

استراتژی تطبیقی توزیع عادلانه توان برای شارژر خودروهای الکتریکی بدون تماس چند خروجی

محمدحسن عامری^۱، علی یزدیان ورجانی^۲ و مصطفی محمدیان^۳

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس m.ameri@modares.ac.ir

^۲ هیئت علمی دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس، yazdian@modares.ac.ir

^۳ هیئت علمی دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس، mohamadian@modares.ac.ir

چکیده- با تجمع سیستم شارژر القایی خودرو در قالب یک سیستم چند خروجی شارژر خودرو میتوان هزینه پارکینگ‌های هوشمند شارژرهای القایی را کاهش داد. مهمترین مشکل یک سیستم شارژر القایی چند خروجی انتخاب فرکانس کاری سیستم است. در این مقاله استراتژی تطبیقی شارژ عادلانه توان برای انتخاب فرکانس کاری بهینه سیستم پیشنهاد می‌شود. در این استراتژی بهینه سازی فرکانس با هدف توزیع متوازن توان بین خودروها و کاهش عادلانه زمان شارژ هر خودرو می‌باشد. ظرفیت توان تحویلی به بار در یک شارژر القایی خودرو به فرکانس کاری مبدل وابسته است. وابسته بودن مشخصه فرکانس- توان هر یک از خروجی‌ها به موقعیت قرار گیری خودرو نسبت به صفحه شارژ مشخصه فرکانس توان هر یک از خروجی‌های شارژر در هر بار استفاده متفاوت می‌کند. متفاوت بودن فرکانس بهینه هریک از خروجی‌ها انتخاب فرکانس کاری سیستم را با یک چالش جدی روبه رو می‌کند. در استراتژی پیشنهادی، فرکانس بهینه براساس تغییرات توان تحویلی به هر خودرو در طی فرآیند شارژ به روز رسانی می‌شود. در نهایت الگوریتم پیشنهادی بر روی یک نمونه آزمایشگاهی پیاده سازی شده است تا صحت ادعاهای فوق تایید شود

کلید واژه: انتقال القایی توان، توزیع عادلانه توان، شارژر چند خروجی

۱- مقدمه

[۳] تاثیر استفاده از چند بار مشترک را بررسی کرده است. در این مطالعه IPT به صورت یک ترانسفورماتور یک ورودی چند خروجی مدل شده است. در سیستم‌های IPT چند خروجی بارهای متصل به خروجی های سیستم الزاما متشابه نیستند. [۴] یک نوع IPT دو خروجی پیشنهاد کرده است که از خروجی دوم به عنوان انتقال اطلاعات (data) استفاده شده است. به علت لزوم جابجایی اطلاعات بین اولیه و ثانویه IPT از یک مبدل دو طرفه bidirectional در سیستم انتقال اطلاعات بهره برده شده است.

مهمترین موضوعی که در یک انتقال توان مستقل از تعداد خروجی‌های آن اهمیت دارد میزان توان انتقالی یا به عبارت دیگر ظرفیت توان انتقالی است. کاهش اندازه توان انتقالی به یک خودرو الکتریکی به معنی افزایش مدت زمان شارژ آن و هدر رفتن زمان است. در مبدل‌های رزونانسی مانند IPT تنها در یک فرکانس خاص ظرفیت انتقال توان از اولیه به ثانویه بیشینه خواهد بود [۵]-[۷] به علت مشترک بودن اینورتر سمت اولیه در شارژر چند خروجی پیشنهادی شکل ۱- ب فرکانس بیشینه توان هریک از خروجی‌ها باید یکسان باشد تا بیشینه توان به تمام بارها انتقال یابد. اما در یک سیستم چند خروجی مانند پارکینگ شارژ IPT به دلایلی غیر قابل

مهمترین دلیلی که خودروهای الکتریکی با اقبال عمومی مواجه نمی‌شوند مسافت کوتاه طی شده با هر بار شارژ و زمان طولانی شارژ می‌باشد. شارژ اتوماتیک خودرو در مسیر یا در زمان متوقف بودن راه حلی مناسبی برای این معضل خودروهای الکتریکی است. نخستین قدم در شارژ اتوماتیک خودرو حذف نیاز به اتصال خودرو به شارژر توسط کاربر است. سیستم انتقال القایی توان (IPT) بهترین جایگزین اتصال فیزیکی خودرو به شارژر است [۱].

