

直流阻性家电特性测试与分类研究

王议锋¹,张明智¹,陈博¹,陈梦颖¹,陈晨¹,谢文强²

(1.天津大学 电气自动化与信息工程学院,天津 300072

2.国网江苏省电力有限公司电力科学研究院,江苏 南京 211100)

摘要:为了给直流配用电系统中通用适配器的研究提供理论依据,全面地了解直流家用负载的特性尤为重要。对常见的直流家电中的直流阻性家电进行了大量实验测试。通过渐进升高直流阻性家电端电压,记录其端电压及负载电流数据,并对数据进行分析与处理,绘制了直流阻性家电伏安特性曲线以及斜率曲线;根据两种曲线的变化趋势及其规律,对直流阻性家电特性进行了分析与归纳,将直流阻性家电归为两类;基于分类以及两种曲线的特点,提出了三种适用于直流阻性家电通用适配的基本控制构想,为直流家电通用适配器的研究奠定了理论基础,为直流家电自适应适配起到了积极地促进作用,为直流用电技术的发展指引了方向。

关键词:直流配用电系统;直流家电;通用适配器;特性测试;负载分类

中图分类号:TM46 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed24336

Research on Characteristic Test and Classification of DC Resistance Home Appliances

WANG Yifeng¹,ZHANG Mingzhi¹,CHEN Bo¹,CHEN Mengying¹,CHEN Chen¹,XIE Wenqiang²

(1.School of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072,

China;2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Electric Power

Research Institute, Nanjing 211100, Jiangsu, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for the research of universal adapters in DC power distribution systems, it is particularly important to fully understand the characteristics of DC household loads. A large number of experiments and tests were carried out on DC resistive home appliances among common DC home appliances. By gradually increasing the terminal voltage of DC resistive home appliances, recording its terminal voltage and current data of loads, and analyzing and processing the data, the volt-ampere characteristic curve and slope curve of DC resistive home appliances were drawn. According to the changing trends and laws of the two curves, the characteristics of DC resistance home appliances were analyzed and summarized, and DC resistance home appliances were classified into two categories. Based on the classification and the characteristics of the two curves, three basic control ideas suitable for universal adaptation of DC resistive home appliances were proposed, which lays a theoretical foundation for the research on universal adapters for DC home appliances, plays a positive role in promoting the adaptive adaptation of DC home appliances, and guides the development of DC power technology.

Key words: DC power distribution system; DC home appliance; universal adapter; characteristic test; load classification

伴随全球资源紧张,能源需求增加,太阳能、风能等可再生能源发电技术得到飞速发展^[1],分布式能源概念随之兴起并推广应用,新能源的配电技术也不断创新与发展^[2]。随着分布式新能源的高效利用与研究,专家学者们逐渐将研究目光聚集于直流微电网系统上^[3-5]。在直流微电网中,

直流配电是主要的电能传输分配方式,具有高可靠性、节能性、安全性和易扩展等特点^[6-13],在新能源电力系统、航天系统及商业楼宇等独立供电系统中具有十分广阔的应用前景^[14]。

近年来,电力电子技术取得突破性进步,网络通信技术得到长足发展,电能终端的用电形式

基金项目:国家重大自然科学基金项目(51977146);2021年天津市研究生科研创新项目(2021YJSB152);

2021年天津市研究生科研创新项目(2021YJSO2S01)

作者简介:王议锋(1981—),男,博士,副教授,主要研究方向为先进电力电子技术在电网中的应用,Email:wayif@tju.edu.cn

通讯作者:陈博(1989—),男,博士,主要研究方向为多谐振直流变换器,Email:cb92614@126.com

不再单一,呈现多样化。国外研究表明,直流负荷在某些类型建筑中所占比重持续增加,部分甚至达到90%以上^[15-16],这些变化主要体现在使用直流的设备增多。目前,直流驱动的电器设备越来越多,其工作时需要使用电力电子变换器对交流电进行整流等变换,将交流电变换为直流电,再提供给电器设备使用。许多家电实际上都是使用直流电,并且都配备有适配器。典型的直流家用电器有:小功率家电,如电视机、电脑、发光二极管(light-emitting diode, LED)照明、网络通讯设备等;大功率家电,如冰箱、空调、洗衣机、电磁炉等^[16-17]。

相比于交流电,直流电更具优势:1)在能耗上,同等耗能设备使用直流电可使效率达90%以上,而交流仅为80%;2)在人身安全上,交流电的安全电压值仅为36 V,而直流电的安全电压值为72 V,并且直流电为不接地系统,与大地之间不形成回路,安全性更高^[15-17]。

因此,直流家电更节能、更高效、更安全,家电直流化也将成为家电发展的一种趋势。

目前常见的直流家电在使用时必须先经过适配器进行电能变换,才能正常使用。因此,市面上常见的直流家电都有配套的适配器^[18]。而不同厂家、不同功能、不同电压等级的直流家电的适配器各不相同,这种差异主要体现在适配器的输出电压及其输出接口上。常见适配器的直流输出电压有5 V, 12 V, 24 V, 48 V等电压等级^[19-20],不同电压等级的适配器通常不通用。高电压等级的家电使用低电压输出适配器会使家电因欠压而无法正常工作,反之则可能使家电因过压而损坏。而不同的输出接口也使得各家适配器不能共用。因此,为了解决上述问题,研究直流家电的通用适配器具有十分重要的意义。

