

中频配电系统设计

中频(400 Hz)与工频(50 Hz)配电系统在保护设备的选择、配电线路配置和运行中对相关专业的要求等方面有不同的技术要求,对中频配电系统设计中相关要求等具体问题进行分析阐述。

张 琪/中国航空规划设计研究总院有限公司

0 引言

中频400 Hz静变电源在航空航天科研院所、民航系统等项目的电气设计中都会应用到,主要使用场所包括:航空电子车间、机载设备实验室、机务维修、桥载\车载电源和远机位站坪等处。中频(400 Hz)与工频(50 Hz)配电系统在保护电器的选择、配电线路的配置和运行中对相关专业的要求等方面均有不同,本文简单论述了中频配电系统设计的相关技术要求。

1 中频电源的选择

设计中需根据安装地点的需要选择不同形式的电源。目前飞机供电所需的中频电源根据安装方式的不同分为桥挂式、固定式和拖车式,容量为0.5 kV·A~180 kV·A。

根据电源输入输出的种类分为单相输入\单相输出、三相输入\单相输出、三相四线输入和三相四线输出,设计时应根据电源及负载情况选择。

电源容量应按照所带负载容量来确定,通常按下述方法计算并选择其中容量最大者。

1.1 按照稳定负荷容量计算

根据所带负荷的功率、数量和同

时使用系数进行功率因数计算,计算公式为

$$S = nPk / \cos \theta \quad (1)$$

如果设备为不同种类的设备时,需要分别进行计算后求和,计算公式为

$$\begin{cases} S_1 = nP_1k / \cos \theta \\ S_2 = nP_2k / \cos \theta \\ S = k_j \left[\sum_{i=1}^n S_i \right] \end{cases} \quad (2)$$

式中, S 为按稳定负荷计算的中频电源容量, kV·A; n 为所带负荷的数量; P 为所带负荷的安装功率; $\cos \theta$ 为电源的额定功率因数; k_j 为负荷的同时使用系数。

按照上述公式计算所得的容量为负载的总容量,在选择电源容量时考虑电源的效率等因素负载的总容量不宜大于中频电源额定容量的80%。

1.2 冲击性负载

对于冲击性负载(电动机等),其稳定运行时功率不超过中频电源额定容量的50%,起动电流不超过电源最大限制电流,起动时间不超过电源过载保护时间。

1.3 整流负载

对于整流性负载,单相整流负载容量不应超过电源单相额定容量的1/4; 6脉波的三相整流负载容量不应超过电源额定输出容量的1/6; 12脉波的三相整流负载,对于60 kV·A及以下的电源,负载容量不应超过电源额定输出容量的1/3; 60 kV·A以上电源,负载容量不应超过电源额定输出容量的1/4。



张 琪/高级工程师

关键词/Keywords

中频400 Hz电源·

断路器·

中频配电电缆·

电压补偿·

2 配电断路器的选择

2.1 电网频率对低压开关电器的影响

如果使用按50/60 Hz设计的低压开关电器在400 Hz频率下使用时, 需要考虑下述特性。

2.1.1 各极电路的发热负载能力

在400 Hz下由于趋肤效应而使导体电阻增高, 同时也使连接电路的相邻的例如操作轴、操作机构和角型紧固件等金属材料中的磁滞和涡流损耗也随之增加。考虑到工作电流频率对导体本身和相邻磁性材料的影响, 开关电器各极电路上的负载能力如下。

(1) 接触器的负载能力

接触器的允许工作电流与50 Hz时比较的关系式为

$$I_c(400\text{ Hz}) = I'_c(50\text{ Hz})\sqrt{50/400} \quad (3)$$

计算得出400 Hz下接触器允许的工作电流为0.812倍的50 Hz接触器工作电流。

(2) 断路器的负载能力

在400 Hz时由于频率更高, 会引起更高的损耗, 在相同电流下, 断路器温升更高, 为使其处于额定温升限度内, 需考虑降容使用。

大部分断路器的允许负载能力将降到50%~80%。

2.1.2 通断能力

在交流电流中, 电弧在每次电流过零时熄灭, 而在后续的半波中经重燃后又能继续存在。只有在电流过零后成功地阻止重燃, 才能有效地分断电弧电流。也就是在触头断开后, 应使断口即动静触头之间的空间尽快驱散原来存在的电弧时出现的载流子, 这样就使恢复电压不能重燃断口间隙。

在400 Hz时, 电流十分迅速地一个又一个地过零, 从而缩短了每个半波的电弧周期, 断口间隙中的电离度也就小于工频50 Hz时的电离度。因此, 在考虑频率对开关性能有影响的前提下, 低压开关电器可以使用于400 Hz配电系统。