شکل ۱ (الف، ب) ساختار معمول برای شارژر القایی n خودرو برقی در یک مجتمع مسکونی را نشان می‌دهد. اگر هدف ایجاد یک پارکینگ مجهز به تکنولوژی شارژ IPT برای کل مجتمع باشد. آنگاه n شارژر خودرو برقی برای این پارکینگ و در نتیجه n مبدل الکترونیک قدرت مورد نیاز می‌باشد. برای کاهش هزینه، مطابق شکل ۱- ب می‌توان بجای استفاده از n سیستم IPT مجزا از یک سیستم n خروجی استفاده کرد.

یکی از اولین کاربردهای بیان شده برای IPT چند خروجی استفاده از سیستم IPT به عنوان ایزولاتور گیت سوئیچ است [۲]. مقاله

ارائه میشود. در پایان در بخش ۵ جمع‌بندی و نتیجه گیری ارائه می‌شود.

۲- شارژرهای IPT چند خروجی

تحلیل یک شارژر القایی تک خروجی نخستین گام در تحلیل سیستم چند خروجی مورد نظر است.

۲-۱- تحلیل شارژرهای القایی تک خروجی

در کاربردهایی مانند شارژر خودروهای الکتریکی یا انتقال توان به خودروهای در حال حرکت که توان دریافتی در محدوده وسیعی تغییر می‌کند نقطه کار سیستم باید نسبت به تغییرات بار مقاوم باشد. بهره ولتاژ سیستم شکل (۱-الف) برابر معادله (۱) است.

$$G_v = \frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{Z_L c_1 s ((L_M + L_1)cs^2 + 1)}{L_1 c_1^2 (2L_M + L_1)s^4 + Z_L c_1 (L_M + L_1)s^3 + Z_L c_1 s + 1} \right) \left(\frac{c_1 L_M s}{c_1 (L_M + L_1)s^2 + 1} \right) \quad (1)$$

برای بررسی حساسیت بهره ولتاژ به تغییرات بار باید از (۱) استفاده کرد.

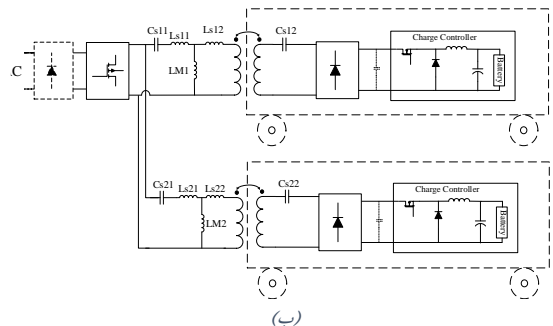
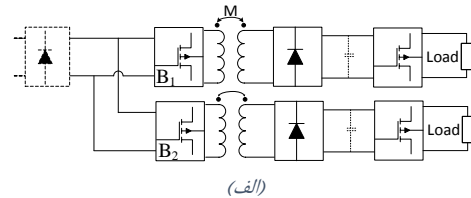
$$S_{Z_L}^{G_v} = \frac{\partial G_v}{\partial Z_L} \frac{Z_L}{G_v} = \frac{\left(L_1 c_1^2 (L_M + L_1) (2L_M + L_1) s^6 + \left(L_1 (2L_M + L_1) + 2(L_M + L_1)^2 \right) c_1^2 s^4 + 3c_1 (L_M + L_1) s^2 + 1 \right)}{\left(L_M c_1 s^2 \right) \left(\frac{L_1 c_1^2 (2L_M + L_1) s^4 + Z_L c_1 (L_M + L_1) s^3 + Z_L c_1 s + 1}{Z_L c_1 s + 1} \right)} \quad (2)$$

