等。

(4) 用电质量。包括电流质量,还包括反映供用电双方相互作用和影响中的用电方的权利、责任和义务,电力用户是否按期、如数缴纳电费等。

国内外对电能质量确切的定义至今尚没有形成统一的共识。但大多数专家认为,电能质量的定义应理解为:导致用户电力设备不能正常工作的电压、电流或频率偏差,造成用电设备故障或误动作的任何电力问题都是电能质量问题。

IEC(1000-2-2/4)标准将电能质量定义为:供电装置正常工作情况下不中断和干扰用户使用电力的物理特性。

IEEE 协调委员会对电能质量(power quality)的技术定义为:合格的电能质量是指给敏感设备提供的电力和设置的接地系统均是适合该设备正常工作的^[6,7]。

参考文献[2]对电能质量的定义是:电能质量一般是指电压或电流的幅值、频率、波形等参量距规定值的偏差。

不论如何表达,电能质量的概念中应包括电能供应过程中所要考虑的一切方面。

1.1 电能质量的主要内容

衡量电能质量的指标除了包括额定电压、额定频率和正弦波形外,还包括所有电压瞬变现象,如冲击脉冲、电压下跌、瞬时间断等。上述定义概括了电能质量问题的成因和后果,当然其中的偏差应作广义的理解,它还包括供电可靠性。

目前,电能质量的主要内容有以下方面。

- (1) 电力系统频率;
- (2) 供电电压允许偏差;
- (3) 电压合格率;
- (4) 三相电压不平衡度;
- (5) 电压波动和闪变;
- (6) 电压谐波;
- (7) 间谐波;
- (8) 暂时过电压和瞬态过电压;
- (9) 电压暂降和电压上升;
- (10) 断电和电压中断;
- (11) 电压瞬变;
- (12) 过电压和欠电压;
- (13) 交流电网中的直流分量;
- (14) 载波电压信号;
- (15) 电压切痕;
- (16) 稳态电压扰动;
- (17) 暂态(瞬态)电压扰动;
- (18) 动态电能质量问题等。

目前,在电能质量问题方面的主要研究课题有以下几个方面。

- (1) 研究谐波对电网电能质量污染的影响并采取相应的对策

由于钢铁等金属熔炼企业的发展,化工行业整流设备的增加,大功率晶闸管整流装置、GTO、IGBT、IGCT 及其他电力电子器件的开发应用,使公用电网的谐波污染日趋严

重,电源的波形产生了严重的畸变,影响了电网安全可靠运行。

(2) 研究谐波对电力计量装置的影响并采取相应的措施

由于波形畸变,使电力计量的准确度受到影响,导致计量误差,产生附加的功率损耗,造成不必要的经济损失。

(3) 研究电能质量污染对高新技术企业的影晌并采取相应的技术手段

由于计算机系统和基于微电子技术控制的自动化生产流水线以及新兴的 IT 产业、微电子芯片制造企业等,对电能质量的要求和敏感程度比一般电力设备要高得多,任何暂态和瞬态的电能质量问题都可能造成设备的运行异常或损坏,影响正常的生产,给电力用户造成经济损失。

(4) 加强电能质量控制装置的研制

电能质量控制装置的基本功能就是要在任何条件,甚至是极为恶劣的供电条件下改善电能质量,保证供电电压、电流的稳定、可靠,比如,在谐波干扰产生的瞬间能立即将其抑制或消除。

1.2 关于电磁干扰和电能质量的分类

1.2.1 IEC 关于电磁干扰及其对电能质量影响的分类

IEC 从电磁兼容及相互干扰的角度考虑,对电磁干扰及其对电能质量影响的分类如表 1-1 所示。

表 1-1 IEC 关于电磁干扰及其对电能质量影响的分类

序号	电磁干扰现象	对电能质量产生的影响因素
1	传导型低频现象	谐波、间谐波、载波干扰;电压波动;电压跌落和间断;电压不对称;工频偏差;感应低频电压;交流电网中的直流分量
2	辐射型低频现象	工频电磁场
3	传导型高频现象	感应连续波电压或电流;单方向瞬变;振荡性瞬变
4	辐射型高频现象	磁场;电场;电磁场;连续波;瞬变
5	静电放电现象	
6	核电磁脉冲	

1.2.2 IEEE 关于电磁现象和电能质量的分类

IEEE 根据电压扰动的频谱特征、持续时间、幅值变化等对供电系统典型的电磁干扰

现象进行了特征分类,为准确区分电压暂态现象提供了依据,如表 1-2 所示。

表 1-2 IEEE 关于电磁现象和电能质量的分类

种 类		频谱成分	持续时间	电压幅值	
电 磁 瞬 态	冲击	上升沿 5ns	<50ns	—	
		上升沿 1 μ s	50ns~1ms	—	
		上升沿 0.1ms	>1ms	—	
	振荡	低频	<5kHz	0.3~5ms	0~4(p. u.)
		中频	5~500kHz	20 μ s	0~8(p. u.)
		高频	0.5~5MHz	5 μ s	0~4(p. u.)
短 时 电 压 变 动	瞬时	中断	—	0.5~30 周波	<0.1(p. u.)
		跌落	—	0.5~30 周波	0.1~0.9(p. u.)
		升高	—	0.5~30 周波	1.1~1.8(p. u.)
	暂时	中断	—	30 周波~3s	<0.1(p. u.)
		跌落	—	30 周波~3s	0.1~0.9(p. u.)
		升高	—	30 周波~3s	1.1~1.4(p. u.)
	短时	中断	—	3s~1min	<0.1(p. u.)
		跌落	—	3s~1min	0.1~0.9(p. u.)
		升高	—	3s~1min	1.1~1.4(p. u.)
长期电压变动		持续中断	—	>1ms	0.0(p. u.)
		欠电压	—	>1ms	0.8~0.9(p. u.)
		过电压	—	>1ms	1.1~1.2(p. u.)
电压不平衡		—	稳态	0.5%~2%	
波 形 畸 变	直流偏移		—	稳态	0~0.1%
	谐波		0~100 次	稳态	0~20%
	间谐波		0~6kHz	稳态	0~2%
	陷波		—	稳态	—
	噪声		宽带	稳态	0~1%
电压波动		<25Hz	间歇	0.1%~7%	
工频变化			<10s		