为研究直流家电通用适配器,就必须全面地了解常见的直流家电特性。而市面上的直流家电的功能和用途各不相同:有加热类的,如车载电热毯;有充电式的,如移动电源;有带电机类的,如手电钻等,总体上可以分为直流感性负载和直流阻性负载。

对于充电宝等直流感性家电,其伏安特性存在明显特征:当端电压小于某阈值时,其电流接近零且基本不变;当端电压超过该阈值时,其电流存在明显跃升,直流感性负载开始工作。针对直流感性家电的这一特征,可将升压过程中电流

跃升时的电压作为家电的工作电压,实现适配。

对于直流阻性家电,其伏安特性并没有明显特征,如电热毯的伏安特性近似于一条直线。该类家电如何适配是研究通用适配器的一大难点。

本文针对常见的直流阻性家电进行了大量的实验测试,记录持续升高直流阻性家电端电压时对应的电流,并对端电压及电流数据处理与分析,绘制伏安特性曲线和斜率曲线,并以此为依据对常见直流阻性家电进行分类,并基于分类提出了三种通用适配的基本控制构想。

1 直流阻性家电的测试与分类

为全面而详细地了解直流阻性家电的特性,需要先选择尽可能多的直流阻性家电。

1.1 直流阻性家电参数论文前置部分

本文测试选用了40余款常见的直流阻性家电,主要包括不同电压等级、不同生产厂家的电热毯、烧水壶、电饭锅、暖风机以及蚊香液等。受文章篇幅限制,本文从不同电压等级、不同功能的直流阻性家电中各列举一种进行详细说明,其电压等级和功率详见表1。

表1 直流阻性家电参数

名称	电压等级/V	功率/W
电热蚊香液	5	5
	12	12
电热毯	12	50
	24	50
	36	53
车载电饭锅	12	100
	24	300
	12/24	100/200
车载点烟器	24	12
	12	150
车载暖风机	24	150
	24	300
	12	96
车载烧水壶	24	200
	12/24	96/200

1.2 直流阻性家电测试

直流阻性家电测试类似于测试黑箱中的某电路的电气特性,可直接通过测试得到的物理量是直流阻性家电的端电压及流过家电的电流。通过处理得到的电压和电流数据,可以得到直流阻性家电的伏安特性及其斜率曲线,这是研究直流阻性家电特性的基础。

本文测试选用的部分直流阻性家电包含不同工作模式,如电热毯含有高温档和低温档两种工作模式等。为了全面而详细地了解直流阻性家电的特性,本文对不同家电的各种工作模式均进行了测试。

测试时,从0 V开始以0.2 V为一个步长,逐步升高直流电压源输出电压,记录每一步直流阻性家电的端电压及电流,当直流阻性家电端电压达到其额定电压1.5~2倍时结束升压过程。

以直流阻性家电的端电压作为横轴变量,以流过直流阻性家电的电流和斜率为纵轴变量,绘制直流阻性家电的伏安特性曲线及其斜率曲线。在绘制斜率曲线时,本文以相邻电流和电压之间的斜率公式计算斜率,用 k 表示,其单位与导纳一致,为西门子(S)。

实验过程中,由于仪器数据显示的波动,低电压时存在较大误差。为了不影响测试精度,本文在绘制曲线时忽略低端电压时的电流及斜率数据。由于直流阻性家电电压、电流和斜率存在量级上的差异,为了便于读者阅读,本文在绘制伏安特性曲线和斜率曲线时,对电流和斜率数据进行了适当比例的放大。

1.2.1 5 V 电热蚊香液

分析图1两条曲线可得如下结论:

