Supporting Information

Excitation Pulse Influence on the Accuracy and Robustness of Equivalent Circuit Model Parameter Identification for Li-Ion Batteries

Dmitrii K. Grebtsov [1], Alexey Alekseevich Druzhinin [1] and Artem V. Sergeev [1,2,*]

[1] Moscow Center for Advanced Studies, Moscow 123592, Russia; digov0021@mail.ru (D.K.G.); drusalexey@gmail.com (A.A.D.)
[2] N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, Moscow 119991, Russia
* Correspondence: a.sergeev@chph.ras.ru

An equivalent circuit model (ECM) parameter list:

1RC
SOC = 45%
0.5C - Table S1
1C - Table S2
2C - Table S3
3C - Table S4
SOC = 50%
0.5C - Table S5
1C - Table S6
2C - Table S7
3C - Table S8
SOC = 55%
0.5C - Table S9
1C - Table S10
2C - Table S11
3C - Table S12

2RC
SOC = 45%
0.5C - Table S13
1C - Table S14
2C - Table S15
3C - Table S16
SOC = 50%
0.5C - Table S17
1C - Table S18
2C - Table S19
3C - Table S20
SOC = 55%
0.5C - Table S21
1C - Table S22
2C - Table S23

3C - Table S24

Table S1 – 1RC ECM parameters at SOC = 45%, pulse current 0.5C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,035	0,010	11
9	18	0,035	0,013	18
9	36	0,035	0,016	26
9	72	0,036	0,018	35
9	144	0,036	0,021	44
9	288	0,036	0,022	48
9	576	0,036	0,022	49
18	9	0,036	0,013	16
18	18	0,037	0,015	24
18	36	0,037	0,018	33
18	72	0,038	0,021	44
18	144	0,038	0,024	57
18	288	0,038	0,026	68
18	576	0,038	0,027	72
36	9	0,037	0,016	25
36	18	0,037	0,018	31
36	36	0,038	0,020	41
36	72	0,038	0,023	53
36	144	0,039	0,026	68
36	288	0,039	0,028	87
36	576	0,040	0,030	98
72	9	0,037	0,020	41
72	18	0,037	0,020	41
72	36	0,037	0,021	47
72	72	0,038	0,022	58
72	144	0,039	0,024	75
72	288	0,040	0,026	94
72	576	0,040	0,027	110
144	9	0,038	0,024	76
144	18	0,038	0,023	71
144	36	0,038	0,023	64
144	72	0,038	0,023	69
144	144	0,039	0,023	83
144	288	0,040	0,024	100
144	576	0,041	0,024	120

Table S2 – 1RC ECM parameters at SOC = 45%, pulse current 1C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,036	0,008	10
9	18	0,037	0,009	14
9	36	0,037	0,011	21
9	72	0,037	0,012	27
9	144	0,037	0,013	30
9	288	0,037	0,013	30
9	576	0,037	0,013	31
18	9	0,037	0,009	13
18	18	0,037	0,011	18
18	36	0,038	0,012	24
18	72	0,038	0,013	31
18	144	0,038	0,014	36
18	288	0,038	0,014	37
18	576	0,038	0,014	37
36	9	0,037	0,011	18
36	18	0,037	0,012	22
36	36	0,037	0,013	29
36	72	0,038	0,014	35
36	144	0,038	0,014	41
36	288	0,038	0,014	44
36	576	0,038	0,014	45
72	9	0,037	0,016	37
72	18	0,037	0,016	36
72	36	0,038	0,016	40
72	72	0,038	0,017	49
72	144	0,039	0,018	60
72	288	0,040	0,018	70
72	576	0,040	0,018	74

Table S3 – 1RC ECM parameters at SOC = 45%, pulse current 2C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,036	0,007	9
9	18	0,037	0,009	14
9	36	0,037	0,010	19
9	72	0,037	0,011	24
9	144	0,037	0,012	27
9	288	0,037	0,012	28
9	576	0,037	0,012	28
18	9	0,037	0,009	12
18	18	0,037	0,010	17
18	36	0,038	0,012	24
18	72	0,038	0,013	30
18	144	0,038	0,013	34
18	288	0,038	0,013	36
18	576	0,038	0,013	36

Table S4 – 1RC ECM parameters at SOC = 45%, pulse current 3C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,037	0,008	9
9	18	0,037	0,009	14
9	36	0,037	0,011	20
9	72	0,037	0,012	25
9	144	0,037	0,013	29
9	288	0,037	0,013	29
9	576	0,038	0,013	29

