

**Simulation Report**

**State of Charge Influence on the Harmonic Distortion From  
Electric Vehicle Charging**

Fatemeh Keramati

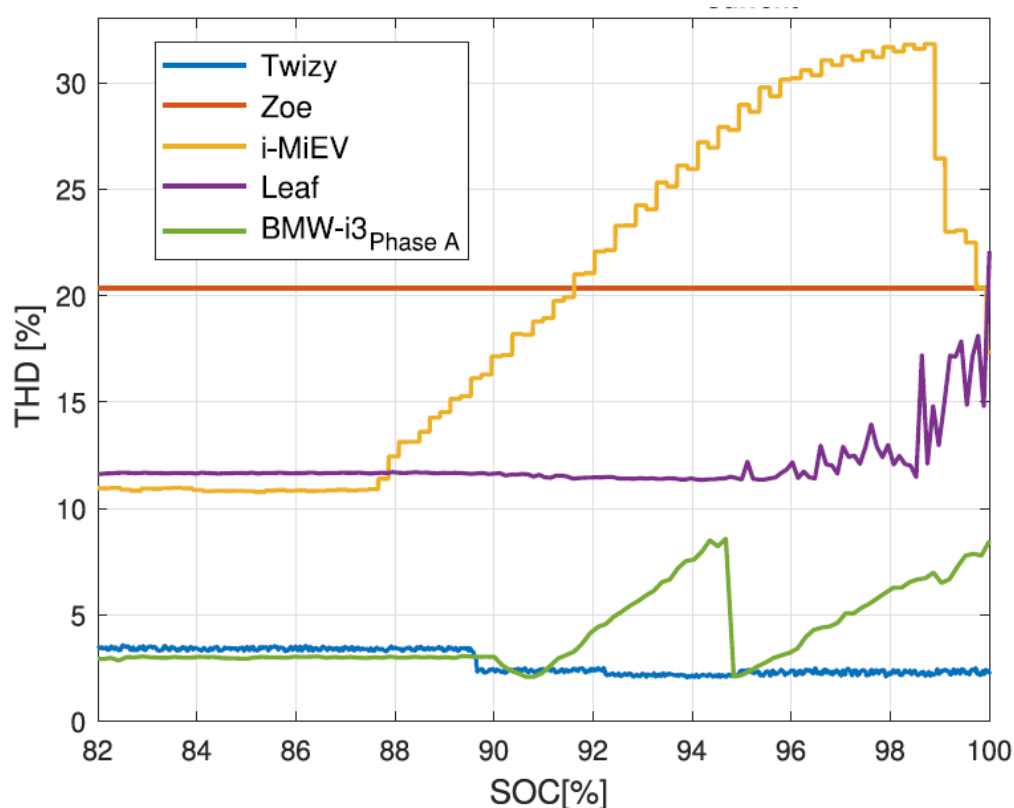
## مقدمه

در این مقاله به بررسی رابطه بین الگوریتم شارژ شارژرهای الکتریکی، سطح شارژ باتری (SOC) و اعوجاج هارمونیک جریان تولید شده در طی فرآیند شارژ می‌پردازد. دو ایستگاه شارژ واقع در دانشگاه Delos Andes کلمبیا و TU Dortmund آلمان برای اندازه‌گیری‌های عملی انتخاب شد. همچنین ۳ خودروی الکتریکی رنوزوئی و رنو توئیزی و میتسوبیشی i-MiEV در دانشگاه کلمبیا و نیسان لیف و BMWi3 در دانشگاه درتمند آلمان مورد بررسی قرار گرفت. در بین خودروهای ذکر شده تنها خودروی BMWi3 با جریان ۳ فاز AC شارژ شد. در ادامه برای بررسی مقادیر غیر واقعی مدل شارژر on-board تک فاز در محیط سیمولینک متلب انجام شد. خودروهای الکتریکی منتخب با الگوریتم شارژ، ولتاژ نامی، توان نامی و سطح شارژ باتری متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول ۱ جزئیات آزمایش هر خودرو را نشان می‌دهد. الگوریتم‌های شارژ مورد آزمایش الگوریتم جریان ثابت (CC)، جریان ثابت چند مرحله‌ای (MCC) و جریان و ولتاژ ثابت (CCCV) بود.

جدول ۱: جزئیات آزمایش هر خودرو

سطح ایستگاه شارژ	تعداد فاز	ولتاژ نامی	توان نامی	SOC (درصد)	الگوریتم شارژ	خودروی برقی
AC level 1	1	128 V	1.2 KW	74-100	MCC	Renault Twizy
AC level 2	1	230 V	2.2 KW	80-100	CC	Renault Zoe
AC level 2	1	220 V	3.3 KW	68-100	CCCV	Mitsubishi i-MiEv
AC level 2	1	230 V	3.7 KW	25-100	CCCV	Nissan Leaf
AC level 2	3	398 V	11 KW	30-100	CCCV	BMW i3

یکی از اهداف اصلی مقاله بررسی میزان تغییرات THD جریان با سطح شارژ باتری در الگوریتم‌های مختلف است. نتایج تغییرات THD جریان با سطح شارژ باتری خودروهای الکتریکی در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱: تغییرات THD جریان با سطح شارژ باتری خودروهای الکتریکی

