

1-2-2019

Fault Diagnosis System of Lithium Battery Based on Petri Net

Diju Gao

Key Laboratory Marine Technology & Control Engineering Ministry Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

Lan Xi

Key Laboratory Marine Technology & Control Engineering Ministry Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

Aidi Shen

Key Laboratory Marine Technology & Control Engineering Ministry Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Fault Diagnosis System of Lithium Battery Based on Petri Net

Abstract

Abstract: To improve the efficiency of lithium battery fault diagnosis system, a fault diagnosis system based on Petri net is proposed. *The fault diagnosis model based on Petri net came from the analysis of the inconsistent voltages between single cell in lithium batteries during charge and discharge.* The system can find the fault causes according to abnormal signals detected by sensor. The control logic diagram of the fault diagnosis model is established by state flow, and simulated by simulink. The results of model verification and simulation show that the cause for inconsistent voltage is distinguished meticulously by the fault diagnosis system; thereby the efficiency of the battery management system is improved.

Keywords

petri net, online fault diagnosis, lithium battery, state flow

Recommended Citation

Gao Dijun, Lan Xi, Shen Aidi. Fault Diagnosis System of Lithium Battery Based on Petri Net[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 614-621.

基于 Petri 网的锂电池故障诊断系统

高迪驹, 兰熙, 沈爱弟

(上海海事大学 航运技术与控制工程交通部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 为了提高锂电池故障诊断系统的效率, 提出一种基于 Petri 网的锂电池故障诊断系统。通过对锂电池组在充放电过程中会出现单体电池间电压不一致的故障进行分析, 建立了基于 Petri 网的故障诊断模型。该系统能够根据传感器检测到的异常信号, 诊断出相应的故障原因。利用 state flow 根据所建立的故障诊断模型绘制出相应的控制逻辑图, 并用 simulink 进行仿真。模型验证和仿真的结果表明该诊断系统对导致电压不一致的故障原因能够给出更加细致的诊断结果, 从而提高电池管理系统的工作效率。

关键词: Petri 网; 在线故障诊断; 锂电池; state flow

中图分类号: TP306+.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 02-0614-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201802030

Fault Diagnosis System of Lithium Battery Based on Petri Net

Gao Diju, Lan Xi, Shen Aidi

(Key Laboratory Marine Technology & Control Engineering Ministry Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To improve the efficiency of lithium battery fault diagnosis system, a fault diagnosis system based on Petri net is proposed. The fault diagnosis model based on Petri net came from the analysis of the inconsistent voltages between single cell in lithium batteries during charge and discharge. The system can find the fault causes according to abnormal signals detected by sensor. The control logic diagram of the fault diagnosis model is established by state flow, and simulated by simulink. The results of model verification and simulation show that the cause for inconsistent voltage is distinguished meticulously by the fault diagnosis system; thereby the efficiency of the battery management system is improved.

Keywords: petri net; online fault diagnosis; lithium battery; state flow

引言

锂电池的能量密度高、功率密度大、循环寿命长适合用作动力电池, 当前许多需要应用动力电池的场合都是由多节锂电池通过串并联的方式组成。但是锂电池对工作环境的要求比较严格, 为了得到

电池最佳的工作状态, 就需要电池管理系统对其状态进行实时监控, 以保证工作电压、电流、温度以及电池的一致性保持在正常的范围内。如果出现异常的信号, 电池管理系统应该还具备故障诊断的能力, 能够及时的识别并排除故障。根据锂电池故障的特点, 基于离散事件的在线故障诊断方法适用于对系统进行故障诊断^[1]。其中将故障采用分级表示, 并用有限状态机的方式进行建模可以很好的表示出故障的严重程度以及故障状态的动态变化^[2], 但是无法描述出故障间的关系以及帮助识别潜在



收稿日期: 2015-12-29 修回日期: 2016-05-31;
基金项目: 国家自然科学基金(61304186, 61673260),
上海海事大学研究生创新基金(2014ycx011);
作者简介: 高迪驹(1978-), 男, 浙江上虞, 博士生, 高工, 研究方向为电力电子与电力传动、船舶新能源技术等。