با برابر صفر قرار دادن معادله (۲) نقطه کارهایی که در مقابل تغییرات بار مقاوم هستند به دست می‌آیند. رابطه (۳) فرکانس این سه نقطه کار را نشان می‌دهد.

$$S_{Z_L}^{G_v} = 0 \Rightarrow s_1 = \frac{1}{\sqrt{c_1 L_1}} j, s_{2,3} = \pm \frac{1}{\sqrt{c_1 (L_M + L_1)}} j \quad (3)$$

در شکل (۲) نمودار تغییرات بهره ولتاژ - فرکانس یک سیستم را به ازای مقادیر مختلف بار نشان داده شده است. خطوط عمودی پر

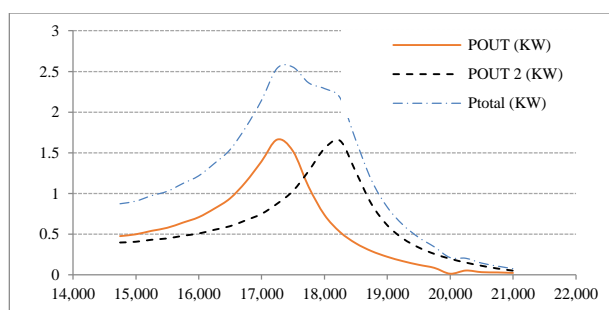
پیش‌بینی مانند تغییر موقعیت قرارگیری اولیه و ثانویه، تغییر مشخصات برخی اجزای الکتریکی مدار همچون ظرفیت خازن‌ها فرکانس بهینه هریک از خروجی‌ها می‌تواند متفاوت از مقدار طراحی شده باشد [۵]. در هیچ یک از مطالعاتی که تا کنون در زمینه IPT های چند خروجی صورت گرفته است بهینه سازی فرکانس سیستم مورد بررسی قرار نگرفته است. به علت اهمیتی که میزان توان انتقالی در سیستم‌های IPT دارد در این مقاله سعی شده است با پیشنهاد استراتژی شارژ عادلانه بهینه‌ترین الگوریتم ممکن برای انتخاب فرکانس کاری شارژرهای چند خروجی ارائه شود. در یک سیستم چند خروجی مشکل اصلی یافتن فرکانس بیشینه هر یک از بارها نمی‌باشد. بلکه مشکل یافتن مکانیسمی است که تضمین نماید همواره بهترین انتخاب برای انتخاب فرکانس بهینه صورت گرفته است. در این استراتژی، بهینه سازی فرکانس با هدف توزیع متوازن توان بین خودروها و کاهش عادلانه زمان شارژ هر خودرو انجام می‌شود.



شکل ۱ شمای کلی شارژر القایی خودرو (ب) چند خروجی با باس dc مشترک (ج) چند خروجی با باس DC مشترک

ساختار مقاله به این شرح است: در بخش دوم نگاه به شارژرهای IPT چند خروجی شده است. در بخش سوم ساختارهای مختلف استراتژی پیشنهادی مطرح و مورد نقد قرار می‌گیرد. نتایج پیاده سازی استراتژی مطرح شده بر روی نمونه آزمایشگاهی در بخش ۴

۸۷۰ وات و بلعکس به ازای کارکرد مدار در فرکانس بهینه شارژر دوم بیشینه توان بار اول برابر میشود با: ۵۰۰ وات. مقایسه این نتایج روشن می‌سازد یک خطای ۱۰٪ در مقدار خازن می‌تواند منجر به کاهش ۶۰ درصدی ظرفیت توان انتقالی شود. بنابراین در انتخاب فرکانس بهینه مبدل‌های القایی چند خروجی مصالحه‌ای باید بین فرکانس بهینه هریک از خروجی‌ها صورت بگیرد.



شکل ۳: نمودار توان- فرکانس شارژر دو خروجی با خطای ۱۰٪-۳- نقطه کار بهینه شارژرهای چند خروجی.