1)该电热蚊香液在额定电压下,伏安特性曲线没有明显特点;在端电压在7 V附近时,电流会达到最大值;当端电压超过7.8 V时,电流开始下降。

2)忽略端电压1 V及以下偏差,斜率曲线在5.2 V附近出现第一个由正过零变负的点。

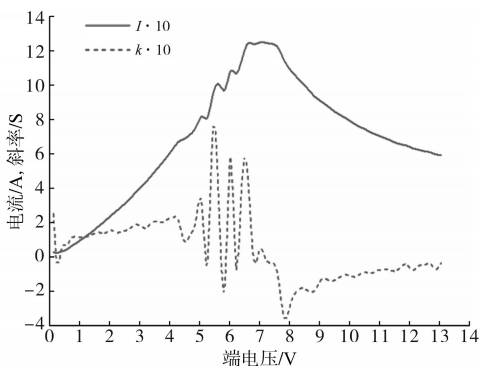


图1 5 V 电热蚊香液特性曲线

Fig.1 Characteristic curves of 5 V electric mosquito coil

1.2.2 12 V 电热蚊香液

由图2可知,该12 V 电热蚊香液的伏安特性曲线及斜率曲线与5 V 电热蚊香液类似,其电流最大值点与斜率由正过零变负点出现在端电压

为8 V附近。

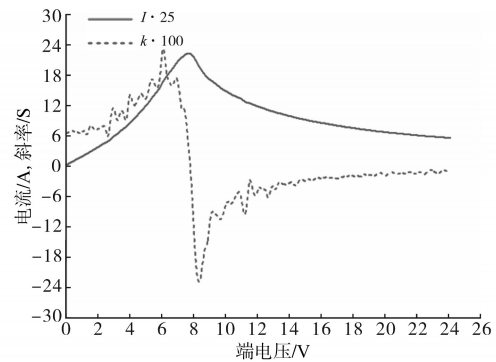


图2 12 V 电热蚊香液特性曲线

Fig.2 Characteristic curves of 12 V electric mosquito coil

1.2.3 12 V 电热毯

该款电热毯有低温档和高温档两个工作模式,本文分别对这两种工作模式进行测试。测试后发现两种模式的伏安特性曲线与斜率曲线趋势基本一致,选择高温档呈现,如图3所示。

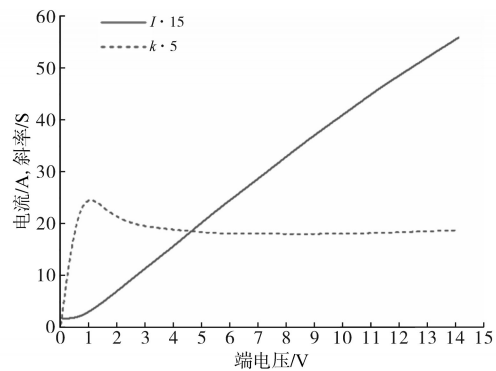


图3 12 V 电热毯特性曲线

Fig.3 Characteristic curves of 12 V electric blanket

由图3可知,忽略5 V及以下端电压范围内电流及斜率的波动,随着端电压的升高,该电热毯伏安特性曲线趋近于一条直线,其斜率曲线近似于一条水平线,可以认为该电热毯的阻抗近似为纯电阻。

1.2.4 24 V 电热毯

该24 V 电热毯共有9个调温档位,由低到高分别为1~9档。实验测试发现,该24 V 电热毯9个调温档位的两种特性曲线趋势基本一致,选择第9调温档呈现,如图4所示。

由图4可知,忽略5 V及以下端电压范围内电流及斜率的波动,24 V 电热毯伏安特性曲线与斜率曲线与12 V 电热毯相似,并且在电压相等的情况下,档位越高,电热毯阻抗越小,电流越大,工作功率越高。

1.2.5 36 V 电热毯

该电热毯共有低温档和高温档两个调温档位。

同12 V电热毯一样,选择低温档呈现,如图5所示。

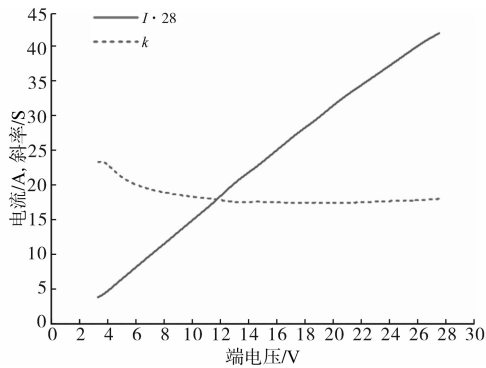


图4 24 V电热毯特性曲线

Fig.4 Characteristic curves of 24 V electric blanket

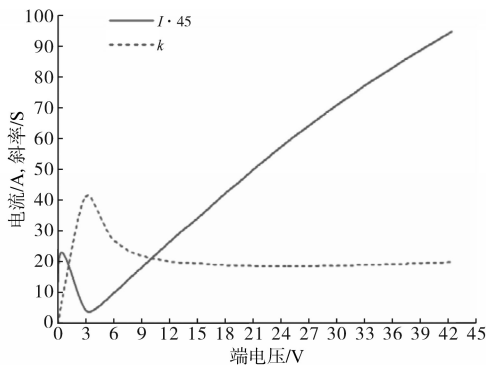


图5 36 V电热毯特性曲线

Fig.5 Characteristic curves of 36 V electric blanket

由图5可知,忽略5 V及以下端电压范围内电流及斜率的波动,36 V电热毯伏安特性曲线及斜率曲线与12 V电热毯相似。

1.2.6 12 V车载电饭锅

由图6可知,忽略3 V及以下端电压范围内电流及斜率的波动,12 V车载电饭锅伏安特性曲线及斜率曲线与12 V电热毯相似。

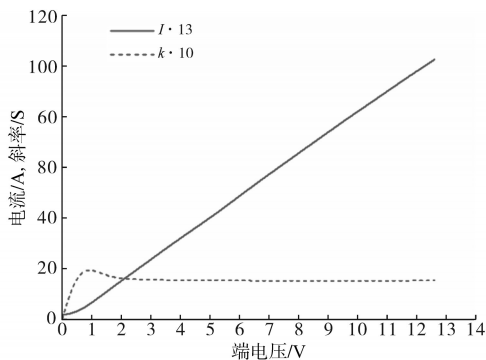


图6 12 V车载电饭锅特性曲线

Fig.6 Characteristic curves of 12 V electric rice cooker

1.2.7 24 V车载电饭锅

由图7可知,忽略5 V及以下端电压区间电流及斜率的波动,24 V车载电饭锅特性曲线与12 V电热毯相似。

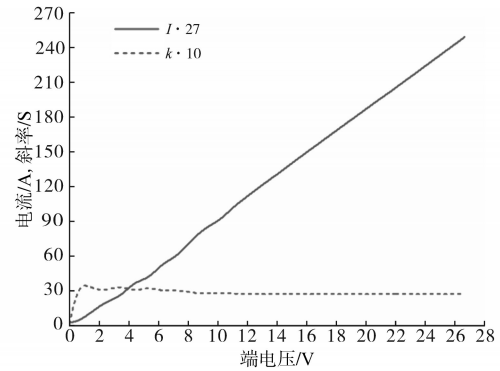


图7 24 V车载电饭锅特性曲线

Fig.7 Characteristic curves of 24 V electric rice cooker

1.2.8 12 V/24 V通用车载电饭锅

测试用12 V/24 V车载电饭锅适用于小轿车(12 V电瓶供电)和大卡车(24 V电瓶供电),该家电有两个工作电压,且在12 V和24 V均可正常工作。该家电共有6个工作模式,即煮饭模式、煲粥模式、酸奶模式、慢炖模式、养生汤模式和蛋糕模式。测试时,6种工作模式的伏安特性曲线与斜率曲线趋势基本一致,选择蛋糕模式呈现,如图8所示。