<http://www.china-simulation.com>

• 614 •

的故障。基于模糊理论的电池在线故障诊断^[3],虽然可以根据所制定的模糊规则和症状隶属函数实现对电池故障的实时诊断,但是其不能对故障严重程度的变化进行监测,比较难区分一些故障机理相似但是产生原因不同的故障。基于故障树分析的电池故障诊断法能够很好的对系统可能发生的故障进行定性和定量的分析,是一种实用、可靠的方法^[4],但是在对于大型、复杂系统的故障诊断上需要的时间较多。基于 Petri 网的故障诊断技术不仅能够有效地监控系统行为,判断故障发生类型和故障源,同时,还具有诊断速度快、适用范围广等优点^[5],此外还能描述同时发生、次序发生的故障以及故障等级^[6]。

锂电池故障诊断系统在运行过程中需要同时采集多个传感器的信息,通过这些信息来分析导致异常信号出现的原因。本文利用 Petri 网建立了故障诊断的模型,并且从功能上验证了系统的正确性,最后使用 simulink 中的 stateflow 建立了 Petri 网的控制逻辑图并实现对其的仿真。

1 系统构成

本文所提出的锂电池管理系统设计方案如图 1 所示。该系统通过实时采集锂电池的电压、电流以及温度等信息来判断此时系统是否运行正常,如果出现了异常的参数,系统将进入故障诊断的流程,判断异常信号产生的原因。当所测得的单体电池的参数与参考值的差值大于所设定的阈值时,即可将该参数判断为异常参数,参考值为电池组的参数的平均值或历史记录的值。当故障被确认的时候,系统将会采取一些处理措施,例如开启电量均衡电路、加大散热系统的效力或者减少输出/输入的功率,同时还继续对电池的状态进行监控,分析异常信号后续的变化。如果后续的情况表明故障更严重了,系统将会结合上次诊断的结果再次分析故障产生的原因,并采取进一步的处理动作;而当故障情况好转时,系统将会逐步停止之前所采取的措施。同时,系统的故障信息以及对应的处理措施还

会被存储起来,为了进一步完善系统做参考数据。主控 MCU 中故障诊断部分的程序运行流程图如图 2 所示,该系统中故障诊断的部分是由异常信号的输入来激活的,它是根据本文中所提出 Petri 网的故障诊断算法所生成的 C 语言函数。

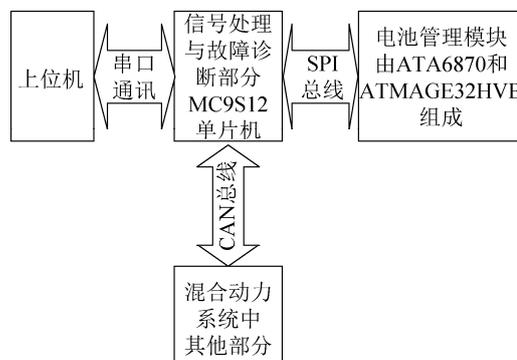


图 1 具有故障诊断的锂电池管理系统设计方案
Fig. 1 Scheme of the lithium battery management system with fault diagnosis

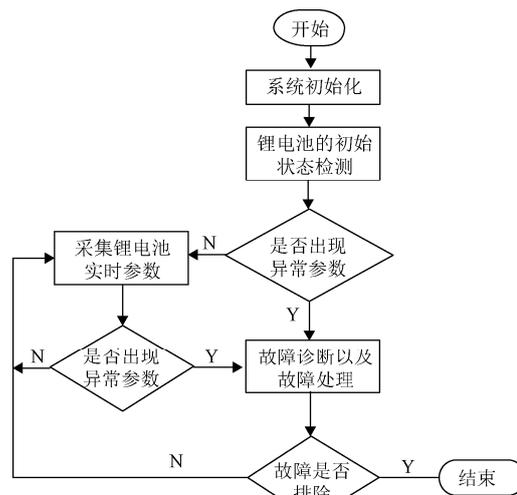


图 2 锂电池组故障诊断系统运行流程图
Fig. 2 Operation process of the lithium battery fault diagnosis system