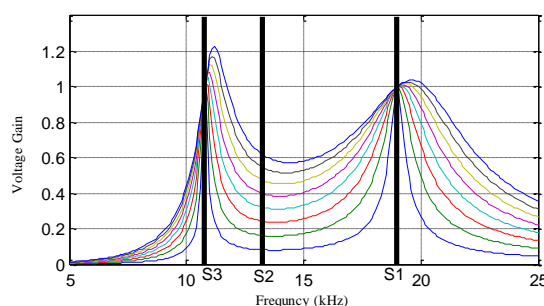
۲-۳- استراتژی توزیع عادلانه توان

تعیین هدف نخستین و مهمترین گام در بهینه‌سازی سیستم‌های مهندسی است. در این پژوهش هدف گذاری برای فرکانس کاری بهینه، توزیع عادلانه توان بین بارها است. انحراف توان تحویلی به خودرو از توان درخواستی سبب افزایش مدت زمان شارژ خودرو می‌شود. رابطه (۴) میزان افزایش مدت زمان شارژ خودرو را برحسب توان تحویلی به بار نشان میدهد. در رابطه (۴) انرژی مورد نیاز باتری برای شارژ، P_{max} بیشینه ظرفیت توان تحویلی به خودرو است. همچنین T_{min} و T_{act} به ترتیب برابر است با کمینه زمان لازم برای شارژ خودرو و مدت زمان واقعی شارژ خودرو. ΔT_{re} خطای نسبی مدت زمان شارژ خودرو میباشد.

$$\left. \begin{aligned} T_{min} &= \frac{E_{Batt}}{P_{Max}}, T_{act} = \frac{E_{Batt}}{P_{Trans}} \\ \Delta T_{re} &= \frac{T_{act} - T_{min}}{T_{min}} \times 100 \end{aligned} \right\} \Delta T_{re} = \left(\frac{P_{Max}}{P_{Trans}} - 1 \right) \times 100 \quad (4)$$

استراتژی توزیع عادلانه توان عبارت است از کمینه کردن اختلاف بین خطای نسبی مدت زمان شارژ خودروهای مختلف متصل به یک سیستم چند خروجی می‌باشد. بنابراین تابع هدف استراتژی عادلانه به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.

رنگ شده امتداد نقطه کارهای مقاوم به تغییرات بار را نشان می‌دهد. براساس شکل (۲) فرکانس کاری بهینه برای مبدل سری فرکانس S_1 می‌باشد. در این فرکانس دامنه تغییرات ولتاژ خروجی به ازای تغییر بار کمترین مقدار است. بنابراین نقطه کار S_1 مناسب‌ترین نقطه کار بهینه برای هریک از خروجی‌های شارژر چند خروجی می‌باشد.



شکل ۴: نمودار تغییرات ولتاژ خروجی مبدل سری برحسب فرکانس

۲-۲- تحلیل مبدل‌های IPT چند خروجی

اندوکتانس‌های ترانسفورماتور IPT به موقعیت ثانویه ترانسفورماتور IPT نسبت به اولیه آن وابسته است. هنگام طراحی یک شارژر IPT برای شارژ خودروها انتظار اینکه هر خودرو به گونه‌ای در محل مورد نظر پارک می‌شود که صفحه شارژ ثانویه دقیقاً هم محور با صفحه شارژ اولیه قرار می‌گیرد انتظار غیر واقعی است. بنابراین مقدار اندوکتانس‌های ترانسفورماتور IPT دارای انحراف از مقدار طراحی شده است. عللی مانند تغییرات دما و افزایش عمر خازن‌ها ظرفیت آن‌ها را تغییر می‌دهد. متغیر بودن ظرفیت خازن‌ها و اندازه اندوکتانس مدار IPT سبب تغییر در اندازه فرکانس رزونانس به ازای هریک از خروجی‌ها می‌شود.