Table S5 – 1RC ECM parameters at SOC = 50%, pulse current 0.5C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,034	0,011	12
9	18	0,035	0,013	18
9	36	0,035	0,017	27
9	72	0,035	0,02	37
9	144	0,036	0,023	48
9	288	0,036	0,025	56
9	576	0,036	0,025	58
18	9	0,035	0,012	16
18	18	0,035	0,014	23
18	36	0,036	0,017	31
18	72	0,036	0,019	40
18	144	0,036	0,021	51
18	288	0,036	0,023	59
18	576	0,037	0,023	60
36	9	0,035	0,015	23
36	18	0,035	0,016	28
36	36	0,036	0,018	36
36	72	0,036	0,019	45
36	144	0,037	0,021	56
36	288	0,037	0,022	65
36	576	0,037	0,022	69
72	9	0,036	0,018	40
72	18	0,035	0,018	38
72	36	0,036	0,018	42
72	72	0,036	0,019	49
72	144	0,037	0,019	59
72	288	0,038	0,020	69
72	576	0,038	0,020	73
144	9	0,037	0,020	67
144	18	0,037	0,019	63
144	36	0,037	0,019	56
144	72	0,037	0,019	58
144	144	0,038	0,019	67
144	288	0,038	0,019	77
144	576	0,039	0,019	82

Table S6 – 1RC ECM parameters at SOC = 50%, pulse current 1C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,035	0,008	10
9	18	0,036	0,009	15
9	36	0,036	0,011	21
9	72	0,036	0,012	26
9	144	0,036	0,013	29
9	288	0,036	0,013	29
9	576	0,036	0,013	29
18	9	0,036	0,009	12
18	18	0,036	0,01	18
18	36	0,036	0,011	24
18	72	0,037	0,012	29
18	144	0,037	0,013	33
18	288	0,037	0,013	34
18	576	0,037	0,013	34
36	9	0,036	0,011	17
36	18	0,037	0,011	21
36	36	0,037	0,012	27
36	72	0,037	0,013	33
36	144	0,038	0,013	38
36	288	0,038	0,013	39
36	576	0,038	0,013	40
72	9	0,037	0,014	31
72	18	0,037	0,014	31
72	36	0,037	0,014	35
72	72	0,038	0,015	42
72	144	0,038	0,015	49
72	288	0,039	0,015	54
72	576	0,039	0,015	54

Table S7 – 1RC ECM parameters at SOC = 50%, pulse current 2C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,036	0,008	9
9	18	0,036	0,009	14
9	36	0,037	0,011	20
9	72	0,037	0,012	25
9	144	0,037	0,012	28
9	288	0,037	0,012	29
9	576	0,037	0,012	29
18	9	0,036	0,009	12
18	18	0,036	0,010	17
18	36	0,037	0,011	23
18	72	0,037	0,012	28
18	144	0,037	0,012	32
18	288	0,037	0,012	33
18	576	0,037	0,012	33

Table S8 – 1RC ECM parameters at SOC = 50%, pulse current 3C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,036	0,0074	9
9	18	0,036	0,0089	14
9	36	0,037	0,010	20
9	72	0,037	0,012	25
9	144	0,037	0,012	28
9	288	0,037	0,012	29
9	576	0,037	0,012	29

Table S9 – 1RC ECM parameters at SOC = 55%, pulse current 0.5C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,037	0,011	11
9	18	0,037	0,014	18
9	36	0,037	0,018	27
9	72	0,038	0,022	37
9	144	0,038	0,025	47
9	288	0,038	0,026	53
9	576	0,038	0,027	55
18	9	0,037	0,012	15
18	18	0,038	0,014	21
18	36	0,038	0,017	30
18	72	0,038	0,02	40
18	144	0,039	0,022	49
18	288	0,039	0,023	55
18	576	0,039	0,023	57
36	9	0,037	0,014	19
36	18	0,038	0,015	25
36	36	0,039	0,017	34
36	72	0,039	0,018	44
36	144	0,040	0,020	55
36	288	0,040	0,021	65
36	576	0,040	0,022	69
72	9	0,037	0,015	25
72	18	0,038	0,016	28
72	36	0,038	0,016	36
72	72	0,039	0,017	46
72	144	0,04	0,017	58
72	288	0,041	0,018	72
72	576	0,041	0,018	79
144	9	0,037	0,016	34
144	18	0,037	0,016	35
144	36	0,037	0,016	38
144	72	0,038	0,015	46
144	144	0,039	0,015	57
144	288	0,040	0,015	70
144	576	0,041	0,015	75