对于接触器来说, 可以按照负载能力所确定

的值相应地降低额定工作电流即可。断路器的分断能力也应相应降低。

2.1.3 脱扣器的动作特性

过电流脱扣器: 热(反时限)脱扣器是用双金属片直接通过工作电流来加热的。由于双金属片在工频至400Hz范围内主要是电流热量, 附加的感应热量很小, 所以在电流相同的情况下脱扣时间会比50 Hz时快一些, 一般性能会下降大约10%。

短路脱扣器: 用非延时电磁式过电流脱扣器作为短路保护时, 电磁式脱扣器的动作除了与电流值的大小有关外, 也决定电流存在的时间。在400 Hz时, 半波时间很短, 衔铁是在达到电流有效值时才动作。此时脱扣器的结构形状起很大作用, 所以没有一个普遍适用的结论。但磁脱扣的阈值是会随着频率的增大而增大的。

一般断路器厂商会根据其产品分别给出两个脱扣器的整定修正系数。通常400 Hz热脱扣电流整定值低于50 Hz时的值, 即修正值小于1, 磁脱扣电流设定值反而比50 Hz时高, 即修正值大于1。

电子式脱扣器: 电子式过载脱扣器是通过测量互感器来检测电流的, 并通过电子系统进行处理。与热过载脱扣器不同, 如果脱扣器在一定负载范围内先行预载, 它的特性曲线就不会变化。因此, 在400 Hz频率下, 短路脱扣器因频率的变化而受到的影响是轻微的。

2.1.4 电磁操作机构和电动机操作机构的工作特性

电动操作机构指的是电磁操作机构和电动机操作机构。交流电磁铁的吸力是与磁反应强度的二次方成正比的, 而磁场强度反过来与电磁线圈上的电压频率成反比。在400 Hz时随着频率的升高, 按指定额定频率设计的线圈的吸力就降低。为了保持与50 Hz时相同的吸力, 应提高控制电压。

3 50 Hz断路器在400 Hz系统中的应用特性示例

前面分析了中频系统中按50 Hz设计的各低压电器的运行情况, 从中可以看出热磁脱扣器的断路器热元件的脱扣阈值随频率增高而减少, 原因

是材料传导率下降而相关的热现象增大。相反磁脱扣阈值随频率的增大而增大。因此，建议在实际使用中选择5In的断路器。

下面举例说明几种断路器产品在400 Hz系统使用时的整定值，以供参考。

3.1 T系列产品

表1为400 Hz系统中ABB公司几种电流规格下脱扣整定值。

表1 50 Hz热磁脱扣断路器在中频时整定值

额定电流 I_n (50 Hz) /A	MIN	MED	MAX	50 Hz时 I_3 /A	K_m	400 Hz时 I_3 /A
1.6	1	1.2	1.4	16	1.7	27.2
2	1.2	1.5	1.9	20	1.7	34
2.5	1.5	1.9	2.2	25	1.7	42.5
3.2	2	2.5	2.9	32	1.7	54.4
4	2.5	3	3.6	40	1.7	68
5	3	3.8	4.5	50	1.7	85
6.3	4	4.8	5.7	63	1.7	107.1
8	5	6.1	7.2	80	1.7	136
10	6.3	7.6	9	100	1.7	170
12.5	7.8	9.5	11.2	125	1.7	212.5
16	10	12	14	500	1.7	850
20	12	15	18	500	1.7	850
25	16	19	22	500	1.7	850
32	20	24.5	29	500	1.7	850
50	31	38	45	500	1.7	850
63	39	48	57	630	1.7	1 071
80	50	61	72	800	1.7	1 360
320	201	244	288	1 600	1.5	2 400
400	252	306	360	2 000	1.5	3 000
500	315	382	450	2 500	1.5	3 750

断路器低磁性设定时

额定电流 I_n (50 Hz) /A	MIN	MED	MAX	50 Hz时 I_3 /A	K_m	400 Hz时 I_3 /A
63	39	48	57	400	1.7	680
80	50	61	72	400	1.7	680
100	63	76.5	90	400	1.7	680
125	79	96	113	400	1.7	680
160	100	122	144	480	1.7	816
200	126	153	180	600	1.7	1 020
250	157	191	225	750	1.7	1 275

3.2 NSX产品

施耐德公司提供了中频运行时的修正系数，

如表2所示。设计时将50 Hz时的整定电流与表2中修正系数相乘，即可获得400 Hz下的电流设定值。 K_1 为热脱扣修正值； K_2 为磁脱扣修正值。

表2 热磁脱扣单元的修正系数

50 Hz时的 I_n /A	K_1	400 Hz的 设定值/A	50 Hz时的 I_n /A	K_2	400 Hz的 设定值/A
16	0.95	15	240	1.6	300
25	0.95	24	300	1.6	480
40	0.95	38	500	1.6	800
63	0.95	60	500	1.6	800
80	0.9	72	650	1.6	900
100	0.9	90	800	1.6	1 280
160	0.9	144	1 250	1.6	2 000
200	0.9	180	1 000-2 000	1.6	1 600-3 200
250	0.9	225	1 250-2 500	1.6	2 000-4 000

