



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

MODELO DINÁMICO DE UNA BATERÍA

TRABAJO 6

GENERACIÓN Y GESTIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA

Autores: David Estébanez Mérida
Andrés Pedraza Rodríguez
María Elena Piqueras Carreño
Daniel del Río Velilla
Ana Isabel Soria Carro

Profesor: Santiago Pindado Carrión

MADRID, 9 DE MAYO, 2021

Resumen

El objetivo del presente trabajo es analizar el comportamiento dinámico de una batería diseñada para espacio. Para ello se dispone de las expresiones que modelizan el comportamiento estático obtenidas con anterioridad de los datos experimentales de cargas y descargas a una intensidad fija. A estos modelos estáticos se añadirán otros componentes electrónicos destinados a reproducir el régimen transitorio del sistema.

Índice

Índice de figuras	I
Índice de tablas	II
1. Introducción	1
2. Metodología	1
3. Resultados	2
3.1. Datos experimentales y modelo estático	2
3.2. Modelo de un condensador	3
3.3. Modelo de dos condensadores	4
4. Conclusiones	6
Referencias	7

Índice de figuras

1.	Evolución del voltaje de la batería a lo largo del tiempo y voltajes estimados de la batería según los modelos estáticos de carga y descarga (izda.). Diferencia de voltajes entre los datos experimentales y la estimación correspondiente (dcha.).	2
2.	Modelo de circuito equivalente con un condensador y una resistencia [1].	3
3.	Resultado del ajuste del modelo con un condensador.	4
4.	Modelo de circuito equivalente con dos condensadores y dos resistencias [1].	4
5.	Resultado del ajuste del modelo con dos condensadores.	5

Índice de tablas

1.	Parámetros del modelo estático exponencial-lineal en carga y en descarga que ha sido empleado para la modelización dinámica.	2
2.	Parámetros del ajuste analítico del modelo con un condensador.	3
3.	Parámetros del ajuste del modelo con un condensador.	3
4.	Parámetros del ajuste del modelo con dos condensadores.	5
5.	Parámetros del ajuste analítico del modelo con un condensador.	6
6.	Parámetros del ajuste del modelo con un condensador.	6
7.	Parámetros del ajuste del modelo con dos condensadores.	6

1. Introducción

A lo largo de una misión espacial una batería suele verse sometida a varias intensidades de carga y descarga que, aunque pueden repetirse periódicamente en el tiempo, suponen un cambio suficientemente brusco como para que sea necesario estudiar el comportamiento de estos dispositivos en régimen transitorio. Para incluir estos fenómenos en el modelo matemático se incluyen condensadores en paralelo.

En este trabajo se distinguen dos partes en las que se propone lo siguiente:

- Realizar una estimación analítica y una posterior comprobación numérica del circuito con un condensador y una resistencia en paralelo en la línea de carga–descarga.
- A partir de la estimación anterior ajustar el modelo de dos condensadores con sus dos resistencias en paralelo dispuestos en serie sobre la línea de carga–descarga.

2. Metodología

Este trabajo se ha desarrollado empleando fundamentalmente la herramienta de software MATLAB y SIMULINK. Con ella se han realizado los cálculos, las simulaciones y las representaciones gráficas pertinentes.

Los métodos para la caracterización de la batería se han obtenido de la documentación proporcionada por el profesor D. Santiago Pindado a través de la plataforma Moodle de la asignatura, en particular Porras *et al.* en [1] y [2].

Se dispone de los modelos estáticos estudiados con anterioridad en [3] los cuales son capaces de estimar un voltaje de salida en función de la energía descargada.

A la hora de caracterizar el comportamiento dinámico de la batería se determina el valor de la fuerza electromotriz interna de la batería y se usa como fuente de voltaje variable en un modelo de SIMULINK en el cual los elementos electrónicos se han incluido con el paquete SIMSCAPE el cual permite analizar el comportamiento físico de dichos elementos. Los valores de capacitancia y resistencia se han ajustado mediante el paquete *Parameter Estimator*.

3. Resultados

3.1. Datos experimentales y modelo estático

A partir de los datos experimentales proporcionados se realiza una primera estimación con el modelo estático de la batería. Como puede apreciarse en la Figura 1 los modelos estáticos para carga y descarga no son capaces de estimar el voltaje en función de la energía descargada. De ahí nace la necesidad de incluir elementos capacitivos que den cuenta de los fenómenos transitorios del sistema.