Table S10 – 1RC ECM parameters at SOC = 55%, pulse current 1C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,035	0,009	10
9	18	0,036	0,010	16
9	36	0,036	0,012	22
9	72	0,036	0,014	28
9	144	0,036	0,015	32
9	288	0,036	0,015	33
9	576	0,036	0,015	33
18	9	0,036	0,01	13
18	18	0,036	0,011	19
18	36	0,037	0,012	26
18	72	0,037	0,014	33
18	144	0,037	0,015	39
18	288	0,037	0,015	40
18	576	0,037	0,015	41
36	9	0,036	0,011	16
36	18	0,036	0,011	22
36	36	0,037	0,012	28
36	72	0,037	0,013	35
36	144	0,038	0,013	40
36	288	0,038	0,013	43
36	576	0,038	0,014	43
72	9	0,036	0,012	24
72	18	0,036	0,012	26
72	36	0,037	0,012	30
72	72	0,037	0,013	36
72	144	0,038	0,013	42
72	288	0,038	0,013	45
72	576	0,038	0,013	45

Table S11 – 1RC ECM parameters at SOC = 55%, pulse current 2C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,035	0,008	10
9	18	0,036	0,009	15
9	36	0,036	0,011	21
9	72	0,036	0,013	28
9	144	0,036	0,014	32
9	288	0,036	0,014	33
9	576	0,036	0,014	33
18	9	0,036	0,009	12
18	18	0,036	0,01	18
18	36	0,036	0,011	24
18	72	0,037	0,012	29
18	144	0,037	0,013	34
18	288	0,037	0,013	35
18	576	0,037	0,013	35

Table S12 – 1RC ECM parameters at SOC = 55%, pulse current 3C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s
9	9	0,035	0,007	9
9	18	0,035	0,009	14
9	36	0,036	0,01	20
9	72	0,036	0,012	26
9	144	0,036	0,012	29
9	288	0,036	0,012	30
9	576	0,036	0,012	30

Table S13 – 2RC ECM parameters at SOC = 45%, pulse current 0.5C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,034	0,0019	1,0	0,012	21
9	18	0,034	0,0022	1,3	0,014	26
9	36	0,034	0,0024	1,8	0,017	37
9	72	0,034	0,0027	2,6	0,019	47
9	144	0,034	0,0032	4,0	0,021	62
9	288	0,035	0,0039	5,8	0,022	76
9	576	0,035	0,0042	6,7	0,022	81
18	9	0,035	0,0022	1,0	0,015	25
18	18	0,035	0,0025	1,5	0,017	34
18	36	0,035	0,0028	2,2	0,020	44
18	72	0,036	0,0033	3,6	0,022	58
18	144	0,036	0,0043	7,1	0,024	81
18	288	0,037	0,0069	15	0,025	130
18	576	0,037	0,0100	23	0,026	210
36	9	0,035	0,0023	1,2	0,018	33
36	18	0,035	0,0026	1,6	0,019	40
36	36	0,036	0,0031	3,0	0,022	53
36	72	0,036	0,0039	5,8	0,023	71
36	144	0,037	0,0057	12	0,025	100
36	288	0,037	0,0088	21	0,026	170
36	576	0,038	0,0120	30	0,028	270
72	9	0,035	0,0027	1,6	0,021	50
72	18	0,035	0,0027	1,6	0,021	48
72	36	0,035	0,0029	2,2	0,021	53
72	72	0,036	0,0041	7,4	0,022	75
72	144	0,037	0,0078	18	0,022	130
72	288	0,037	0,0100	26	0,022	190
72	576	0,037	0,0130	33	0,023	280
144	9	0,036	0,0036	2,5	0,024	88
144	18	0,036	0,0038	3,0	0,023	85
144	36	0,035	0,0036	3,3	0,022	75
144	72	0,036	0,0036	3,6	0,022	75
144	144	0,037	0,0056	14	0,021	110
144	288	0,038	0,0140	40	0,018	270
144	576	0,038	0,0150	46	0,018	380