4 配电线路的选择

4.1 配电线路结构的选择

目前民航系统机务维修工程中配电线路通常采用的是平衡橡套电缆，某型号电缆结构型式如图1所示。

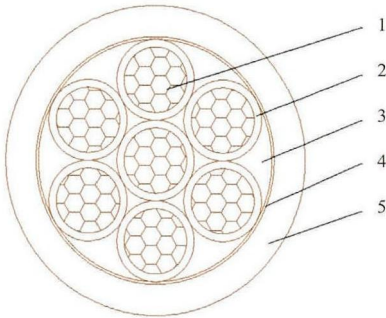


图1 7×35结构示意图

1—导体 2—绝缘 3—填充（按需） 4—包带 5—护套

此种电缆为三相对称结构，各相对其他导体的互感相同，在电流平衡的情况下不会造成电缆末端压降不平衡。因此，推荐在中频配电系统采用此种对称结构的电缆。

4.2 配电线路截面积的选择

中频配电电缆选择不能简单地依据工频电缆选型那样计算，即根据电缆的允许载流量及其在线路中的电阻压降来考虑选型。如果用于中频供

电的电缆采用普通电缆馈电时,因趋肤效应和邻近效应的显著作用,将会使导体的有效导电截面积减小。同时,由于供电频率的提高,整个线路压降中,除存在交流电阻部分外,尚有很大一部分是由于电抗引起的压降。因此,选择普通电力电缆用于中频电力输出时,需要考虑趋肤效应及邻近效应并进行较为详细的选择计算,经线路压降校验后方可确定。

根据《工业与民用配电设计手册》(第三版)电压损失计算章节中的数据配电铜导体在400 Hz时电流透入深度为60℃时0.367 cm;65℃时0.371 cm;70℃时0.377 cm。那么在选择线路时可以推测出截面积42 mm²以下的线路可以不考虑趋肤效应。

5 压降补偿容量的计算

以下分析串联无功补偿的原理。配电线路中由于存在电阻和电抗,当电流通过线路时,将产生电压降落。图2为接有串联电容器的传输线路等效图。

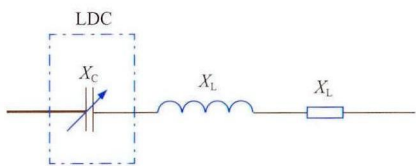


图2 线路等效图

串联电容器的作用是抵消线路感抗,当电流通过图2所示电路时,电容上将产生与线路电感压降相反的电压,将电感上的电压抵消,线缆压降仅是线缆电阻引起的压降,大大减少线路压降。

串联补偿效果上相当于提供一个电压源,该电压源由电流控制,串联在传输线上。通过接入串联电容,用电端电压将升高。升压计算公式为

$$U_{\text{boost}} = \frac{QX_c}{U_2} \quad (4)$$

式中, Q 为无功功率; X_c 为串联电容容抗, $X_c = \frac{1}{2\pi f C_2}$; U_2 为负载端电压。

将公式进一步推导得

$$\begin{aligned} U_{\text{boost}} &= \frac{QU_c}{U_2} = \frac{\sqrt{(1-\lambda^2)}SX_c}{U_2} \\ &= \frac{\sqrt{(1-\lambda^2)}U_2IX_c}{U_2} \\ &= \sqrt{(1-\lambda^2)}IX_c \end{aligned} \quad (5)$$

式中, λ 为功率因数。

由此可以确定配电线路电压补偿值与串联电容器的关系。

6 接地

从中频电源的结构图可以知道电源为“Y”型接线,中性点接地与否决定了中频配电系统接地形式。在MH/T 6018—2014《飞机地面静变电源》规范第4.4.2.8条规定:“静变电源输出中线不接大地时,应当持续监测中线与机壳、大地的电压差,在电压差的峰值超过50 V前,保护装置应动作,将静变电源与飞机电气系统断开”。第4.5.2.4条规定:“通过交流中线或直流负载接大地的方式可选择,静变电源可以通过机壳或底座接大地,交流中线和直流负载应通过可移除的方式和机壳或底座相连。”由此可以看出,中频电源输出侧中性点可以接地也可以不接地,系统接地型式为引出中性线的IT系统。

7 结束语

本文主要对中频(400 Hz)配电系统中静变电源容量的选择、保护电器技术参数整定与设置、配电线路的选择以及运行中对需要考虑的电压降、接地等问题进行分析说明,力争总结出中频配电系统电气设计要点和技术实施路径,为该领域的设计项目提供技术支撑。

参考文献

- [1] ABB(中国)有限公司. 低压配电电气设计安装手册[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [2] GJB 181—86 飞机供电特性及对用电设备的要求[S].
- [3] MH/T 6018—2014 飞机地面静变电源[S].

(收稿日期:2017-03-15) EA