## شبیه‌سازی

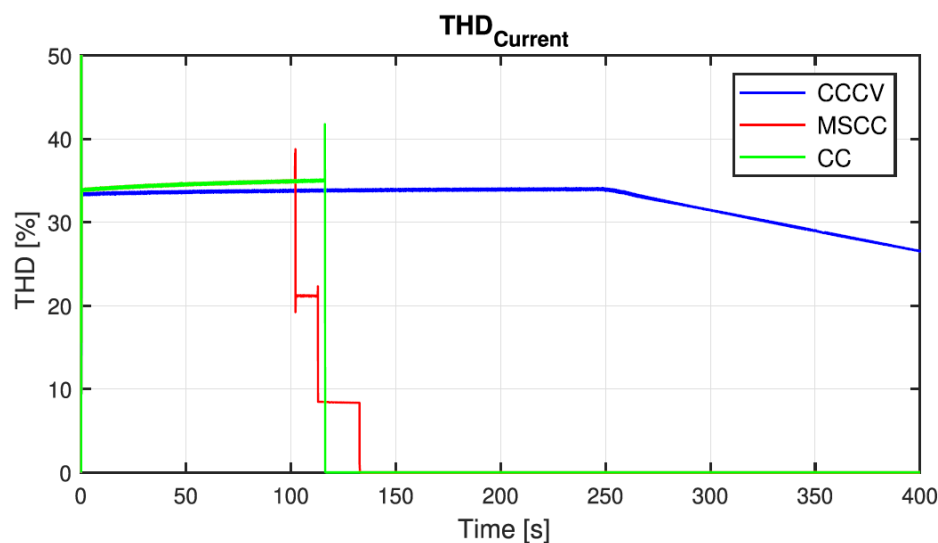
در این مقاله برای شبیه‌سازی فرآیند شارژ باتری با الگوریتم‌های جریان ثابت و جریان ثابت چند مرحله‌ای از باتری لیتیوم پلی‌مر ۱۲,۳ ولت استفاده شد. از آن جایی که جزئیات مدل باتری لیتیوم پلی‌مر در مقاله ذکر نشده بود، از این دو الگوریتم به ناچار صرف‌نظر کردیم. جدول ۲ مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی است.

جدول ۲: مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی

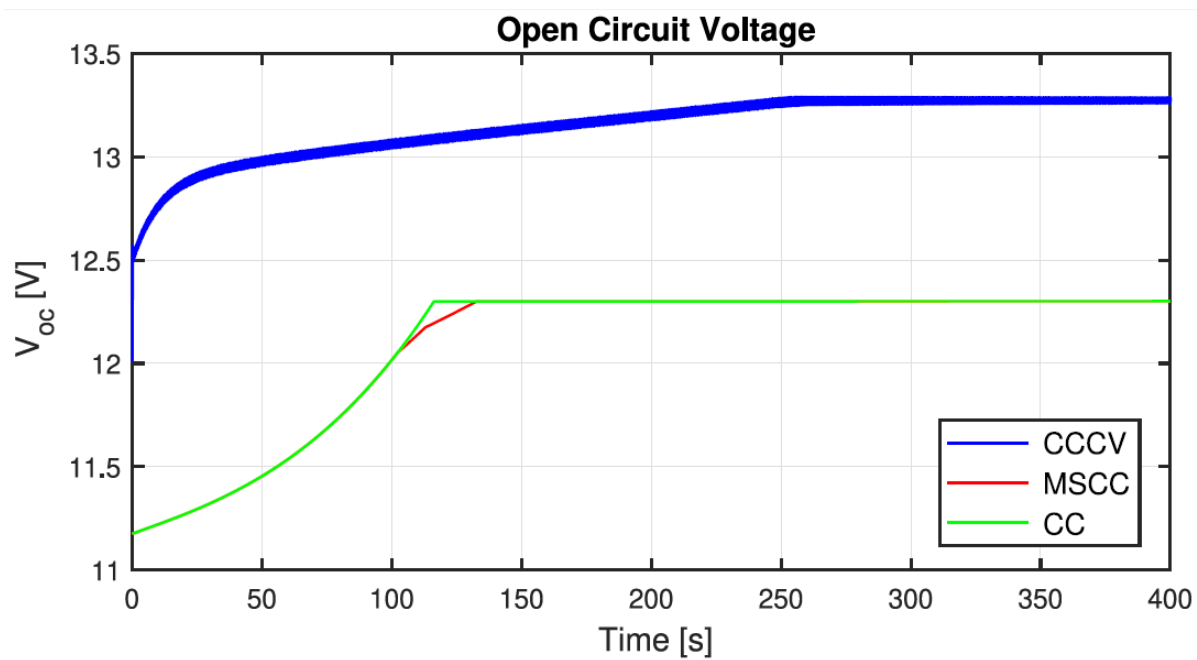
پارامتر	مقدار	واحد
L1	5	mH
C1	2000	$\mu F$
R <sub>Dump</sub>	128	$\Omega$
C3	1000	$\mu F$
L2	1.5	mH
C2	700	$\mu F$
Kp(cc)	1	-
Ki(cc)	0.001	-
Kp(cv)	100	-
Ki(cv)	1	-