2 基于 Petri 网的锂电池故障诊断系统的建模

2.1 基本 Petri 网的概念

本文中所采用的 Petri 网系统由六要元描述的有向图构成： $\Sigma=(S,T;F,K,W,M)$ 。三元组 $N=(S,T;F)$ 是一个有向网，用来实现对故障的定性分析，其中

$S=\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 为各种状态的集合(如电压不一致等); $T=\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ 为各种导致状态发生改变的事件集合(如电压不一致程度判断等); F 为从 S 到 T 以及从 T 到 S 之间的有向弧的集合, 表明状态与事件之间的关系。 K 是 N 上的容量函数, 用来表明每个状态中最大能够包含的托肯数量, 缺省值为无穷大。 状态 S 中包含的托肯值越大, 表明所处的故障等级越高(如当电压不一致状态中含有托肯时, 其值越大就表明所采集到的锂电池的电压值与其他的锂电池的电压值差值越大)。 W 是 N 上的权函数, $W(s, t)$ 用来描述从 S 到 T 需要满足的条件, 仅当全部指向 T 的 S 中包含的托肯的数量大于等于对应弧上的 $W(s, t)$ 时, T 才能被触发。 然后, S 中托肯的数量将会根据 $S'=S-W(s, t)$ 的等式来减少, 其中 S' 是 S 的后续状态, 本文中的含义为当 T 发生后, S 中还能保留多少的故障信息; $W(t, s)$ 用来描述从 T 到 S 会传递多少个托肯, 当 T 发生时, 将根据 $S'=S+W(t, s)$ 的等式来计算 S 中将会得到的托肯数, 在本文中的含义为下一个状态能够得到怎样的故障信息。 M 为状态的标识, 记录当前时刻全部状态 S 中含有托肯的数量情况, 用来描述当前时刻整个故障系统的状态, 对于 $\forall s \in S: M(s) \leq K(s)$ 。 若 a_1, a_2, \dots, a_k 为并发步序列, 即存在标识 M_1, M_2, \dots, M_k , 使得 $M_0[a_1 > M_1[a_2 > \dots > M_{k-1}[a_k > M_k]]]$, 则

$$M_k = M_0 + D \times a \quad (1)$$

式中: $D=Post-Pre$ 称为关联矩阵^[8], a 称为并发步序列 a_1, a_2, \dots, a_k 的矩阵表示。

2.2 锂电池故障诊断模型的建立

通过实时测量所得到工作中锂电池外电压 U_o 由电池内部电动势 U_{ocv} 、电池内阻压降 U_R 和极化电压 U_P 构成, 它们之间的关系如式 2 所示, 电池内部等效电路如图 3 所示。 因此, 当出现 U_o 与参考电压值不同的时候, 根据电池模型可以知道导致出现这种不一致的原因并不能被直接确定是由 U_{ocv} 的不同而导致, 它有可能是内阻不一致导致 U_R 的不同或者 U_P 的不同, 以及电池间容量本身就

不一致, 还有可能是因为电池健康状况 SOH(State of Health)的不同而导致的^[9], 甚至这些因素还会组合出现。 在相同的工况下, 电池间容量的不一致将导致实际电流倍率和放电深度 DOD(Depth of Discharge)的不同^[10], 但是在起始条件相似的情况下, 电池间容量的差异并不大, 所以本文中不考虑容量不一致的情况。 极化电压 U_P 取决于充放电电流的大小, 以及电池的工作温度。 当充放电电流越大或者电池工作温度越高的时候, 极化电压的值越大, 它可以通过静置或反向电流的方法逐渐消除^[11], 且仅在电池工作时产生。 内阻 R 的不一致在串联电路中会导致电池内部发热不一致, 在并联电路中会导致电池的输入输出电流的不一致。 能导致内阻不一致的原因有很多, 但是在工作中电池工作温度的不一致更可能导致这种情况的发生, 所以对于这种情况需要检查散热系统。 U_{ocv} 的不一致是电池剩余电量 SOC(State of Charge)的不一致的表现, 这是由于 SOC 与 U_{ocv} 存在单调非线性关系, 该线性关系是作为锂电池的基本特性存在的^[12]。 对于这种情况是需要进行电量均衡的, SOC 的不一致将导致锂电池组在使用过程中出现短板效应, 从而直接影响到电池的续航能力和循环寿命。