Table S14 – 2RC ECM parameters at SOC = 45%, pulse current 1C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,035	0,0021	0,9	0,009	18
9	18	0,035	0,0023	1,1	0,010	22
9	36	0,035	0,0025	1,5	0,011	29
9	72	0,036	0,0027	2,0	0,012	36
9	144	0,036	0,0028	2,5	0,013	42
9	288	0,036	0,0030	3,1	0,013	47
9	576	0,036	0,0030	3,3	0,013	48
18	9	0,036	0,0023	1,0	0,010	20
18	18	0,036	0,0026	1,3	0,011	26
18	36	0,036	0,0028	1,8	0,012	32
18	72	0,036	0,0031	2,8	0,013	40
18	144	0,037	0,0036	4,6	0,013	51
18	288	0,037	0,0048	9,0	0,012	72
18	576	0,037	0,0059	12,0	0,012	93
36	9	0,035	0,0024	1,2	0,012	26
36	18	0,035	0,0026	1,4	0,012	29
36	36	0,036	0,0029	2,4	0,013	36
36	72	0,036	0,0035	4,4	0,013	46
36	144	0,036	0,0048	9	0,012	65
36	288	0,037	0,0068	15	0,011	97
36	576	0,037	0,0083	20	0,010	140
72	9	0,036	0,0031	2,2	0,017	51
72	18	0,036	0,0030	2,3	0,016	47
72	36	0,036	0,0030	2,4	0,016	47
72	72	0,036	0,0036	4,6	0,016	59
72	144	0,037	0,0064	16	0,015	98
72	288	0,037	0,0090	23	0,014	150
72	576	0,038	0,0110	30	0,013	230

Table S15 – 2RC ECM parameters at SOC = 45%, pulse current 2C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,035	0,0021	1,0	0,009	17
9	18	0,035	0,0023	1,1	0,010	22
9	36	0,036	0,0025	1,5	0,011	28
9	72	0,036	0,0027	1,9	0,011	34
9	144	0,036	0,0028	2,6	0,012	40
9	288	0,036	0,0029	2,9	0,012	43
9	576	0,036	0,0030	3,1	0,012	44
18	9	0,035	0,0022	0,9	0,010	18
18	18	0,036	0,0025	1,4	0,011	25
18	36	0,036	0,0028	2,1	0,012	33
18	72	0,036	0,0031	3,0	0,012	40
18	144	0,036	0,0037	5,0	0,012	52
18	288	0,037	0,0048	8,8	0,012	71
18	576	0,037	0,0061	13	0,011	96

Table S16 – 2RC ECM parameters at SOC = 45%, pulse current 3C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,035	0,0021	0,9	0,009	16
9	18	0,035	0,0024	1,2	0,010	22
9	36	0,036	0,0026	1,6	0,011	29
9	72	0,036	0,0028	2,2	0,012	36
9	144	0,036	0,0030	2,9	0,012	44
9	288	0,036	0,0032	3,5	0,012	49
9	576	0,036	0,0032	3,6	0,012	50

Table S17 – 2RC ECM parameters at SOC = 50%, pulse current 0.5C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,033	0,0019	1,0	0,013	21
9	18	0,033	0,0022	1,2	0,015	26
9	36	0,034	0,0025	1,9	0,019	39
9	72	0,034	0,0029	2,8	0,021	51
9	144	0,034	0,0035	4,4	0,023	69
9	288	0,035	0,0054	8,9	0,025	110
9	576	0,035	0,0097	18	0,028	230
18	9	0,034	0,0020	1,0	0,014	23
18	18	0,034	0,0024	1,6	0,016	32
18	36	0,034	0,0027	2,3	0,018	41
18	72	0,034	0,0032	3,8	0,019	53
18	144	0,035	0,0044	7,6	0,021	76
18	288	0,035	0,0073	15	0,021	130
18	576	0,036	0,0110	24	0,023	260
36	9	0,034	0,0023	1,3	0,016	32
36	18	0,034	0,0025	1,5	0,017	36
36	36	0,034	0,0028	2,4	0,018	44
36	72	0,034	0,0036	5,3	0,019	58
36	144	0,035	0,0054	11	0,019	84
36	288	0,036	0,0092	22	0,018	150
36	576	0,036	0,0120	30	0,019	300
72	9	0,034	0,0029	1,8	0,019	50
72	18	0,034	0,0028	2,0	0,018	46
72	36	0,034	0,0028	2,1	0,018	47
72	72	0,034	0,0033	4,4	0,018	57
72	144	0,035	0,0077	19	0,016	100
72	288	0,036	0,0110	27	0,014	170
72	576	0,036	0,0130	35	0,015	320
144	9	0,034	0,0041	3,9	0,020	86
144	18	0,034	0,0043	4,1	0,019	84
144	36	0,034	0,0041	4,7	0,018	72
144	72	0,034	0,0037	4,1	0,018	65
144	144	0,035	0,0047	8,2	0,017	78
144	288	0,036	0,0130	38	0,010	220
144	576	0,036	0,014	43	0,010	320