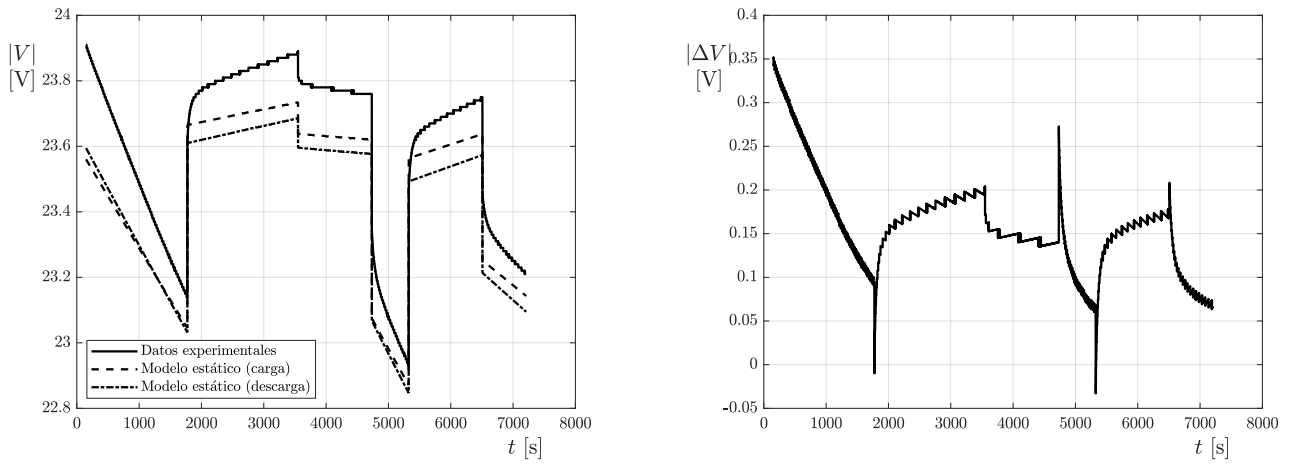


Figura 1: Evolución del voltaje de la batería a lo largo del tiempo y voltajes estimados de la batería según los modelos estáticos de carga y descarga (izda.). Diferencia de voltajes entre los datos experimentales y la estimación correspondiente (dcha.).

Los modelos empleados para este primer análisis son, en carga:

$$V = (E_0 + E_1(\phi_1 + R\phi_2) + (E_{2,0} + E_{2,1}I + E_{2,2}I^2) \exp[(E_{3,0} + E_{3,1}I)(\phi_1 + R\phi_2)]) + RI, \quad (1)$$

donde los coeficientes E_i y R son los parámetros del modelo que aparecen en la Tabla 1 V , I y con ϕ_1 y ϕ_2 calculados a partir de los datos experimentales (véase [3]). En el caso de carga no es necesario considerar los términos $E_{2,1}$ y $E_{2,2}$.

Tabla 1: Parámetros del modelo estático exponencial-lineal en carga y en descarga que ha sido empleado para la modelización dinámica.

Modelo	R_d/R_s [Ω]	E_0^d [V]	E_1^d [V/(W·h)]	$E_{2,0}^d$ [V]	$E_{2,1}^d$ [Ω]	$E_{2,2}^d$ [Ω /A]	$E_{3,0}^d$ [(W·h) $^{-1}$]	$E_{3,1}^d$ [(W·h·A) $^{-1}$]	RMSE [V]
Carga	0,1377	24,1590	-0,0119	$3,50 \cdot 10^{-12}$	-	-	-0,0878	$-5,40 \cdot 10^{-13}$	0,0962
Descarga	0,1284	24,1607	-0,0130	$-3,54 \cdot 10^{-11}$	$-1,00 \cdot 10^{-05}$	-0,036	0,0727	$-1,10 \cdot 10^{-3}$	0,0673

3.2. Modelo de un condensador

En primer lugar se propone un modelo con un condensador ya que su ajuste es posible analíticamente. El esquema eléctrico empleado se muestra en la Figura 2, en ella los valores de E^d y E^c son los correspondientes al modelo estático, R_d y R_c son inicialmente los valores estimados también en el análisis estático y además $R_d = R_{int} + R_1$.

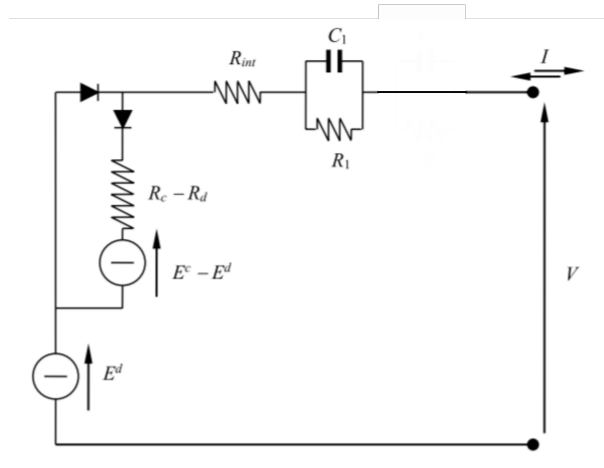


Figura 2: Modelo de circuito equivalente con un condensador y una resistencia [1].

El ajuste analítico... En la Tabla 2 se recogen los parámetros estimados de forma analítica.

Tabla 2: Parámetros del ajuste analítico del modelo con un condensador.

Una vez obtenidos los valores del ajuste analítico se pasa a una comprobación numérica. En la Tabla 3 se recogen los valores de los parámetros resultados del análisis con Simulink.

