考虑温度和温度影响的动态锂离子电池模型

容量衰减

IEEE成员，伍拉尔和乌祖努格鲁

摘要-电池模型捕捉真实电池的特性，并可用于预测其在各种操作条件下的行为。为了研究锂离子电池的输出特性，本文利用MATLAB/Simulink建立了锂离子电池的动态模型。进行动态模拟，包括观察不同充电/放电、温度和循环条件下电池端子输出电压的变化，并将模拟结果与最近几项研究的结果进行比较。仿真研究表明了该模型的有效性和可操作性。

索引项——锂离子电池，动态模型，温度效应，容量衰减。

一.导言

ATTERIES直接促进了从便携式电子设备到节能车辆的技术进步。在现有的各种可充电电池中，锂基电池似乎在[的各个方面占据了主导地位。锂离子电池具有高能量密度、高工作电压水平和长循环寿命，广泛应用于便携式电子设备、手机和便携式摄像机等。[ 2 ]。为了评估不同条件下的电池性能，而不需要对每种替代方案进行耗时(且昂贵)的原型制作和测量，非常需要精确的电池模型。电池模型捕捉现实生活中电池的特性，并可用于预测它们在各种充/放电条件下的行为。他们也可以用来对[电池系统的改进和优化提出建议。

为了更好地理解锂离子电池的性能，许多作者开发了各种模型

[ 4 - 6 ]。尽管它们在许多方面都很繁荣，但大多数仍然有几个缺点。其中一些忽略了瞬态行为[ 7 )，而另一些只适用于固定充电状态[ 8 )或无法预测电池运行时间[ 9 )，这是判断电池性能的一个重要因素。

Chen和Mora [ 10 ]提出了一种电池模型，通过将电池的瞬态行为与可变开路电压和内阻相结合，可以准确预测电池运行时间和I-V性能。此外，温度和容量衰减对电池动态的影响在[被忽略了。然而，锂电池的热行为对于电池的使用寿命要求和安全考虑都很重要，[ 11，12 ]。此外，容量衰减的影响对于准确预测电池循环寿命和确定剩余可用电池容量[ 6，13，14 ]也很重要。通过考虑这些重要参数的影响，可以获得更精确的电池模型。

在本研究中，我们在MATLAB/Simulink环境下建立了一个有效的动态锂离子电池仿真模型。电池模型是通过[ 10号实验开发的，增加了对电池动力学的显著温度和容量衰减效应。动态模拟被用来验证所开发的锂离子电池模型的性能，并且通过与由不同作者实现的几项研究获得的数据进行比较来验证该模型。

本文的组织如下。第二节描述了在开发的锂离子电池模型中使用的数学方程。第三节表示为观察不同充电/放电、温度和循环条件下电池输出特性的变化而进行的模拟结果。最后，第四节给出了结论。

二.锂离子电池的设计和建模在这一部分，介绍了锂离子电池的动态模型。[ 10中使用的模型已经通过添加温度和容量衰减对电池输出特性的影响进行了修改。提议模型中使用的锂离子电池模型参数如下: Vbat电池输出电压[ V ] VOC电池开路电压[ V ] Zeq电池等效内部阻抗[ - ] Ibat电池电流[A]

由于电池开路电压、电池等效内部阻抗引起的电压降以及电池电势的温度校正，可以计算电池输出电压。因此，电池输出电压可以表示为[ 15 ]

当没有外部负载连接[ 16 ]时，电池开路电压是电池两端之间的电位差。因为电池开路电压的值强烈依赖于电池SOC，可以计算为[ 10 ] 其中可用电池容量根据容量衰减而变化。

容量衰减是指由于时间、温度和循环次数导致电池可用容量的不可逆损失。通常，电池被认为是可用的，直到达到其初始容量的80 % [ 1，14 ]。因此，模拟容量衰减对于预测电池的剩余寿命非常重要。导致容量衰减的不可逆损失与电池退化相关联，无论电池处于非活动状态(所谓的“日历寿命”损失)还是处于锻炼状态(循环寿命”损失) [ 13，都会发生这种损失。电池的日历和循环寿命损失似乎与时间成线性关系，并随着温度的升高而急剧增加，[ 14 ]。因此，在模拟电池容量衰减时，必须考虑温度的影响。日历和循环寿命损失导致容量校正系数，以确定剩余可用电池容量。容量校正系数可以计算为 电池的日历寿命损失包括不使用电池时发生的存储损失。存储损失的百分比可以表示为[ 13，14 ]

一个有效的假设是，与容量衰减的另一个组成部分——循环寿命损失——相关的唯一变量是负极SOC。取决于循环次数和温度的负极SOC的变化率可以表示为[ 14 ]

其中系数k1说明在不利条件下，例如在高温下循环期间容量损失迅速增加，k2是说明在通常循环条件下容量损失的一个因素。系数k1和k2的值根据循环温度而变化(表1 )。可以考虑负极SOC的变化来模拟循环寿命损失 如图1所示，电池等效内部阻抗由串联电阻和两个RC网络组成，串联电阻由Rseries和Rcycle组成，RC网络由RTransient \_ S、RTransient \_ S、RTransient \_ L和RTransient \_ L组成。

Rseries负责电池端子电压的瞬时电压降。串联电阻的另一个组成部分——Rcycle，用于解释电池电阻随循环而增加的原因。钢筋混凝土网络的组成部分包括

负责电池内部阻抗的短时和长时瞬变。由电池SOC引起的参考值、瞬时值、瞬时值、瞬时值和瞬时值可计算为[ 10 ]

作为一项新的贡献，本研究分析了不同放电速率下温度和容量衰减对电池运行时间的影响。本分析中使用的温度、循环次数和放电速率值与上述研究中使用的值相同。在- 20℃、00℃、230℃和450℃下，对于0.1 A放电电流，2 Ah新鲜电池的放电曲线可以是

如图6所示。电池输出电压受到温度变化的影响，尽管尽管放电条件[ 17 ]的温度变化，总电池运行时间几乎保持不变，如图6所示。对于充电条件，可以获得相同的结果，因为对于相同的电流速率，电池的充电和放电过程在所有温度下具有几乎相同的动力学[ 18 ]。对于不同的放电电流( 0.1 A，0.5 A，1 A )，进行模拟，结果见表2。