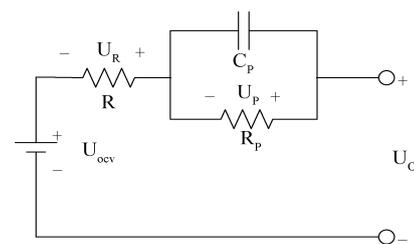


图3 锂电池模型

Fig. 3 Lithium battery model

$$U_o = U_{ocv} + U_R + U_P \quad (2)$$

根据锂电池故障的诊断推理逻辑建立 Petri 网如图 4 所示, 此图主要分析当传感器检测到异常信号的时候, 故障信息在诊断系统中传递的过程, 表 1 的内容为图 4 中所示 Petri 网中各库所和变迁的物理意义。

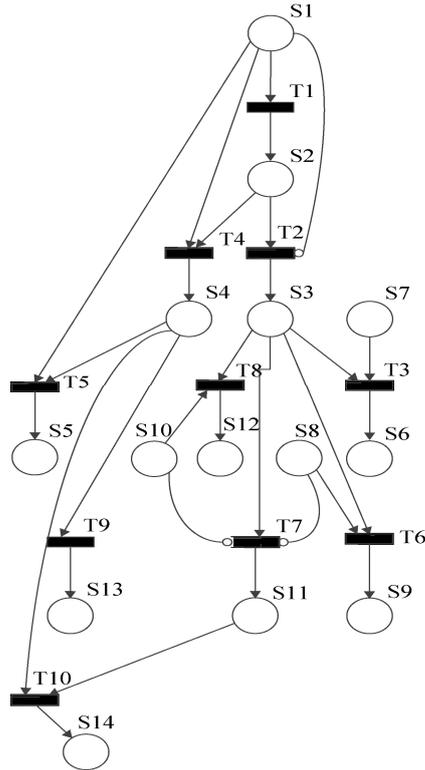


图 4 锂电池电压一致性故障诊断 Petri 网

Fig. 4 Petri net of lithium battery voltage consistency fault diagnosis

其中库所 S 所表示的是各种状态, 而变迁 T 则为是否存在故障的判断事件: $T1$ 、 $T4$ 、 $T5$ 为电压不一致程度判断的一、二、三级, 是通过将单体电池的电压与基准的电压相比较得到的, 偏差越大, 等级越高; $T2$ 为内阻不一致判断, 利用电流与电阻以及功率间的关系计算得出; $T3$ 为极化电压不一致判断, 在内阻不一致的条件下, 如果工作电流出现变化, 那么导致电压不一致的将会是因为极化电压的原因; $T6$ 为连接件松动判断, 调用所采集的振动传感器中的历史参数, 判断在出现电压不一致的情况之前系统是否出现过比较强烈的振动; $T7$ 为老化导致的内阻不一致判断, 它需要对电池的 SOH 进行比较, 所调用的 SOH 的参数是通过离线测量得到后存储在系统中的, 通过在线的方式准确地得到 SOH 目前还比较难^[13]; $T8$ 为温度导致内阻不一致判断, 它是通过判断所采集散热系统工作电压、电流以及各个温度采集点的工作参数是否正常得到的; $T9$ 为自放电以及温度不一致判断, 它需要通过调用系统的运行时间, 以及没有输

入输出时电池电压的历史变化值来分析判断; $T10$ 为 SOC 不一致判断, 它需要调用 SOC 的计算函数, 通过计算比较得到电池间 SOC 不一致的程度。

表 1 库所和变迁的含义

Tab. 1 Description of place and transition

库所	变迁	含义
S1		电压不一致程度检测
S2		电压不一致程度一级
S3		内阻不一致
S4		电压不一致程度二级
S5		电压不一致程度三级(系统保护状态)
S6		极化电压不一致
S7		充放电电流变大
S8		外部振动检测
S9		连接件故障
S10		温度不一致
S11		电池老化
S12		散热系统故障
S13		电池内部轻微短路
S14		SOC不一致
T1		电压不一致程度判断
T2		内阻不一致判断
T3		极化电压不一致判断
T4		二级电压不一致程度判断
T5		三级电压不一致程度判断
T6		连接件松动判断
T7		老化导致的内阻不一致判断
T8		温度导致内阻不一致判断
T9		自放电以及温度不一致判断
T10		SOC不一致判断