## الگوریتم جریان و ولتاژ ثابت

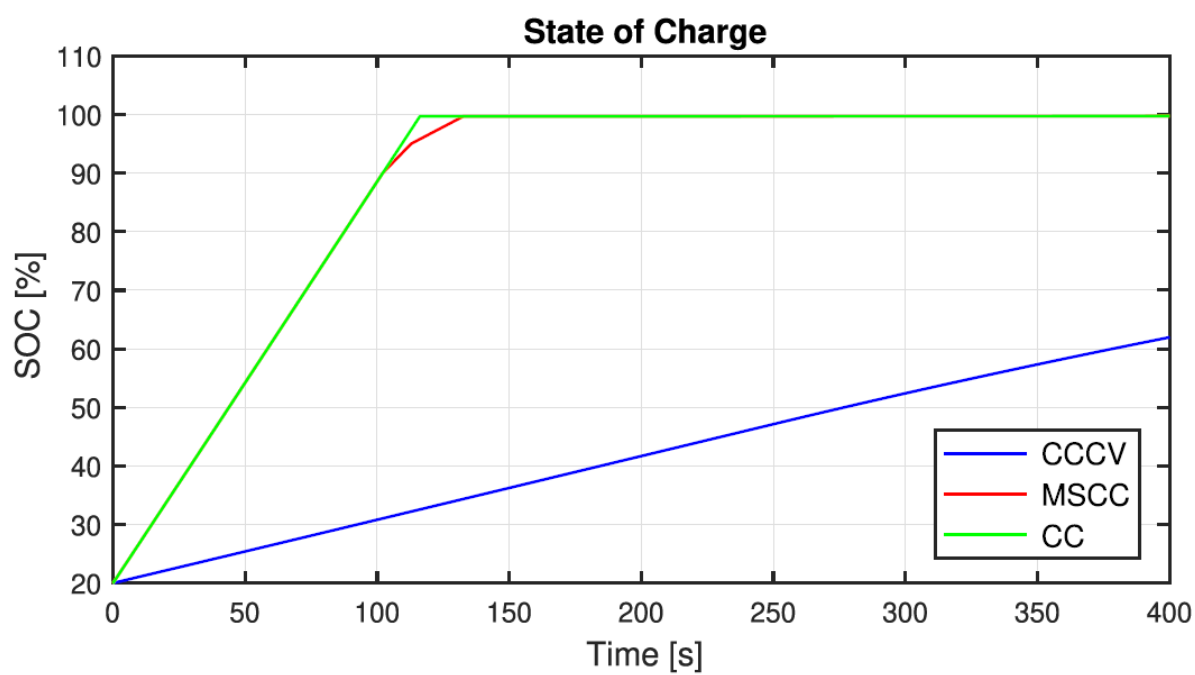
برای شبیه‌سازی شارژر on-board یک جهت در مقاله از توپولوژی جدیدی متشکل از مبدل AC-DC کنترل نشده و مبدل باک ارائه شد. مبدل AC-DC تمام پل از چهار دیود و مبدل باک از یک دیود و یک ترانزیستور (IGBT) که با مدولاسیون (PWM) با فرکانس کلیدزنی 40KHZ کنترل می‌شود، تشکیل شده است. الگوریتم جریان و ولتاژ ثابت از دو مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول الگوریتم جریان ثابت پیاده‌سازی می‌شود. برای این منظور مقدار جریان مرجع را برابر ۲۱,۲۱ آمپر قرار داده شد. برای ایجاد تغییرات سیکل وظیفه (Duty cycle) از یک کنترل کننده PI و همچنین مطابق مقاله از باتری لیتیوم یون ۱۱,۴ ولت با ظرفیت نامی ۵۴۰۰ میلی آمپر ساعت استفاده شد. لازم به ذکر است مقادیر ولتاژ و توان شبکه در این الگوریتم برابر ۲۲۰ ولت نامی و ۳,۳ کیلووات است. شکل ۲ نتایج THD جریان در شبیه‌سازی الگوریتم‌های مختلف در مقاله است. شکل ۲ نشان می‌دهد در الگوریتم جریان و ولتاژ ثابت THD جریان در سطح شارژر باتری ۲۰ درصد برابر ۳۳ درصد و از سطح شارژر باتری ۴۵ درصد تا ۶۰ درصد به مرور کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی الگوریتم‌های مختلف مقاله در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ آمده است. شکل ۳ نتایج تغییرات ولتاژ باتری، شکل ۴ نتایج تغییرات سطح شارژر باتری، شکل ۵ تغییرات جریان باتری در الگوریتم‌های مختلف است. مطابق شکل ۴ در الگوریتم جریان و ولتاژ ثابت، باتری از ۲۰ درصد تا ۶۰ درصد شارژ شده است. به دلایلی که در قسمت قبل ذکر شد تنها الگوریتم جریان و ولتاژ ثابت مقاله (نمودار آبی رنگ) با نتایج شبیه‌سازی انجام شده، مقایسه می‌شود. همچنین شکل ۶ بلوک دیاگرام کنترلی شبیه‌سازی شده برای الگوریتم جریان و ولتاژ ثابت است. در این الگوریتم باتری تا زمانی که ولتاژ باتری به مقدار ۱۳,۲ نرسیده است، با جریان ثابت ۲۱,۲۱ آمپر شارژ می‌شود. هنگامی که ولتاژ باتری به مقدار ۱۳,۲ ولت می‌رسد با ولتاژ ثابت ۱۳,۲۶ ولت فرآیند شارژ ادامه پیدا می‌کند.