یک شارژر دو خروجی همانند شکل (۲-ب) مفروض است. فرکانس رزونانس طراحی شده هر یک از خروجی‌های آن برابر (۱۸ کیلو هرتز) است. در حین پیاده سازی خازن مدار شارژر دوم ۱۰ درصد انحراف از مقدار طراحی شده دارد. بنابراین فرکانس رزونانس خازن دوم ۵ درصد انحراف نسبت به فرکانس رزونانس مدار اول دارد. شکل (۳) نمودار تغییرات توان ورودی و توان تحویلی به هر یک از بارها را برحسب فرکانس به ازای مقادیر جدید خازن نشان می‌دهد. براساس این شکل اگر فرکانس کاری مبدل برابر فرکانس رزونانس شارژر اول باشد آنگاه بیشینه توان انتقالی به بار دوم برابر است با:

آن بار (f_{opt-i}) به عنوان فرکانس سیستم انتخاب می‌شود. مقدار توان انتقالی به بار i ام در این حالت به عنوان مقدار جدید $P_{Max-i-var}$ تعیین می‌شود. این عمل برای تمام بارهایی که مقدار توان عبوری آنها تغییر کرده است تکرار می‌شود. سپس فرکانس جدید بهینه به ازای مقادیر جدید توان بیشینه بار محاسبه می‌شود.

با توجه به اینکه در تغذیه بارهای مختلف همواره بحث اولویت بندی مطرح است لذا در سامانه انتخاب سیستم بهینه باید بتوان علاوه بر تعیین فرکانس بهینه برای کل سیستم فرکانس کاری را به گونه‌ای تعیین کرد که بار با اولویت بالاتر از توان بیشتری در مقایسه با سایر بارها بهره ببرد. روش برای اولویت بندی بارها استفاده از ضرایب وزنی پیشنهاد می‌شود. براساس ضرایب وزنی رابطه تعیین فرکانس بهینه به صورت (۱۰) بازنویسی می‌شود. در رابطه (۱۰) w_i ضرایب وزنی می‌باشند به قسمی که مجموع ضرایب وزنی تمام بارها باید برابر 1 باشد. مقدار ضریب هر بار توسط خود بار یا سیستم مدیریت توان (Power Manager Unit) پخش می‌شود.

$$f_{opt} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i P_{Max-i-var}} \sum_{i=1}^n w_i f_{opt-i} P_{Max-i-var}, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

۴- ارزیابی استراتژی پیشنهادی

برای بررسی استراتژی پیشنهادی از یک نمونه آزمایشگاهی مبدل انتقال توان دو خروجی مشابه شکل (۴) استفاده می‌شود. اندازه پارامترهای مداری نمونه ساخته شده در جدول (۱) آورده شده است. پارامترهای مغناطیسی نشتی و مغناطیس کننده با استفاده از مدل سازی ریاضی ارائه شده در مقاله [۸] محاسبه شده است. به علت مسائل ایمنی ولتاژ تغذیه ورودی سیستم به ۲۰ ولت و حداکثر جریان ورودی به ۳ آمپر محدود شده است.

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\overline{\Delta T_{re}} - \Delta T_{re-i})^2 \quad (5)$$

به لحاظ تئوری کمترین مقدار رابطه (۵) برابر ۰ می‌باشد. کمینه مقدار زمانی بدست می‌آید که خطای نسبی زمان شارژ هر خودرو برابر با متوسط خطای نسبی زمان شارژ کل سیستم باشد. به عبارت دیگر تابع هزینه استراتژی شارژ بهینه زمانی کمینه می‌شود که ΔT_{re} هر یک از بارها با یکدیگر برابر باشند.