Tabla 3: Parámetros del ajuste del modelo con un condensador.

En la Figura 3 se puede apreciar la bondad del ajuste realizado con la comparación entre la curva predicha y los datos experimentales.

Figuras/Figures/Resultados_1C.pdf

Figura 3: Resultado del ajuste del modelo con un condensador.

3.3. Modelo de dos condensadores

A continuación se propone un modelo con dos condensadores para realizar una ajuste más preciso. El esquema eléctrico empleado se muestra en la Figura 4, en ella se puede apreciar que al incluir una segunda resistencia, en paralelo con su correspondiente condensador, se tiene $R_d = R_{int} + R_1$.

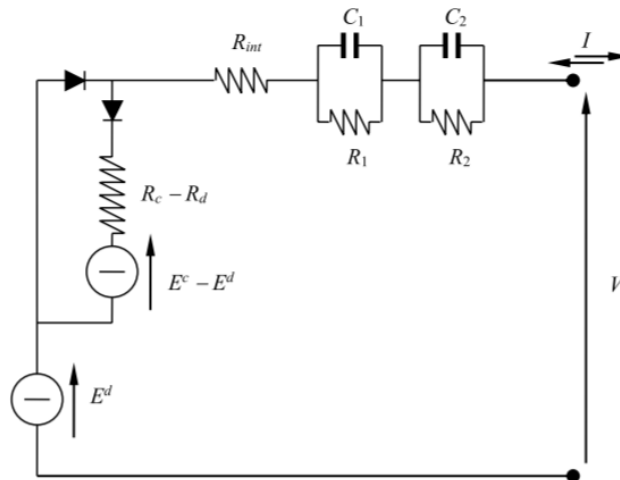


Figura 4: Modelo de circuito equivalente con dos condensadores y dos resistencias [1].

En este caso no es posible realizar un ajuste analítico por lo que los parámetros del ajuste, que

aparecen en la Tabla 4, han sido obtenidos directamente con Simulink. En este caso se han empleado inicialmente los resultados obtenidos del ajuste con un condensador.

Tabla 4: Parámetros del ajuste del modelo con dos condensadores.

En la Figura 5 se puede apreciar la bondad del ajuste realizado con la comparación entre la curva predicha y los datos experimentales.

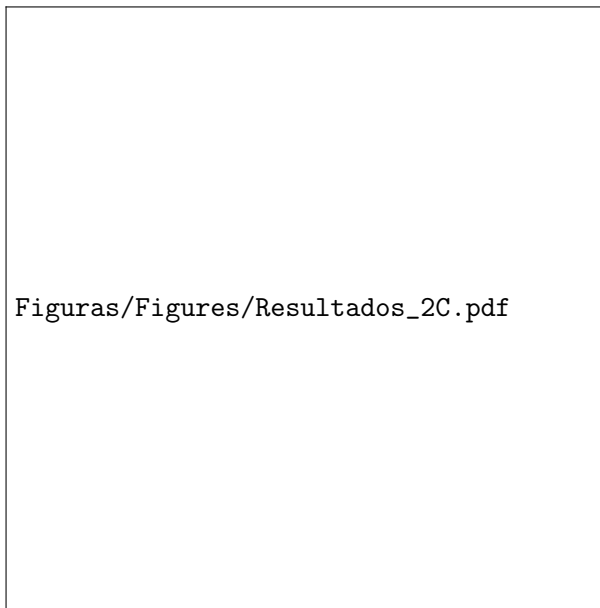


Figura 5: Resultado del ajuste del modelo con dos condensadores.

4. Conclusiones

Del trabajo realizado se extraen las siguientes conclusiones:

- Del ajuste analítico se ha hecho una primera estimación de los parámetros del circuito y los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 5.

Tabla 5: Parámetros del ajuste analítico del modelo con un condensador.

- Posteriormente, del ajuste del modelo con un condensador a través de Simulink se han obtenido los parámetros del circuito de nuevo y los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 6.

Tabla 6: Parámetros del ajuste del modelo con un condensador.

Como se puede observar el ajuste analítico ...

- Del ajuste del modelo con dos condensadores se han obtenido los parámetros recogidos en la Tabla 7.

Tabla 7: Parámetros del ajuste del modelo con dos condensadores.

Si bien es cierto que...

Referencias

- [1] A. Porras-Hermoso, S. Pindado, J. Cubas, Lithium-ion battery performance modeling based on the energy discharge level, *Measurement Science and Technology* 29 (11) (2018) 0–5. doi:10.1088/1361-6501/aae231.
- [2] A. Porras-Hermoso, B. Cobo-Lopez, J. Cubas, S. Pindado, Simple solar panels/battery modeling for spacecraft power distribution systems, *Acta Astronautica* 179 (September 2020) (2021) 345–358. doi:10.1016/j.actaastro.2020.10.036.
- [3] D. del Río, D. Estébanez, A. Pedraza, M. E. Piqueras, A. I. Soria, Modelo estático de una batería.