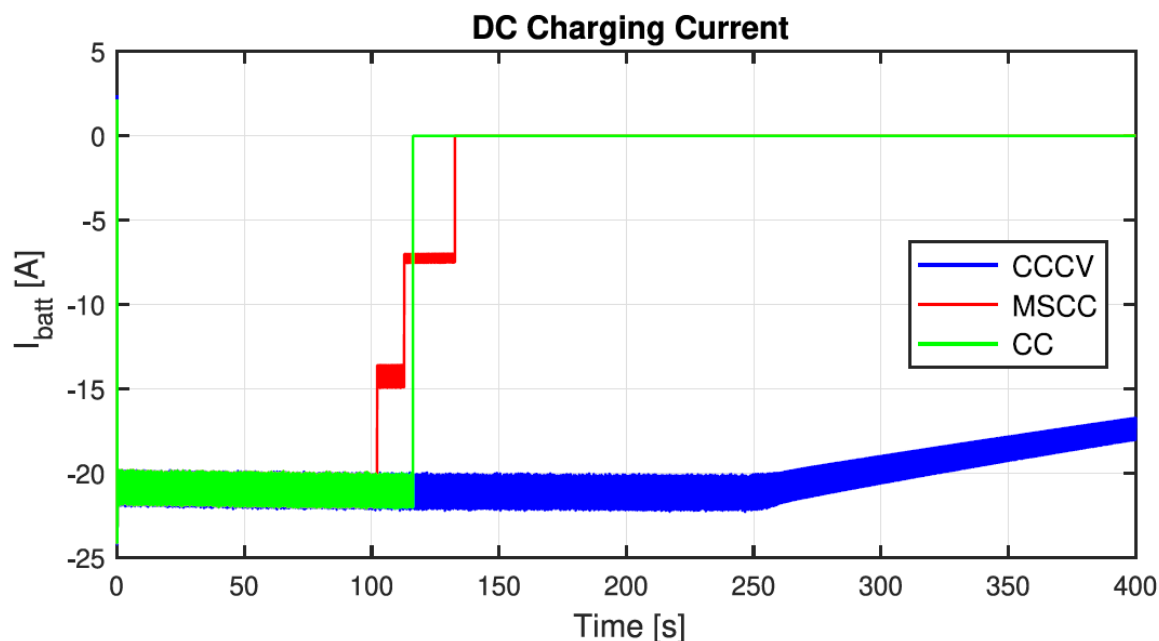
شکل ۲: نتایج THD جریان در الگوریتم‌های مختلف (مقاله)



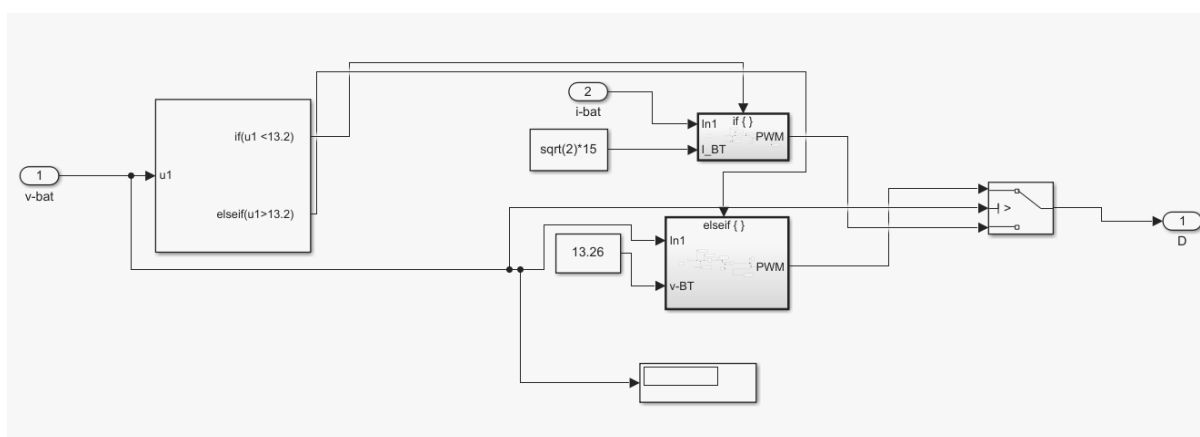
شکل ۳: تغییرات ولتاژ باتری در الگوریتم‌های مختلف (مقاله)



شکل ۴: تغییرات سطح شارژ باتری در الگوریتم‌های مختلف (مقاله)