برای یک سیستم دو خروجی شرط کمینه شدن تابع هزینه به صورت رابطه (۶) قابل نوشتن است. معادله تغییرات توان بر حسب فرکانس در (۷) نشان داده شده است. با جایگزینی معادله (۷) در (۶) رابطه فرکانس بهینه توان به صورت معادله (۸) قابل نوشتن است.

$$\Delta T_{re-1} = \Delta T_{re-2} \Leftrightarrow \frac{P_{trans-1}}{P_{Max-1}} = \frac{P_{trans-2}}{P_{Max-2}} \quad (6)$$

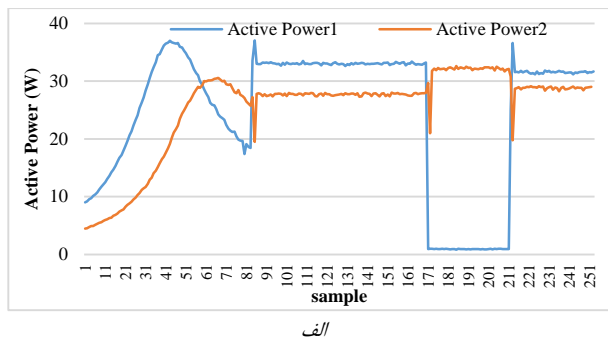
$$P_{Trans-i} = P_{Max-i} \left(1 - P_{Max-i}^2 (f - f_{opt-i})^2 \right) \quad (7)$$

$$f = \frac{P_{max-1} f_{opt-1} + P_{max-2} f_{opt-2}}{P_{Max-1} + P_{Max-2}} \quad (8)$$

با تعمیم رابطه (۸) برای یک سیستم چند خروجی معادله (۹) استخراج می‌شود.

$$f_{opt} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n P_{Max-i-var}} \sum_{i=1}^n f_{opt-i} P_{Max-i-var} \quad (9)$$

که در آن $P_{Max-i-var}$ بیشینه توان اکتیو هریک از بارها به ازای شرایط جدید بار می‌باشد. معادله (۹) نشان می‌دهد فرکانس بهینه کل سیستم در هر لحظه وابسته است به فرکانس بهینه هر یک از بارها در شرایط مختلف. در این استراتژی پس مشخص شدن فرکانس بهینه توان هر یک از بارها، فرکانس بهینه سیستم از طریق رابطه (۹) تعیین می‌شود. در ابتدای این استراتژی، مقادیر $P_{Max-i-var}$ از طریق آزمون تشخیص فرکانس بهینه تعیین می‌شود. مقدار توان تحویلی به هر یک از بارها در فرکانس بهینه f_{opt} به عنوان مقدار پیش فرض توان آن بار در نظر گرفته می‌شود. به ازای تغییر توان تحویلی هریک از بارها نسبت به مقدار پیش فرض توان بهینه آن بار اصلاح می‌شود. برای اصلاح توان بهینه بار i ام فرکانس بهینه



شکل ۵: نتایج تاثیر از مدار خارج شدن یک بار در نمونه آزمایشگاهی: الف- نمودار تغییرات توان، ب- نمودار تغییرات فرکانس

شکل ۵-الف و ب نمودارهای توان و فرکانس نمونه برداری شده توسط برد PCI1730 را نشان می‌دهد. براساس نمودارهای نشان داده شده هریک از خروجی‌ها دارای توان و فرکانس بهینه متفاوتی می‌باشند. همانند الگوریتم پیشنهادی ابتدا فرکانس بهینه هریک از خروجی‌ها تشخیص داده می‌شود. سپس براساس معادله (۱۰) بیشینه توان سیستم محاسبه می‌شود. در این آزمون ضرایب وزنی برابر ۵، فرض می‌شود. در ادامه بار اول از مدار خارج می‌شود. با تغییر توان خروجی اول، سیستم سعی در به روز رسانی مقدار توان بهینه بار اول با انتخاب فرکانس بهینه بار اول به عنوان فرکانس کاری سیستم می‌کند. سپس فرکانس کاری جدید سیستم براساس مقدار جدید توان بهینه هریک از بارها محاسبه می‌شود. ملاحظه می‌شود با صفر شدن توان دریافتی بار اول فرکانس کاری سیستم برابر فرکانس بهینه بار دوم شده است. در ادامه با در مدار قرار گرفتن مجدد بار اول و تشخیص تغییرات توان خروجی اول توسط سیستم مقدار توان بهینه بار اول براساس الگوریتم پیشنهادی مجدداً اصلاح می‌شود. بالادگی‌هایی که در نمودار تغییرات فرکانس شکل (۵) دیده می‌شود مربوط به مکانیزم اصلاح بیشینه توان بار اول می‌باشد. براساس شکل (۵) با در مدار قرار گرفتن مجدد بار اول فرکانس کاری سیستم برابر فرکانس کاری اولیه سیستم پیش از خارج شدن بار اول می‌باشد.