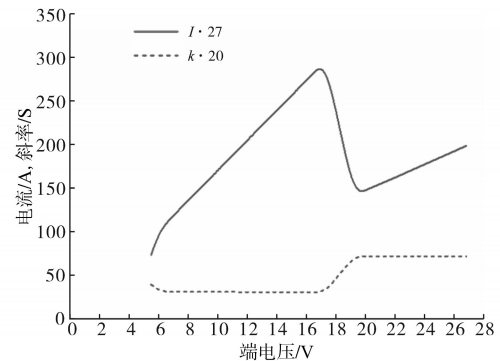


图8 12 V/24 V车载电饭锅特性曲线

Fig.8 Characteristic curves of 12 V/24 V electric rice cooker

在图8中,伏安特性曲线和斜率曲线从5.5 V端电压开始绘制,这是因为该家电内部设置有欠压保护装置及模式选择功能模块,当电压达到5.5 V及以上时,模式选择功能模块达到其工作电压,才能选择工作模式,只有选定某一工作模式,该电饭锅才能工作,其电流随电压的升高而近似线性增长。

1.2.9 24 V车载点烟器

由图9可知,忽略4 V及以下端电压范围内电流及斜率的波动,24 V车载点烟器的特性曲线与12 V电热毯相似。

1.2.10 12 V-150 W车载暖风机

由图10可知,该车载暖风机的伏安特性曲线与斜率曲线与5 V电热蚊香液类似,其电流最大

值点与斜率由正过零变负点出现在端电压为13 V附近。

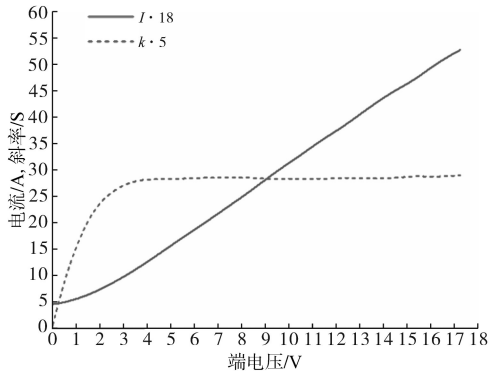


图9 24 V车载点烟器特性曲线

Fig.9 Characteristic curves of 24 V car cigarette lighter

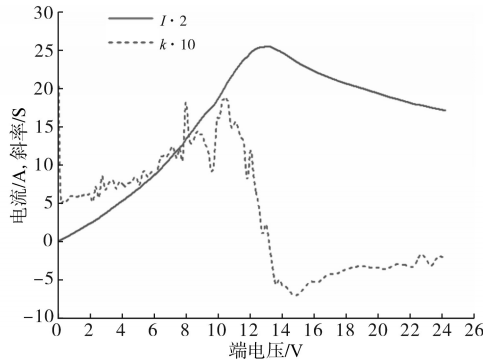


图10 12 V-150 W车载暖风机特性曲线

Fig.10 Characteristic curves of 12 V-150 W car heater

1.2.11 24 V-150 W 车载暖风机

由图11可知,该车载暖风机的伏安特性曲线及斜率曲线与5 V电热蚊香液类似,其电流最大值点与斜率由正过零变负点出现在端电压为21 V附近。

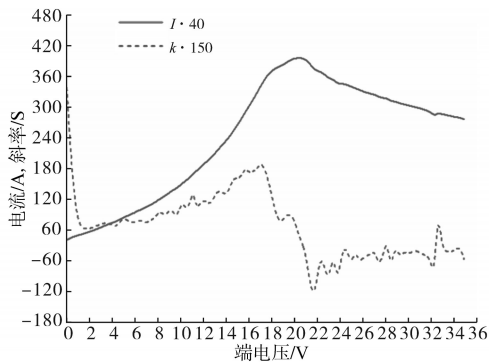


图11 24 V-150 W车载暖风机特性曲线

Fig.11 Characteristic curves of 24 V-150 W car heater

1.2.12 24 V-400 W 车载暖风机

由图12可知,该车载暖风机的伏安特性曲线与斜率曲线与5 V电热蚊香液类似,其电流最大值点与斜率由正过零变负点出现在端电压为24 V附近。

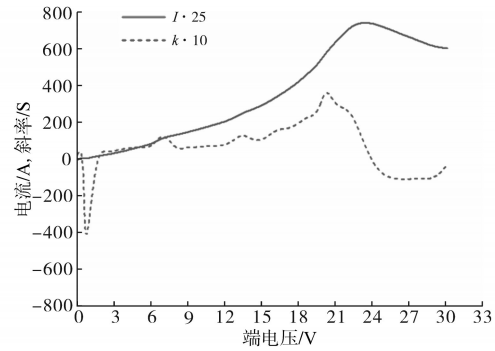


图12 24 V-400 W车载暖风机特性曲线

Fig.12 Characteristic curves of 24 V-400 W car heater

1.2.13 12 V 车载烧水壶

由图13可知,该车载烧水壶电流随端电压的升高呈非线性增长,而当端电压超过16 V时,其电流基本不变,达到近似稳态;该车载烧水壶的斜率曲线与5 V电热蚊香液相似,斜率由正过零变负点出现在端电压14 V附近,接近其额定电压值。