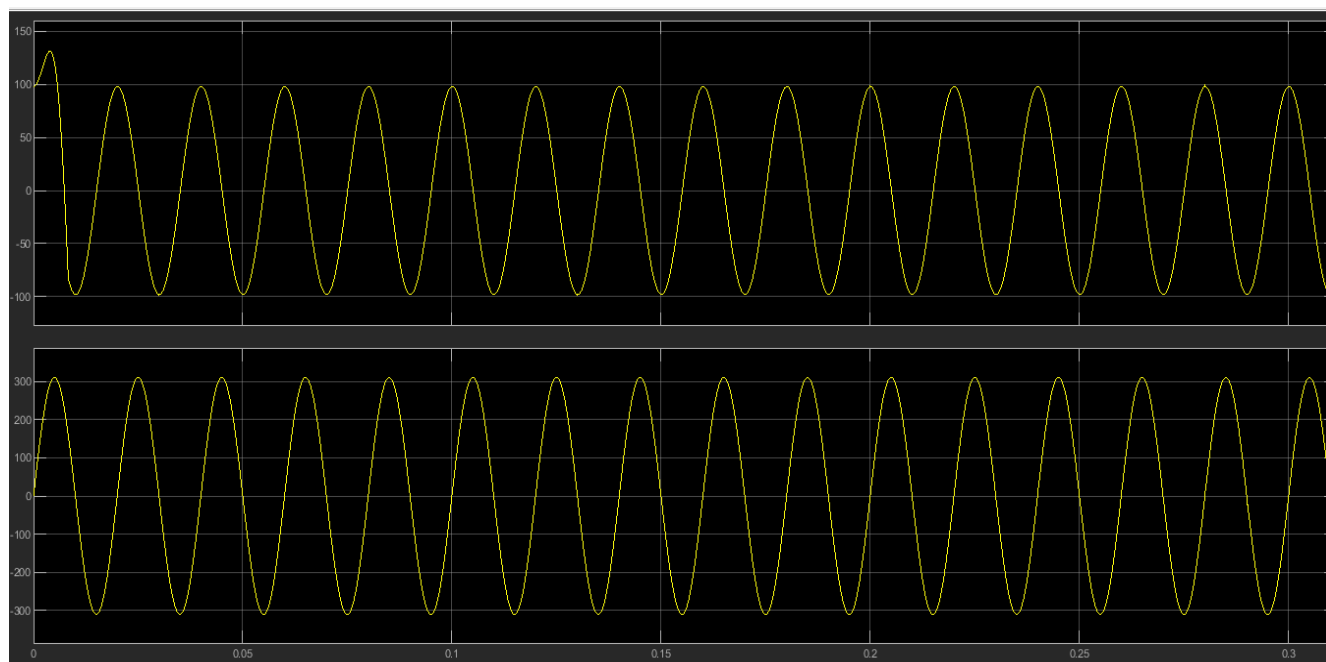
شکل ۵: تغییرات جریان باتری در الگوریتم‌های مختلف (مقاله)



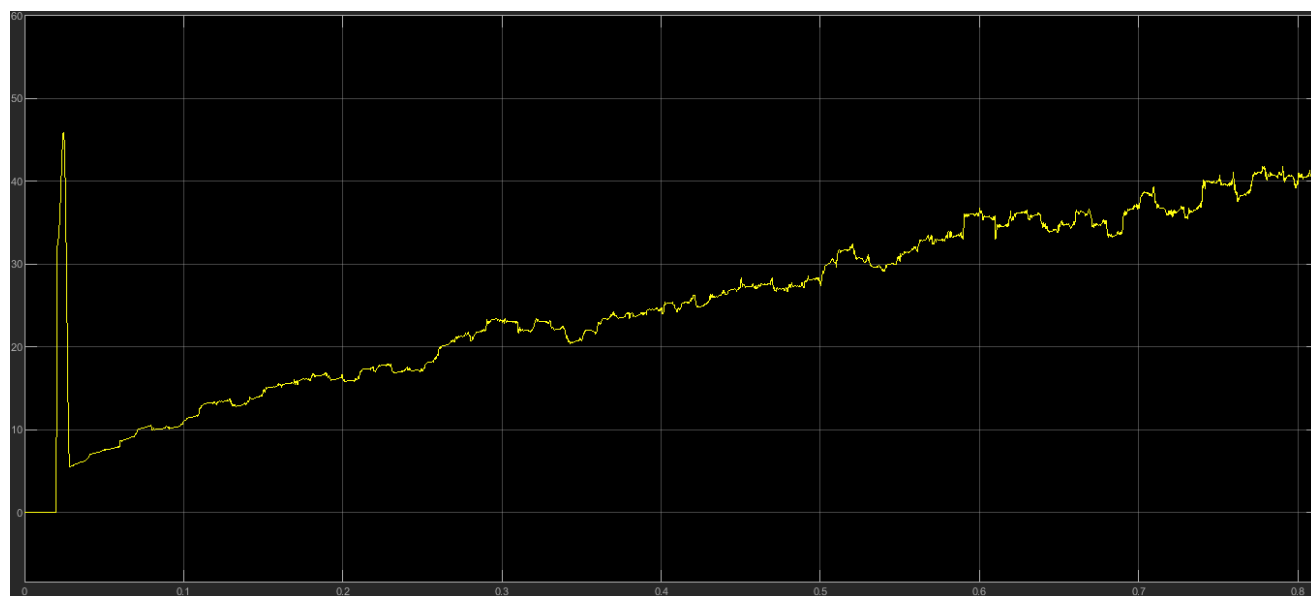
شکل ۶: بلوک دیاگرام کنترلی الگوریتم جریان و ولتاژ ثابت