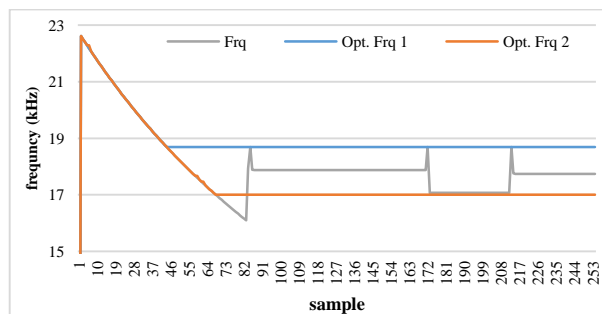
شکل ۴: نمونه آزمایشگاهی ساخته شده

جدول ۱: مشخصات نمونه آزمایشگاهی

	V_i	L_1	L_M	C_1
First output	20v	701 μ H	780 μ H	100nF
Second output	20v	701 μ H	780 μ H	100nF

الگوریتم کنترل از طریق یک برد نمونه PCI-1730 پیاده سازی می‌شود که براساس نمونه‌های جریان و ولتاژ خروجی‌های سیستم فرکانس کلیدزنی اینورتر ورودی را تعیین می‌کند. این فرکانس به عنوان ورودی یک میکروکنترلر DSPIC4011 که وظیفه تولید دستورات کلیدزنی اینورتر دارد در نظر گرفته می‌شود. برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی دو آزمون انجام شد.

در آزمون نخست تغییرات فرکانس بهینه کل سیستم به ازای تغییر توان مصرفی بار اول بررسی می‌شود. در این آزمون پس از تعیین فرکانس بهینه کل سیستم بار اول از مدار خارج می‌شود. پس گذشت مدت زمانی مجدداً بار اول در مدار قرار می‌گیرد.

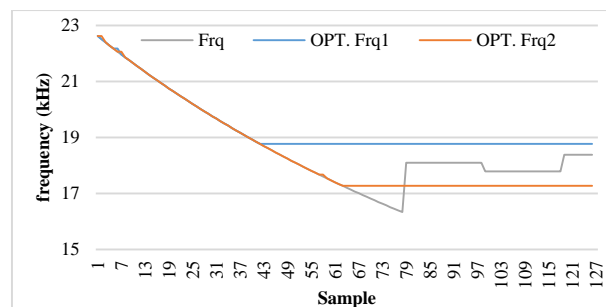


ب

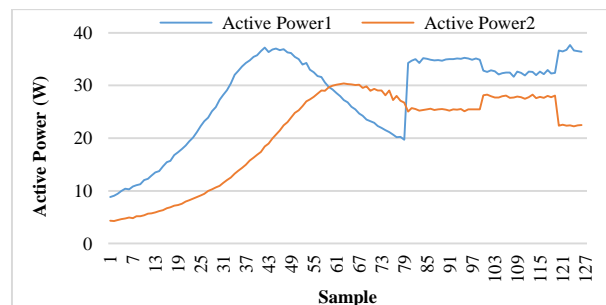
فرکانس کاری مبدل اولیه شارژر وابسته است. به علت متفاوت بودن مشخصات مغناطیسی خروجی‌های مختلف یک شارژر القایی توان فرکانس بیشینه توان تحویلی به هر یک از خودروها متفاوت است. به علت مشترک بودن مبدل اولیه عدم انتخاب فرکانس مناسب می‌تواند سبب کاهش تا ۷۰٪ ظرفیت توان تحویلی به خودرو شود. در این مقاله استراتژی توزیع عادلانه توان ارائه شد که می‌تواند فرکانس بهینه مبدل را به گونه‌ای تعیین کند که تفاوت خطای نسبی مدت زمان شارژ خودروهای متصل شده را کمینه کند. مهمترین ویژگی این استراتژی adaptive بودن نسبت به تغییرات توان هریک از خروجی‌ها است. همچنین در الگوریتم پیشنهادی می‌توان با تغییر ضرایب وزنی میزان اولویت تخصیص توان به بارهای مختلف را براساس درجه اهمیت آنها تغییر داد. نتایج آزمایشگاهی ارائه شده در مقاله صحت ادعاهای مطرح شده را تایید می‌کند.