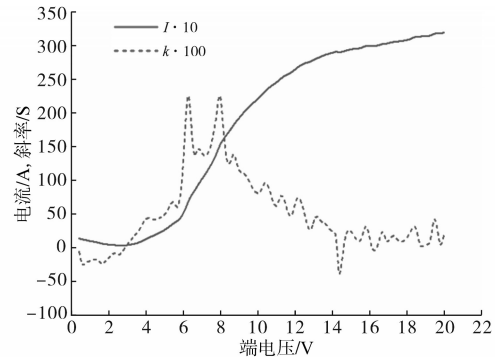


图13 12 V车载烧水壶特性曲线

Fig.13 Characteristic curves of 12 V car kettle

1.2.14 24 V 车载烧水壶

由图14可知,该车载烧水壶特性曲线与12 V车载烧水壶相似,斜率由正过零变负点出现在端电压24 V附近,接近其额定电压值。

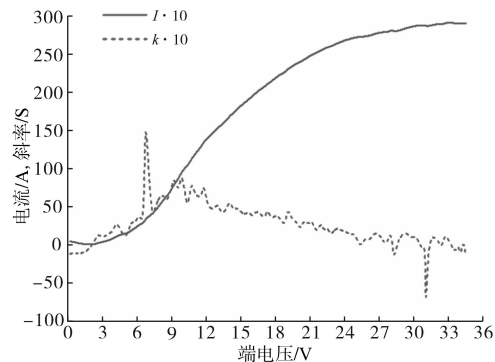


图14 24 V车载烧水壶特性曲线

Fig.14 Characteristic curves of 24 V car kettle

1.2.15 12 V/24 V 车载烧水壶

由图15可知,12 V/24 V车载烧水壶与12 V/

24 V车载电饭锅相同,均有12 V和24 V两个额定电压,并且均在16~19 V端电压范围内自动切换额定电压;12 V/24 V车载烧水壶特性曲线与12 V、24 V车载烧水壶类似,在电压切换过程前后,其电流随端电压升高呈非线性增长;其斜率曲线第一个斜率由正过零变负点在端电压为15 V附近,第二个斜率由正过零变负点在端电压为25 V附近。

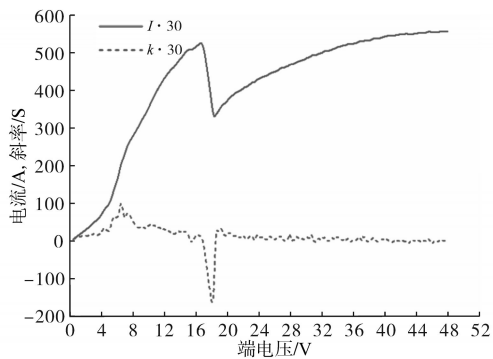


图15 12 V/24 V车载烧水壶特性曲线

Fig.15 Characteristic curves of 12 V/24 V car kettle

1.3 直流阻性家电分类

根据直流阻性家电测试特性曲线可得到两个结论:

1)三种不同额定电压的电热毯、车载点烟器和三款车载电饭锅伏安特性曲线近似为直线,斜率曲线近似为水平线,这些家电与纯电阻负载特性相似。

2)电热蚊香液和车载暖风机伏安特性曲线以及斜率曲线相似,且与三款车载烧水壶都存在斜率由正过零变负点,且出现在额定工作电压附近。

针对上述两个结论,可以把直流阻性家电基本分为两类,即似纯阻性家电和过零点型家电,如表2所示。

表2 直流阻性家电分类

Tab.2 The identification of DC resistive load

类别	名称	电压等级/V	功率/W
似 纯 阻 性 家 电	电热毯	12	50
		24	50
		36	53
	车载点烟器	24	12
		12	100
		24	300
车载电饭锅	12/24	100/200	
过 零 点 型 家 电	电热蚊香液	5	5
		12	12
	车载暖风机	12	150
		24	150
		24	300
	车载烧水壶	12	96
		24	200
	12/24	96/200	

2 直流阻性家电通用适配的基本控制构想

直流家电需要通过相应适配器,将传统交流电变换为特定电压的直流电,才能正常工作。而不同的直流家电所需的直流电压不尽相同,如何给直流家电提供其对应的正常工作电压是研究通用适配器的重点与难点。

实验测试发现,各家电额定电压一般都是根据5 V,12 V,24 V,36 V,48 V等直流电压等级设计的,而在这些电压等级附近,家电往往都不是工作在最优工作点。以直流电热毯为例,其伏安特性近似于直线,端电压越高,其电流越大,功率越高。因此,对直流阻性家电适配时,可以根据家电出厂铭牌的额定电压为家电供电;也可以不根据其额定电压供电,而是在满足其温度、绝缘、耐压等安全要求下实现适配即可。