系统所采用的均衡策略为: 当电池电压不一致的程度从第一级上升到第二级时, 如果故障诊断的结果为 SOC 不一致, 那么就运行电量均衡系统。这样设计的好处是由于均衡系统本身的能耗和效率的问题, 所以仅仅在必要的时候启动均衡系统, 可以减少电池管理系统的能耗, 进而提升了电池系统的续航能力。

3 模型的分析 and 验证

基于上面给定的 Petri 网系统, 根据 S 与 T 之间信息传递 w 的要求, 可以得到该 Petri 网系统的关联矩阵 D 为:

$$D = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \begin{pmatrix} X^* & S1=1 \\ -1 & S1=0 \end{pmatrix} & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \begin{pmatrix} X^* & S1=1 \\ 1 & S1=0 \end{pmatrix} & -1 & 0 & 0 & -1 & \begin{pmatrix} X^* & S8=1orS10=1 \\ -1 & S8=0andS10=0 \end{pmatrix} & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \begin{pmatrix} X^* & S8=1orS10=1 \\ 1 & S8=0andS10=0 \end{pmatrix} & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

式中： X^* 为变迁不发生。

3.1 模型的验证

图 4 中模型 $\Sigma=(S,T,F,K,W,M)$ 是一个反应式系统，在没有外部信号输入的情况下， Σ 中任何变迁都不会发生。因为在系统运行的过程中，几个信号检测点($S1, S7, S10$)随时都有可能获得新的输入信号，所以不能完全按照从固定的初始标识开始的方式分析其性质^[14]。因此，下文将直接列举出几种出现电压不一致的异常信号后系统运行的情况。

故障情况一，当电池单体处测得的电压值不等于电压平均值时，若其差值在所设定的第一级电压偏离程度内，则该 Petri 网系统中的库所 $S1$ 将得到 1 个托肯，在其他的库所中不含有托肯的情况下，分析过程如下：

1) 系统的初始标识为 $M_0=(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ ，对于后续的标识 M_1 ，将全部的变迁 $T1\sim T10$ 分别代入式(1)中可得， $M_1=M_0+D \times T1$ ， $M_1=(0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ ，该式表明变迁 $T1$ 发生后库所 $S2$ 可以获得一个托肯， $T1=(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)^T$ ； $M_1=M_0+D \times T4$ ， $M_1=(0,-1,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ ， $T4=(0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0)^T$ 由于托肯值只能

为非负的值，因此说明 $T4$ 的发生条件没有满足；

$M_1=M_0+D \times T5$ ， $M_1=(0,0,0,-1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ ， $T5$ 的条件也不满足。对于其他的变迁，代入式中计算得到的结果也都存在负值，说明变迁的发生条件不满足。由此可得，当前条件下，仅 $T1$ 被触发，其结果为 $M_1=(0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ 。

2) 对于 $M_2=M_1+D \times a$ ，将全部变迁分别代入该式中运算，其中只有将 $T2$ 代入后的结果不含负值， $M_2=(0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ ，表明变迁 $T2$ 发生后库所 $S3$ 获得一个托肯。

3) 对于 $M_3=M_2+D \times a$ ，将全部变迁分别代入该式中，其中仅 $T7$ 代入后结果不含负值， $M_3=(0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0)$ ，表明 $T7$ 被触发后， $S11$ 获得一个托肯。

4) 对于 $M_4=M_3+D \times a$ ，将全部变迁分别代入式中，结果中全部都含有负值，表明这种情况下托肯已经无法再被传递， $S11$ 为这种情况下的最终诊断结果，通过查表 1 可知，导致出现电压不一致情况的原因是电池老化的故障，其对应的变迁序列 $a=(T1,T2,T7)$ 。