۶- مراجع

- [1] P. Bauer, M. Castilla, and F. Pijl, "Control method for wireless inductive energy transfer systems with relative large air gap," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, no. 99, pp. 1–1, 2013.
- [2] S. C. Tang and S. Y. Hui, "Coreless printed circuit board (PCB) transformers with multiple secondary windings for complementary gate drive circuits," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 14, no. 3, pp. 431–437, May 1999.
- [3] D. Wesemann, S. Witte, and J.-S. Michels, "Effects of multiple loads in a contactless, inductively coupled linear power transfer system," in *2009 International Conference on Electrical and Electronics Engineering - ELECO 2009*, 2009, pp. 54–59.
- [4] R. Puers, K. Van Schuylenbergh, M. Catrysse, B. Hermans, and K. U. Leuven, "WIRELESS INDUCTIVE TRANSFER OF POWER AND DATA," *Springer*, pp. 395–414, 2006.
- [5] M. H. Ameri, A. Yazdian Varjani, and M. Mohamadian, "A novel algorithm for tracking maximum inductive transferred power point," in *4th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC2013)*, 2013, pp. 372–377.
- [6] V. Brusamarello, "Power Transfer With an Inductive Link and Wireless Tuning," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 62, no. 5, pp. 924–931, 2013.
- [7] J. E. James, D. Robertson, and G. a. Covic, "Improved AC Pickups for IPT Systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 12, pp. 6361–6374, 2014.
- [8] C. Zierhofer and E. Hochmair, "Geometric approach for coupling enhancement of magnetically coupled coils," *Biomed. Eng. IEEE ...*, vol. 43, no. 7, pp. 708–714, 1996.



(ب)



الف

شکل ۶: نتایج تاثیر ضریب وزنی در نمونه آزمایشگاهی: الف- نمودار تغییرات توان، ب- نمودار تغییرات فرکانس

در آزمایش دوم تاثیر تغییرات ضریب وزنی در انتخاب فرکانس بهینه سیستم بررسی شده است. پس از تثبیت فرکانس کاری سیستم ضریب وزنی بارهای اول و دوم از مقدار پیشفرض 0.5 به ترتیب به ۰.۳ و ۰.۷ تغییر میکنند. پس از گذشت مدت زمانی مقادیر ضرایب وزنی به ۰.۷ برای بار اول و ۰.۳ برای بار دوم مجدداً تغییر داده می‌شود. نمودارهای الف و ب شکل (۶) تغییرات توان و فرکانس سیستم را به ازای مقادیر مختلف ضریب وزنی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود با تغییر ضریب وزنی اندازه توان تحویلی به بارها به خوبی تغییر می‌کند.

بررسی نتایج دو آزمون انجام شده بر روی نمونه آزمایشگاهی پیاده سازی شده نشان می‌دهد استراتژی پیشنهادی تمام قابلیت‌های ادعا شده را در عمل نیز دارا می‌باشد.

۵- نتیجه گیری:

استفاده از یک شارژر چند خروجی به جای چندین شارژر تک خروجی برای شارژ خودروهای الکتریکی می‌تواند هزینه استفاده از سیستم شارژر القایی توان را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. در یک شارژر القایی توان، ظرفیت توان تحویلی به هر خودرو به