本文基于直流阻性家电的分类以及两种特性曲线,提出了三种通用适配的基本控制构想。

2.1 分类适配

研究直流阻性家电通用适配器时,根据分类结果以及伏安特性曲线、斜率曲线的特点,可先将斜率曲线近似为一条水平线的直流阻性家电识别为似纯阻性家电,反之则为过零点型家电;再基于两类家电各自不同的适配方法实现通用适配。

2.1.1 似纯阻性家电适配

根据分类可知,似纯阻性家电也可以分为电热毯类和电饭锅类。似纯阻性家电的伏安特性曲线近似为一条直线,流过该类家电的电流随端电压的升高近似呈线性增长。当端电压超过额定电压值数倍时,流过家电的电流同样会超过其额定电流数倍,此时该家电可能会因为功率过高而损坏,甚至引起触电或火灾等事故。如何控制似纯阻性家电的端电压或流过的电流是似纯阻性家电适配的难点。

以直流电热毯为例,在其制造过程中,安全是需要首先并着重考虑的。不考虑制造工艺上可能出现的安全隐患,电热毯在制造时需要重点考虑温度因素。当温度过低时,使用电热毯起不到取暖的作用;当温度较高时,用户会因为电热毯温度过高而感到不适;当温度过高时,可能会使用电热毯电线绝缘老化而引起触电事故,甚至可能导致电热毯着火而引发火灾。因此,在电热

毯制造时需要把温度控制在人体体验感较好的范围内,并且不会损坏电热毯绝缘。

本文对直流电热毯进行温度测试,把电热毯端电压从额定电压开始逐渐升高,使用测温仪对电热毯各部位温度进行测量并记录温度最高部位的温度,直到温度达到动态稳定或者温度高于100℃为止。任选一款直流电热毯进行温度测试,其温度特性详见表3。

表3 12 V电热毯温度特性

Tab.3 Temperature characteristics of 12 V electric blanket

工作电压/ V	测温部位	测试时长/ min	最高温/ ℃	平均温度/ ℃
12	进线端电线	90	63.2	58.27
14	进线端电线	60	82.8	72.98
16	进线端电线	40	85.8	77.87
18	进线端电线	30	97.4	90.98
24	进线端电线	20	98.1	92.01

该12 V电热毯在测试过程中,温度最高的部位是其进线端电线,使用的电线型号为CCC INSULATOR WIRE & CABLE PVC 450/750 V,根据该电线的数据手册,可知其允许长时间最高工作温度为70℃。

由表3可知,12 V电热毯工作在额定电压时,平均温度为58.27℃,满足安全要求;而当该电热毯工作在14 V及以上端电压时,其进线端电线温度超过70℃,并且电压越高,温升越高且越快,不满足电线的温度要求。

为研究影响电热毯温度变化的因素,本文记录了相同与不同额定工作电压的多款电热毯随端电压升高时温度与电流变化的数据,选择几款典型的电热毯数据呈现,如表4~表7所示。

表4 12 V-50 W电热毯电流与温度特性

Tab.4 Current and temperature characteristics of 12 V-50 W electric blanket

端电压/V	12	14	16	18
稳态温度/℃	58	75	83.8	94.7
电流/A	3.04	3.55	4.07	4.47

表5 12 V-40 W电热毯电流与温度特性

Tab.5 Current and temperature characteristics of 12 V-40 W electric blanket

端电压/V	12	14	16	18
稳态温度/℃	58	75	83.8	94.7
电流/A	3.04	3.55	4.07	4.47

表6 24 V-50 W电热毯电流与温度特性

Tab.6 Current and temperature characteristics of 24 V-50 W electric blanket

端电压/V	12	14	16	18
稳态温度/℃	58	75	83.8	94.7
电流/A	3.04	3.55	4.07	4.47

表7 36 V-53 W电热毯电流与温度特性

Tab.7 Current and temperature characteristics of 36 V-53 W electric blanket

端电压/V	36	44	48	55	63
稳态温度/℃	35.0	35.8	43.1	55.8	60.3
电流/A	2.14	2.58	2.74	2.93	3.33

由表4~表7可知,当电热毯端电压升高时,只要电流不超过3 A,其温升就不会超过其电线的上限值,可安全工作。

对于似纯阻性家电中的另一类——电饭锅,其额定工作状态下电流比较大,功率较高,但其内部设有温度控制开关,温度过高时温度控制开关会自动断开,且其电源线的线径与耐高温强度都比电热毯的高。由此可知,温度不是影响电饭锅安全性的主要因素。对于电饭锅,应着重关注其电流。表8给出了不同电压等级电饭锅额定工作时的电流数据。

表8 不同电饭锅电流

Tab.8 Current of different electric rice cooker

序号	电压等级/V	功率/W	电流/A	备注
1	12	100	9.9	9 V/7.5 A
2	12	100	7.8	
3	12	100	7.6	
4	24	200	7.5	
5	24	200	7.5	
6	24	200	8.5	
7	12/24	96/200	7.7/6.7	

由表8可知,12 V或24 V电饭锅电流小于7.5 A时,可使表8中电饭锅工作在额定工作点附近。

对于车载点烟器,当温度达到要求时,点烟器会自动弹起并断开与底座之间的电气连接。点烟器端电压越高时,温升越快,其弹起的时间越短。因此,车载点烟器与其他似纯阻性家电不同,它对电压和电流没有太高要求。