故障情况二, 在出现了故障情况一的前提下, 当电池单体处测得的电压值不等于电压平均值, 其差值大于所设定的第一级偏离程度, 但在第二级内。分析过程如下:

1) 初始标识为 $M_0=(3,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)+$
 $(0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0)$, 其中 $(2,0,0,0,0,0,0,0,0,$
 $0,0,0,0)$ 是由于电压不一致程度加深而输入的标识,
而 $(0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0)$ 是故障情况一诊断结
束后系统所保留的故障状态, 表明电压不一致的程度
从第一级上升到第二级。对于 $M_1=M_0+D \times a$, 将
全部变迁分别代入该式中, T_1 代入的结果非负,
 $M_1=(2,1,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0)$ 。

2) 对于 $M_2=M_1+D \times a$, T_1 与 T_4 代入的结果非
负, 但是因为 T_1 与 T_4 是同时发生的, 则由单步
 $a=(2,0,0,1,0,0,0,0,0,0)^T$, 可得 $M_2=(0,1,0,1,0,0,0,0,$
 $0,0,1,0,0,0)$ 。

3) 对于 $M_3=M_2+D \times a$, T_7 与 T_{10} 并发, $M_3=(0,0,$
 $0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1)$ 。

4) 对于 $M_4=M_3+D \times a$, 将变迁代入不存在非负
结果, 表明 M_3 为这种情况下故障诊断的结果, 诊

断的原因: 由于电池 SOC 不一致以及电池老化
导致的电压不一致。故障情况二中利用了 Petri 网
对并发信号处理的能力。

故障情况三, 当电池电压不一致的情况超出第
二级偏离程度的范围内时, 分析的内容如下:

1) 由于进入第三级后, 电压偏离程度较大,
系统需要进入保护状态, 同时系统依然会保留在进
入第三级故障前所给出的诊断结论, 所以这种情况
下, M_0 为 $(6,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ 与之前 Petri 网
中的标识相加的和。

2) 若此前状态标识为 0, 则 $M_0[T_1 > M_1][a_2 > M_2$
 $[a_3 > M_3]$, 其中 $a_2=T_1+T_4$, 为 T_1 与 T_4 的并发步,
 $a_3=T_1+T_4+T_5$, 代入式(1)中, 则 $M_3=(0,1,0,1,1,0,0,0,$
 $0,0,0,0,0,0)$ 。其中 $S_5=1$, 系统进入保护状态, 库所
间的变迁将不再发生。

该 Petri 网系统的可达图如图 5 所示, 分析了系
统中可能出现的故障。

图 5 中所示为满足变迁触发条件后并不考虑
竞争的情况, 消除所出现的竞争情况需要通过增加
伴元的方式解决。



图 5 锂电池故障诊断 Petri 网可达图
Fig. 5 Reachability graph of Petri net of lithium battery fault diagnosis

3.2 模型的仿真

根据本文中所提出的Petri网系统所建立的stateflow模型如图6所示。因为最终生成的代码是在单片机系统中运行,单片机系统是按照固定的时钟周期来执行程序,所以模型在stateflow中也需要采用固定步长的方式来运行^[15]。即当该模块被触发时,其中的状态每隔一个固定的时间执行一次,并按照控制逻辑转换到下一个状态,直到最后一个状态为止。在该模型中,默认的起始状态为Petri_net。