## نتایج

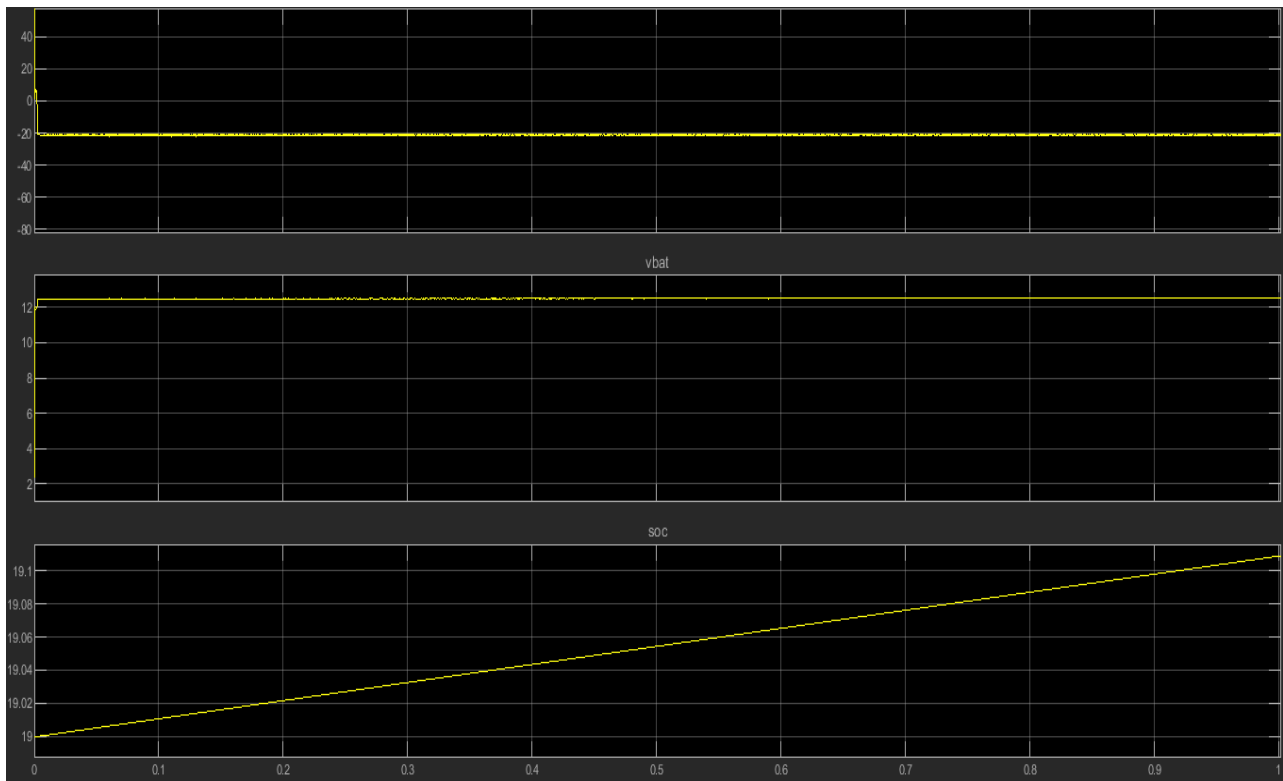
مطابق نتایج مقاله انتظار می‌رود مقدار THD جریان در مرحله الگوریتم جریان ثابت برابر ۳۳ درصد باشد و در ادامه مقدار آن در الگوریتم ولتاژ ثابت به دلیل کاهش مولفه اصلی جریان افزایش یابد. فایل شبیه‌سازی CCCVCON براساس مقادیر پارامترهای مقاله و در مد پیوسته است. نتایج این شبیه‌سازی به صورت زیر است. شکل ۷ جریان و ولتاژ شبکه در الگوریتم جریان ثابت است. همان طور که مشخص است مقدار جریان شبکه بسیار بیشتر از مقدار موردنظر (۲۱ آمپر) است. همچنین THD جریان مطابق شکل ۸ سیر صعودی دارد. اگر چه مقدار جریان باتری ثابت (۲۱ آمپر) است. شکل ۹ جریان و ولتاژ و سطح شارژ باتری را نشان می‌دهد.