由上所述,似纯阻性家电可以根据电流变化率的大小分为电热毯和电饭锅两类,分别限定3 A和7.5 A的电流可以保证似纯阻性家电的正常工作。

该适配方法的优点是可以通过对电流变化率的判别与电流瞬时值的限制即可实现对似纯阻性家电的适配,操作简单,易于实现;缺点是并

不能使所有的似纯性家电都工作于额定工作状态,效率稍低。

2.1.2 过零点型家电适配

由过零点型家电的伏安特性曲线以及斜率曲线,额定电压附近存在斜率由正过零变负点。对该类家电进行适配时,可以通过编程,从3 V端电压开始均匀升高家电端电压,去除低压部分的误差,并对家电的电压信号和电流信号进行采样并处理,计算升压过程中斜率的大小,记录第一个斜率由正过零变负点时的电压,再通过闭环稳压电路将该电压输出给家电,实现适配。

该方法相比于似纯阻性家电的限流适配方法的优点是输出电压可以维持在额定电压附近,效率较高;但缺点是对采样电路要求高,采样电路如果存在较大偏差,那么计算得出的斜率也会相应地出现很大偏差,可能会使斜率过零点前后移动,甚至消失,导致适配的电压产生较大偏差,影响适配效果,甚至因适配电压过高而损坏家电。

2.2 通信适配

随着蓝牙技术、直流载波通信技术等通信技术的飞速发展,通信技术已广泛应用于移动便携式通信设备和PC设备,其实际应用还拓展到家用家电、各类电子产品以及车载电器等领域,具有使用方便、能耗小、安全可靠、高速等优点。

在直流阻性家电上安装通信组件,可实现家电与微机之间的连接。通过通信技术,由家电向微机提供家电所需要的额定电压,再由微机调控家电端电压,实现适配。

通信适配的主要优点是家电工作时可以较好地适配在额定电压下,效率高,安全性好;但缺点也很明显,需要在每一个家电上安装通信组件以及额外的供电电路以满足通信组件的正常工作,这会额外增大家电的体积与重量,增加家电的设计与制造的难度,升高生产成本。

2.3 智能算法适配

在人工智能算法中,神经网络算法通常用于解决分类和回归问题,主要包括:感知机神经网络、反向传播(back propagation, BP)神经网络、自组织映射以及学习矢量量化(learning vector quantization, LVQ)等等。

将测试得到的某一直流阻性家电端电压 U_0 及其电流 I_0 作为训练数据,输入到神经网络中进行数据训练,可以得到对应于该家电的训练网络 Net_0 。将端电压 U_0 输入到训练网络 Net_0 中,

可以得到网络预测出的电流数据 I_0' ,通过 I_0' 与 I_0 的比较得到误差 e_0 ,最后将 U_0, I_0, Net_0, e_0 及该家电的额定电压 U_{N0} 进行存储,作为一个库文件。重复上述过程,可对每一个直流阻性家电新建一个库文件。

将任意直流阻性家电的端电压数据 U_x 作为测试数据,并输入到训练网络 Net_0 中生成相应的电流预测值 I_x 。通过库文件中误差的比值,可以判定用于测试的家电是否与用于训练的家电为同一家电。若为同一家电,可将库文件中对应的额定电压输入到家电中,实现适配;若不为同一家电,则更换库文件,直至匹配为止。

运用神经网络算法的优点是相比于其他的适配方法,其适配准确度更高;但缺点是需要大量的实验数据用于神经网络训练以保证神经网络的精度,这对控制器的运算能力以及数据存储空间要求很高;神经网络算法需要对大量数据进行运算、调整与优化,计算量很大,所需要的时间较长,会使适配过程变得缓慢;神经网络算法只能适配已生成库文件的直流阻性家电,当对库文件以外的家电进行适配时,精度较差。

3 结论

本文对40余款直流阻性家电的进行了特性测试。按步长均匀升高家电端电压并记录端电压及其对应电流数据;对测试数据进行处理与分析,绘制直流阻性家电的伏安特性曲线及斜率曲线;基于两条曲线的特性,将直流阻性家电归纳为似纯阻性家电和过零点型家电;基于直流阻性家电的分类以及两条曲线的特性,提出并详细论述了分类适配、通信适配和智能算法适配三种通用适配的基本控制构想及其优缺点,为后续直流阻性家电的通用适配研究提供了理论依据,为直流家电的通用适配奠定了基础。

参考文献

- [1] 曹炜,董浩洋,李芸,等. 分布式光伏高比例接入的国外经验及实践启示[J]. 电气传动, 2022, 52(4): 3-11.
CAO Wei, DONG Haoyang, LI Yun, et al. Foreign experience and practical enlightenment of the high proportion access of distributed photovoltaic high-proportion[J]. Electric Drive, 2022, 52(4): 3-11.
- [2] 佟子昂,武建文,马速良,等. 一种基于主动电压扰动的直流微网家电均流控制策略[J]. 电工技术学报, 2019, 34(24):