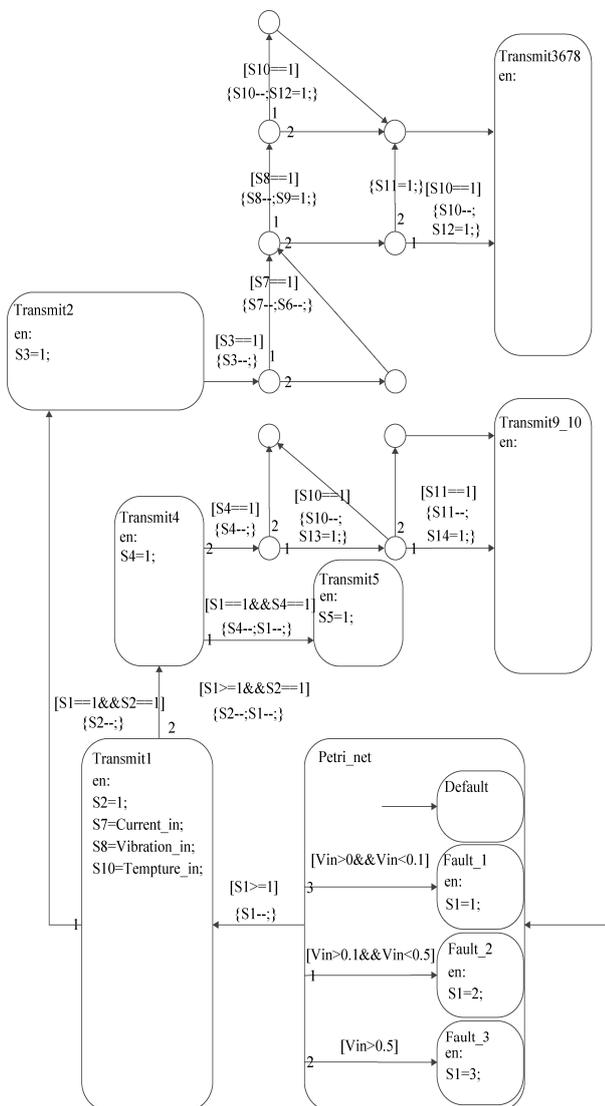


图6 利用stateflow所建立的Petri网的控制逻辑
Fig. 6 Control logic of Petri network based on stateflow

在simulink中的stateflow模块如图7所示,其中输入端1脚Current为电流异常的输入信号;2脚

Temperature为温度异常的输入信号;3脚Vibration为振动异常的输入信号;4脚Voltage为电压异常的输入信号;输出端1脚slightinnershort输出高电平时,表明导致当前故障的原因是电池内部轻微短路;输出端2脚SOCunbalance输出高电平时,表明导致当前故障的原因是SOC不一致,这种情况就是需要进行电量均衡的状态,低电平时,则无需进行电量均衡;输出端3脚protectmode输出高电平时,表明系统进入保护模式;输出端4脚polarization voltunbalance输出高电平时,表明导致当前故障的原因是极化电压不一致;输出端5脚fanoff输出高电平时,表明导致当前故障的原因是散热系统故障;输出端6脚looseconnect输出高电平时,表明导致当前故障的原因是连接件故障。

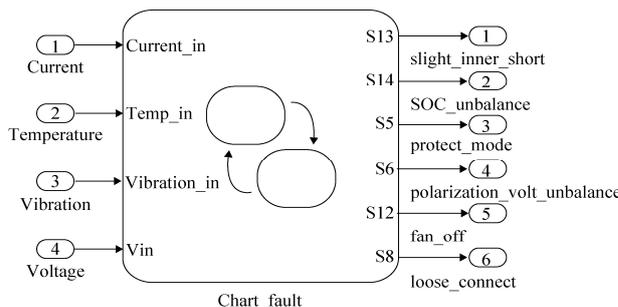


图7 用于仿真的simulink模型
Fig. 7 Simulink model for simulation experiment

最后,用Signal builder模块输入仿真信号,输出端连接至Scope模块就可以观察到相应的诊断结果。通过输入几组设定异常信号,所得到的诊断结果与3.1中分析得到的结论一致。

4 结论

锂电池组中的故障往往是由多种原因导致的,即便故障现象相同,对应的故障原因也可能是不一样的。因此,本文提出了一种基于Petri网的锂电池故障诊断系统。该诊断系统利用Petri网能够处理异步、并发信号的能力,以及用托肯表示故障等级的便利,将锂电池组中单体电池间电压不一致的故障建立了实时故障诊断的模型,有效地区分需要进行电量均衡的状态与不需要均衡的状态,提高了电池