شکل ۷: ولتاژ و جریان منبع به ازای پارامترهای مقاله



شکل ۸: THD جریان به ازای پارامترهای مقاله

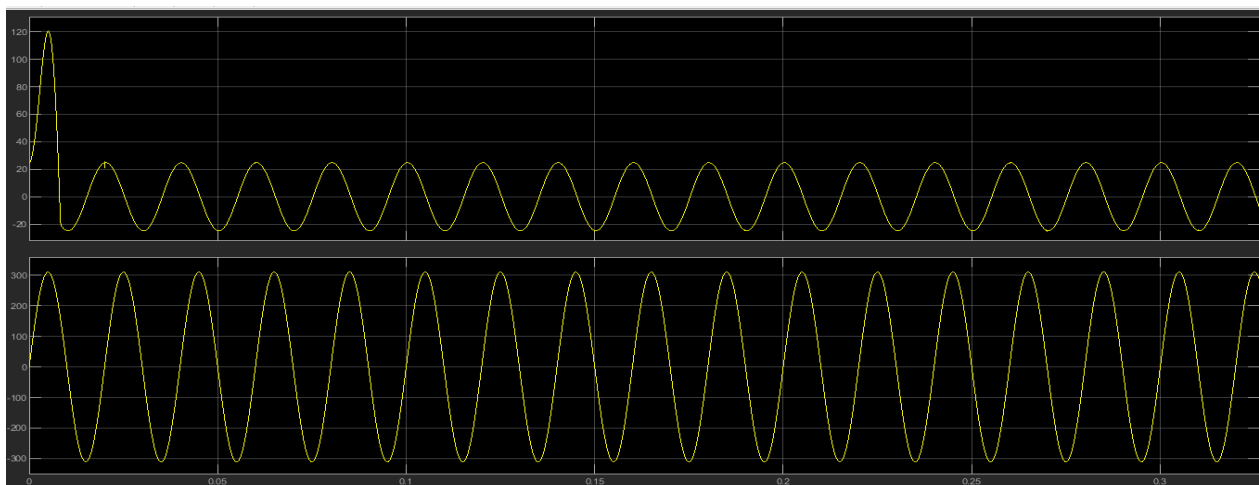


شکل ۹: جریان و ولتاژ و سطح شارژ باتری

طبق رابطه ۵ مقاله برای فرکانس قطع ۱۰۰ هرتز به ازای مقدار سلف (L1) ۵ میلی هانری، مقدار خازن (C1) برابر ۵۰۰ میکرو فاراد بدست می‌آید درحالی که مقدار این خازن در مقاله ۲۰۰۰ میکرو فاراد ذکر شده است.

$$F_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}} \quad (5)$$

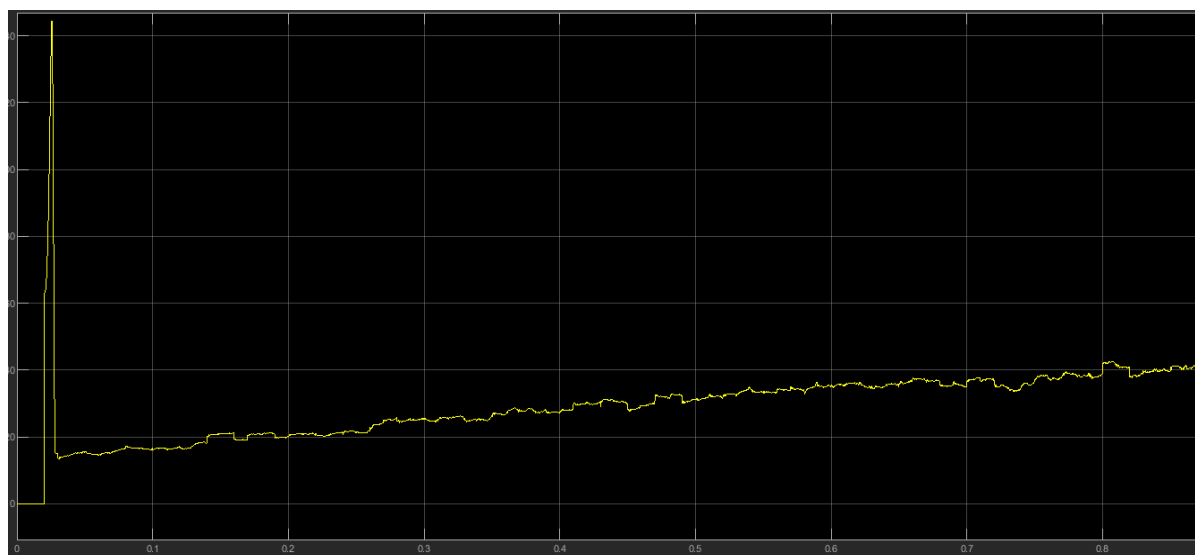
با تغییر مقدار خازن از ۲۰۰۰ میکرو فاراد به ۵۰۰ میکرو فاراد مقدار جریان و ولتاژ شبکه به مقدار مورد نظر بسیار نزدیک شد. شکل ۱۰ جریان و ولتاژ شبکه به ازای خازن (C1) ۵۰۰ میکرو فاراد است (فایل cccvf).