Table S18 – 2RC ECM parameters at SOC = 50%, pulse current 1C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,034	0,0022	1,2	0,010	23
9	18	0,034	0,0022	1,1	0,010	23
9	36	0,034	0,0024	1,4	0,011	29
9	72	0,035	0,0026	1,8	0,012	34
9	144	0,035	0,0027	2,4	0,012	40
9	288	0,035	0,0028	2,6	0,013	42
9	576	0,035	0,0028	2,8	0,013	42
18	9	0,034	0,0023	1,2	0,010	22
18	18	0,035	0,0025	1,4	0,011	27
18	36	0,035	0,0027	1,8	0,011	32
18	72	0,035	0,003	2,5	0,012	38
18	144	0,035	0,0033	4,0	0,012	47
18	288	0,035	0,0037	5,8	0,012	54
18	576	0,036	0,0038	6,3	0,012	56
36	9	0,035	0,0024	1,2	0,011	24
36	18	0,035	0,0026	1,6	0,011	28
36	36	0,035	0,0030	2,5	0,012	35
36	72	0,035	0,0035	4,0	0,012	43
36	144	0,036	0,0045	7,6	0,011	56
36	288	0,036	0,0064	14	0,010	84
36	576	0,037	0,0081	19	0,009	130
72	9	0,035	0,0032	2,6	0,014	44
72	18	0,035	0,0031	2,7	0,014	42
72	36	0,035	0,0032	2,8	0,014	43
72	72	0,036	0,0037	4,7	0,014	51
72	144	0,036	0,0057	12	0,012	74
72	288	0,037	0,0087	21	0,010	120
72	576	0,037	0,0110	28	0,009	200

Table S19 – 2RC ECM parameters at SOC = 50%, pulse current 2C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,035	0,0021	0,9	0,009	17
9	18	0,035	0,0023	1,1	0,010	22
9	36	0,035	0,0025	1,5	0,011	29
9	72	0,035	0,0026	1,9	0,012	35
9	144	0,036	0,0028	2,6	0,012	41
9	288	0,036	0,0029	3,0	0,012	44
9	576	0,036	0,0030	3,1	0,012	45
18	9	0,035	0,0021	0,98	0,009	19
18	18	0,035	0,0024	1,4	0,010	25
18	36	0,035	0,0027	2,0	0,011	31
18	72	0,035	0,0030	2,9	0,011	38
18	144	0,035	0,0034	4,6	0,011	47
18	288	0,036	0,0041	7,0	0,011	58
18	576	0,036	0,0044	8,2	0,011	64

Table S20 – 2RC ECM parameters at SOC = 50%, pulse current 3C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,035	0,0020	0,9	0,008	16
9	18	0,035	0,0023	1,2	0,010	22
9	36	0,035	0,0025	1,6	0,011	29
9	72	0,035	0,0027	2,1	0,012	35
9	144	0,035	0,0030	3,0	0,012	43
9	288	0,036	0,0032	3,8	0,012	49
9	576	0,036	0,0032	3,9	0,012	50