管理系统的运行效率。通过运算分析和simulink仿真表明该系统可以满足在线故障诊断的要求,从而提高了锂电池管理系统可靠性和工作效率。

参考文献:

- [1] Chen Z, Lin F, Wang C, et al. Active diagnosability of discrete event systems and its applications to battery fault diagnosis[J]. IEEE Trans. Control Syst. Technol. (S1063-6536), 2014, 22(5): 1892-1898.
- [2] Yang Sheng. Design of lithium battery pack fault diagnosis system based on two levels state machine[C]// 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer, 2013: 1929-1932.
- [3] 刘文杰, 齐国光. 基于模糊理论的电池故障诊断专家系统[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2005, 23(6): 670-674.
Liu Wenjie, Qi Guoguang. Expert system for faults diagnosis of battery based on fuzzy set theory[J]. Journal of Jilin University(Information Science Edition), 2005, 23(6): 670-674.
- [4] 檀斐. 车用动力锂离子电池系统故障诊断研究与实现[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
Tan Fei. Fault diagnosis and implementation of electric vehicle lithium-ion battery system[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [5] 郑永焯, 田锋, 李人厚, 等. 基于 Petri 网的液体火箭发动机启动过程实时在线故障诊断方法[J]. 信息与控制, 2010, 39(2): 207-211.
Zheng Yonghuang, Tian Feng, Li Renhou, et al. A real time on-line fault diagnosis algorithm based on Petri net for the starting process of liquid propellant rocket engine[J]. Information and Control, 2010, 39(2): 207-211.
- [6] 叶俊, 龙志强. 基于 Petri net 的故障诊断理论研究[J]. 控制与决策, 2007, 22(12): 1403-1407.
Ye Jun, Long Zhiqiang. Fault diagnosis theory based on Petri net[J]. Control and Decision, 2007, 22(12): 1403-1407.
- [7] 方欢, 方贤文, 李德权. 基于 Petri 网的故障诊断研究理论的综述[J]. 计算机科学, 2014, 41(3): 17-22.
Fang Huan, Fang Xianwen, Li Dequan. Review on fault diagnosis theory and application based on Petri nets[J]. Computer Science, 2014, 41(3): 17-22.
- [8] 叶丹丹, 罗继亮. 利用 Petri 网特征结构的故障诊断方法[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2014, 35(4): 378-382.
- [9] 李索宇. 动力锂电池组均衡技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
Li Suoyu. Research on balance of power lithium battery pack[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.
- [10] 戴海峰, 王楠, 魏学哲, 等. 车用动力锂离子电池单体不一致性问题研究综述[J]. 汽车工程, 2014, 36(2): 181-188.
Dai Haifeng, Wang Nan, Wei Xuezhe, et al. A research review on the cell inconsistency of li-ion traction batteries in electric vehicles[J]. Automotive Engineering, 2014, 36(2): 181-188.
- [11] 姚雷, 王震坡. 锂离子电池极化电压特性分析[J]. 北京理工大学学报, 2014, 34(9): 912-916.
Yao Lei, Wang Zhenpo. Polarization characteristics of the lithium-ion battery[J]. Transaction of Beijing Institute of Technology, 2014, 34(9): 912-916.
- [12] 郑岳久. 车用锂离子动力电池组的一致性研究[D]. 北京: 清华大学, 2014.
Zheng Yuejiu. Study on cell variations of lithium ion power battery packs in electric vehicles[D]. Beijing: Tsinghua University, 2014.
- [13] 刘大同, 周建宝, 郭力萌, 等. 锂离子电池健康评估和寿命预测综述[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(1): 1-16.
Liu Datong, Zhou Jianbao, Guo Limeng, et al. Survey on lithium-ion battery health assessment and cycle life estimation[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(1): 1-16.
- [14] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Yuan Chongyi. Principle and application of Petri net[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2005.
- [15] 张学军, 谢剑英. 混合系统在 Matlab 环境下的建模、仿真与自动验证[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(2): 195-198.
Zhang Xuejun, Xie Jianying. Modeling, simulation and automatic verification of hybrid systems under MATLAB environment[J]. Journal of System Simulation, 2001, 13(2): 195-198.