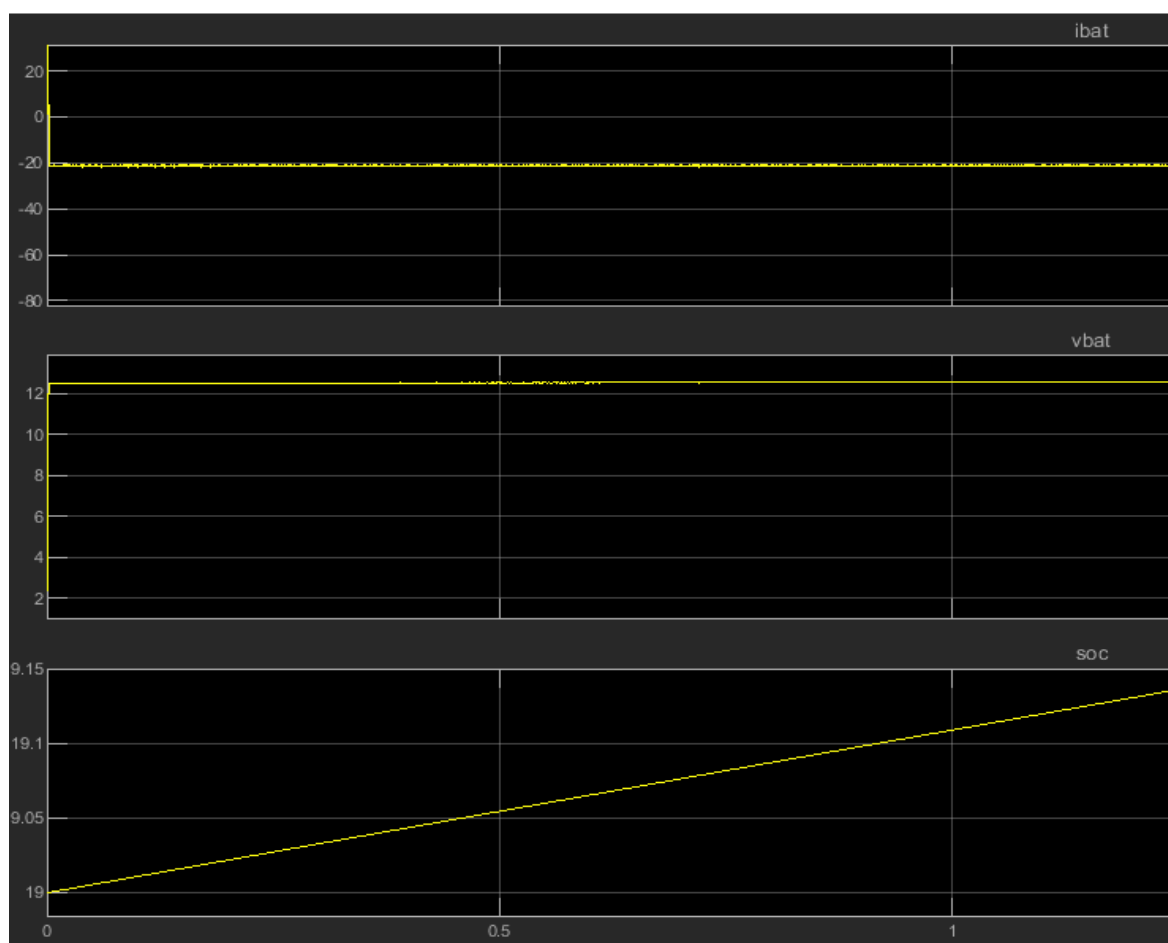
شکل ۱۰: ولتاژ و جریان شبکه به ازای خازن (C1) ۵۰۰ میکرو فاراد



مقدار THD جریان به ازای خازن (C1) ۵۰۰ میکرو فاراد مطابق شکل ۱۱ همچنان رو به افزایش است و به نظر می‌رسد که تغییر مقدار خازن (C1) تاثیری بر THD جریان نداشته است. مقدار جریان و ولتاژ باتری به ازای خازن (C1) ۵۰۰ میکرو فاراد در شکل ۱۲ آمده است. که این مقادیر همانند قبل مطابق مقادیر مورد انتظار است.



شکل ۱۱: THD جریان به ازای خازن ۵۰۰ میکرو فاراد



شکل ۱۲: ولتاژ و جریان و سطح باتری

در مقاله نتایج شبیه‌سازی الگوریتم جریان و ولتاژ ثابت با مقادیر حاصل از خودروی میتسوبیشی i-MiEV مقایسه شده است و انتظار می‌رود این دو مقادیر تفاوت قابل توجهی داشته باشد. اما با مقادیر فیلتر پایین‌گذر مقاله، مقدار THD جریان ذکر شده در مقاله حاصل نشد. به نظر می‌رسد مقادیر فیلتر پایین‌گذر باید بررسی شود.

در ادامه برای کاهش زمان شبیه‌سازی، شبیه‌سازی را در مد ناپیوسته انجام دادیم. البته در مقاله مقدار Sample time برابر  $7.5 \times 10^{-5}$  ذکر شده بود که با این مقدار، نتایج شبیه‌سازی خیلی دور از انتظار بود. نتایج زیر مربوط به فایل cccvdis است که مقدار sample time برابر  $1 \times 10^{-5}$  و همچنین مقادیر فیلتر ورودی یکسوساز تمام پل را تغییر داده‌ایم. جدول ۳ مقادیر فیلتر ورودی یکسوساز تمام پل است.

جدول ۳: مقادیر پارامترهای فیلتر جدید

واحد	مقدار	پارامتر
mH	۱۵۰	L1
$\Omega$	۰,۰۰۱	R1
$\mu F$	۲۰۰	C1
$\Omega$	۱۳,۵	R2

تغییرات ولتاژ، جریان و سطح شارژ باتری در شکل ۱۳، تغییرات THD جریان در شکل ۱۴ آمده است. اگرچه مقدار THD جریان (۲,۷ درصد) به دلیل تغییر فیلتر ورودی یکسوساز تمام پل از مقدار مقاله (۳۳ درصد) کمتر است ولی سایر مقادیر مطابق مقاله بدست آمده است.