- 5199-5208.
TONG Ziang, WU Jianwen, MA Suliang, et al. A load current-sharing control strategy for DC microgrid converters based on active voltage disturbance[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(24): 5199-5208.
- [3] 刘明,赵作男,谢国民.一种应用于分布式电源的高增益双输入DC-DC变换器[J].电气传动,2020,50(9):53-59.
LIU Ming, ZHAO Zuonan, XIE Guomin. A high gain dual input DC-DC converter for distributed power supply[J]. Electric Drive, 2020, 50(9): 53-59.
- [4] PIRES V F, FOITO D, CORDEIRO A, et al. A bidirectional DC-DC converter to interlink unipolar and bipolar DC microgrids[C]//2021 9th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), 2021: 37-42.
- [5] ALSHAREEF M, LIN Z, LI F, et al. A grid interface current control strategy for DC microgrids[J]. CES Transactions on Electrical Machines and Systems, 2021, 5(3): 249-256.
- [6] 张军,张中丹,王洲,等.基于数据驱动的微电网双层鲁棒优化调度[J].电气传动,2022,52(1):68-75.
ZHANG Jun, ZHANG Zhongdan, WANG Zhou, et al. Double layer robust optimal dispatching of micro-grid based on data-driven[J]. Electric Drive, 2022, 52(1): 68-75.
- [7] 何瑞东,周文,路艳巧,等.离网型微电网优化运行策略研究[J].电气传动,2021,51(12):59-65,80.
HE Ruidong, ZHOU Wen, LU Yanqiao, et al. Research on optimal operation strategy of islanded microgrid[J]. Electric Drive, 2021, 51(12): 59-65, 80.
- [8] 李微,周雪松,马幼捷,等.三端口直流微网母线电压控制器及多目标控制[J].电工技术学报,2019,34(1):92-102.
LI Wei, ZHOU Xuesong, MA Youjie, et al. Three-port DC microgrid bus voltage controller and multi-objective control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(1): 92-102.
- [9] 李进.一种适应农村地区的新型低压直流配电系统[J].电工技术,2021(14):166-168.
LI Jin. A new low-voltage DC power distribution system for rural areas[J]. Electric Engineering, 2021(14): 166-168.
- [10] 曾杰,张弛,袁志昌,等.实现分区均衡的直流配电系统控制方法研究[J].电气传动,2019,49(9):46-51.
ZENG Jie, ZHANG Chi, YUAN Zhichang, et al. Research on control strategy of DC distribution grid with balanced load ratio between connected AC zones[J]. Electric Drive, 2019, 49(9): 46-51.
- [11] 董旭柱,华祝虎,尚磊,等.新型配电系统形态特征与技术展望[J].高电压技术,2021,47(9):3021-3035.
DONG Xuzhu, HUA Zhuhu, SHANG Lei, et al. Morphological characteristics and technology prospect of new distribution system[J]. High Voltage Engineering, 2021, 47(9): 3021-3035.
- [12] 王晓卫,高杰,吴磊,等.柔性直流配电网高阻接地故障检测方法[J].电工技术学报,2019,34(13):2806-2819.
WANG Xiaowei, GAO Jie, WU Lei, et al. A high impedance fault detection method for flexible DC distribution network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(13): 2806-2819.
- [13] 罗志刚,韦钢,袁洪涛,等.基于区间直觉模糊理论的直流配电网规划方案综合决策[J].电工技术学报,2019,34(10):2011-2021.
LUO Zhigang, WEI Gang, YUAN Hongtao, et al. Comprehensive decision of DC distribution network planning based on interval intuitionistic fuzzy theory[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(10): 2011-2021.
- [14] 李海波,赵宇明,刘国伟,等.基于时序仿真的商业楼宇交流与直流配电系统能效对比[J].电工技术学报,2020,35(19):4194-4206.
LI Haibo, ZHAO Yuming, LIU Guowei, et al. The time sequential simulation based energy efficiency comparison of AC and DC distribution power system in commercial buildings[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2020, 35(19): 4194-4206.
- [15] 郑俊雅,王淑艳.建筑直流供配电系统发展现状及展望[J].现代建筑电气,2021,12(6):19-24.
ZHENG Junya, WANG Shuyan. Development status and prospect of building DC power supply and distribution system[J]. Modern Architecture Electric, 2021, 12(6): 19-24.
- [16] 汤向华,李秋实,侯丽钢,等.楼宇交直流混合配电系统及其运行管理[J].电子设计工程,2020,28(13):184-188,193.
TANG Xianghua, LI Qiushi, HOU Ligang. AC/DC hybrid distribution system of buildings and its operation management[J]. Electronic Design Engineering, 2020, 28(13): 184-188, 193.
- [17] 魏山力,马聪,张曦,等.民用建筑低压直流配电系统的项目应用[J].现代建筑电气,2021,12(7):1-6,51.
WEI Shanli, MA Cong, ZHANG Xi, et al. Project application of low-voltage DC power distribution system in civil buildings[J]. Modern Architecture Electric, 2021, 12(7): 1-6, 51.
- [18] 包红刚,朱晓峰.一种智能家居的供电系统[J].集成电路应用,2019,36(10):94-95.
BAO Honggang, ZHU Xiaofeng. A power supply system for smart home[J]. Applications of IC, 2019, 36(10): 94-95.
- [19] 王建渊,贾灵贤,蒋琪,等.低压直流配电网电压等级序列的经济性研讨[J].电气传动,2021,51(18):65-69,75.
WANG Jianyuan, JIA Lingxian, JIANG Qi, et al. Economic study on voltage grade sequence of low voltage DC distribution network [J]. Electric Drive, 2021, 51(18): 65-69, 75.
- [20] 崔巧凤.新能源时代直流电的变革[J].仪器仪表用户,2020,27(4):110-112.
CUI Qiaofeng. The change of direct current in the new energy era[J]. Electronic Instrumentation Customers, 2020, 27(4): 110-112.

收稿日期:2022-04-25

修改稿日期:2022-05-12