Table S21 – 2RC ECM parameters at SOC = 55%, pulse current 0.5C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,036	0,0028	1,7	0,015	25
9	18	0,036	0,0027	1,5	0,017	30
9	36	0,036	0,003	1,9	0,020	39
9	72	0,036	0,0033	2,6	0,023	51
9	144	0,036	0,0038	3,8	0,025	65
9	288	0,037	0,0050	6,7	0,027	92
9	576	0,037	0,0077	12	0,028	140
18	9	0,036	0,0028	1,5	0,016	30
18	18	0,036	0,0029	1,6	0,016	33
18	36	0,036	0,0033	2,2	0,018	42
18	72	0,036	0,0036	3,1	0,020	52
18	144	0,037	0,0043	5,4	0,021	68
18	288	0,037	0,0061	11	0,022	100
18	576	0,038	0,0081	16	0,021	140
36	9	0,036	0,0029	1,8	0,015	30
36	18	0,036	0,0035	2,5	0,017	41
36	36	0,036	0,0039	3,1	0,017	48
36	72	0,037	0,0043	4,3	0,018	58
36	144	0,037	0,0053	7,7	0,019	79
36	288	0,038	0,0080	17	0,019	140
36	576	0,039	0,0110	25	0,019	240
72	9	0,036	0,0032	2,8	0,014	33
72	18	0,036	0,0035	3,0	0,015	39
72	36	0,037	0,0048	5,7	0,015	59
72	72	0,037	0,0054	7,0	0,015	67
72	144	0,037	0,0070	12	0,015	95
72	288	0,038	0,0096	20	0,015	170
72	576	0,038	0,0120	28	0,016	320
144	9	0,035	0,0051	6,9	0,013	49
144	18	0,036	0,0056	9,2	0,012	56
144	36	0,036	0,0063	11	0,012	69
144	72	0,036	0,0076	13	0,011	89
144	144	0,036	0,0087	16	0,011	110
144	288	0,037	0,0110	23	0,010	190
144	576	0,037	0,0120	29	0,010	350

Table S22 – 2RC ECM parameters at SOC = 55%, pulse current 1C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,034	0,0022	1,1	0,011	21
9	18	0,034	0,0024	1,1	0,012	24
9	36	0,034	0,0025	1,5	0,013	31
9	72	0,035	0,0027	1,9	0,014	38
9	144	0,035	0,0029	2,6	0,015	44
9	288	0,035	0,0030	3,1	0,015	48
9	576	0,035	0,0031	3,3	0,015	49
18	9	0,034	0,0027	1,3	0,012	27
18	18	0,034	0,0027	1,5	0,012	29
18	36	0,035	0,0029	1,8	0,013	35
18	72	0,035	0,0031	2,5	0,014	42
18	144	0,035	0,0035	4,0	0,014	53
18	288	0,036	0,0041	6,7	0,014	65
18	576	0,036	0,0046	8,6	0,014	73
36	9	0,035	0,0026	1,6	0,011	26
36	18	0,035	0,0031	2,2	0,012	34
36	36	0,035	0,0033	2,7	0,012	38
36	72	0,035	0,0036	3,9	0,012	45
36	144	0,035	0,0044	6,6	0,012	58
36	288	0,036	0,0063	14	0,011	93
36	576	0,037	0,0081	19	0,010	140
72	9	0,035	0,0032	2,9	0,011	34
72	18	0,035	0,0033	3,0	0,012	37
72	36	0,035	0,0036	3,5	0,012	40
72	72	0,035	0,0042	5,3	0,011	48
72	144	0,036	0,0055	9,8	0,010	64
72	288	0,036	0,0080	18	0,008	110
72	576	0,037	0,0098	24	0,007	200

Table S23 – 2RC ECM parameters at SOC = 55%, pulse current 2C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,034	0,0022	1,1	0,010	22
9	18	0,034	0,0023	1,1	0,011	24
9	36	0,034	0,0025	1,4	0,012	30
9	72	0,035	0,0026	1,9	0,013	38
9	144	0,035	0,0028	2,7	0,013	46
9	288	0,035	0,0030	3,5	0,014	51
9	576	0,035	0,0031	3,7	0,014	52
18	9	0,034	0,0024	1,2	0,0099	23
18	18	0,034	0,0026	1,4	0,010	26
18	36	0,035	0,0028	1,8	0,011	32
18	72	0,035	0,0030	2,6	0,012	39
18	144	0,035	0,0034	4,4	0,012	49
18	288	0,036	0,0044	8,1	0,011	67
18	576	0,036	0,0051	11	0,011	80

Table S24 – 2RC ECM parameters at SOC = 55%, pulse current 3C

Pulse time, s	Relaxation time, s	R0, Ohm	R1, Ohm	tau1, s	R2, Ohm	tau2, s
9	9	0,034	0,0022	1,3	0,010	24
9	18	0,034	0,0022	1,1	0,010	23
9	36	0,034	0,0024	1,5	0,011	29
9	72	0,034	0,0026	2,0	0,012	36
9	144	0,035	0,0028	2,9	0,012	44
9	288	0,035	0,0030	3,7	0,012	50
9	576	0,035	0,0031	3,8	0,012	50