یک روش کنترلي جديد براي اتصال مبدل‌هاي فتوولتائیک به شبکه سراسري

مهدی سلیمی[۱و۲]، سیدمحمدتقی بطحایی[۲]، علیرضا صالحی[۲]، مسعود درویش اسکندری[۱]

۱ـ جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیر ـ شاخه تحقیقات FACTS
۲ـ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسي ـ دانشکده برق

چکیده

در اين مقاله يك روش كنترلي جديد براي اتصال مبدل‌هاي فتوولتائيک به شبکه سراسری ارائه گرديده است, بطوريکه اين روش علاوه بر كنترل تزريق توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي به شبکه، قابليت جبران‌سازي توان راكتيو و هارمونيک‌هاي جريان بار را نيز دارد. اين سيستم بصورت موازي بين شبکه و بار متصل مي‌شود. اين روش كنترلي امكان آن را دارد كه در صورت قطع شدن شبکه، توان مصرفي بار (اعم از توان اكتيو و توان راكتيو) تأمين شود. يكي از مهمترين قابليت‌هاي روش ارائه شده اين است که اگر توان تولیدی توسط آرایه‌های خورشیدی کمتر از قدرت اینورترها باشد, می‌توان از مابقی ظرفیت برای جبران‌سازی توان راکتیو و نیز فیلتر نمودن هارمونیک‌های جریان بار استفاده کرد تا جریان کشیده شده از شبکه كاملاً سينوسي شده و ضريب توان مساوي يک گردد. در ادامه، براي بررسي صحت عملکرد اين روش، سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه براساس اين روش كنترلي شبيه‌سازي شده‌اند.

واژه‌هاي كليدي: *سيستم‌هاي فتوولتائيک متصل به شبکه، جبران‌سازي توان راكتيو، جبران‌سازي هارمونيک‌هاي جريان، تئوري توان راكتيو لحظه‌اي* (instantaneous reactive power theory)

۱ـ مقدمه

آرایه‌های فتوولتائیک، انرژي خورشيدي را به صورت مستقيم به انرژي الكتريكي تبديل مي‌كنند و در مقايسه با سيستم‌هاي سنتي توليد انرژي، باعث آلودگي محيط زيست نمي‌گردند. به همين دليل سيستم‌هاي فتوولتائيک را منابع توليد انرژي *"سبز"* يا *"تميز"* نيز مي‌نامند. همزمان با افزايش مشكلات ناشي از آلودگي محيط زيست و همچنين كاهش ذخاير انرژي‌هاي فسيلي، استفاده از سيستم‌هاي فتوولتائيک در سال‌هاي اخير به شدت افزايش يافته است [۱].

از نظر تاريخي، سيستم‌هاي فتوولتائيک به خاطر هزينه‌هاي بالايي كه داشتند، عموماً براي تأمين توان الكتريكي مورد نياز ماهواره‌ها استفاده مي‌شدند. اما با رشد فزآينده صنعت نيمه هادي در سال‌هاي اخير و كاهش هزينه‌هاي توليد ادوات نيمه هادي، امروزه آرایه‌های خورشیدی کاربردهاي گسترده‌اي پيدا نموده‌اند كه يكي از آنها، سيستم‌هاي فتوولتائيک متصل به شبكه است. اين سيستم‌ها براي تزريق توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي به شبكه استفاده مي‌شوند و روش‌هاي متعددي براي كنترل آنها ارائه گرديده است [۵]-[۲].

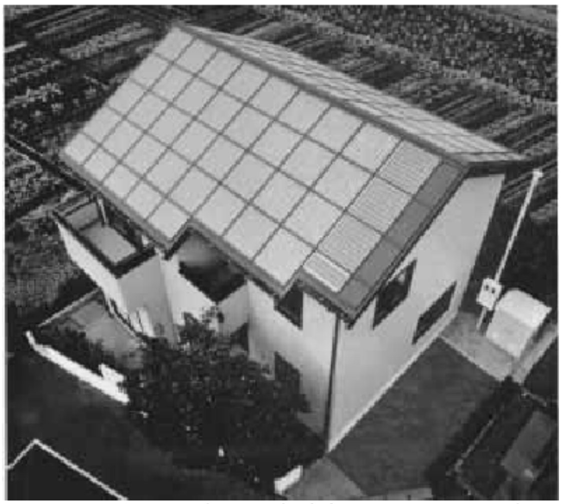
در اين مقاله، روش كنترلي جديدي براي اتصال سيستم‌هاي فتوولتائيک به شبكه ارائه گرديده است و شكل (۲) ساختار كلي چنين سيستم‌هايي را نشان می‌دهد. در اين شكل، اگر سيستم فتوولتائيک وجود نداشته باشد، بديهي است كه كل توان اكتيو و راكتيو مصرفي بار توسط شبكه تأمين خواهد شد. اگر سيستم فتوولتائيک فقط توان اكتيو به شبكه تزريق كند ([۲]و[۴])، توان اكتيو كشيده شده از شبكه توسط بار كاهش خواهد يافت ولي توان راكتيو كشيده از شبكه ثابت مي‌ماند. در اين صورت ضريب توان شبكه كاهش خواهد يافت كه مطلوب نيست. براي رفع اين مشكل، روش كنترلي استفاده شده بايد قابليت توليد توان راكتيو را نيز داشته باشد ([۳] و [۵]). اگر سيستم فتوولتائيک دقيقاً توان راكتيو مورد نياز بار را توليد كند، در اين صورت ضريب توان شبكه واحد خواهد شد. لازم به ذكر است كه معمولاً براي آنكه آرايه خورشيدي تحت شرايط مختلف بيشترين توان ممكن را توليد كند، از يک مبدل DC/DC براي اتصال آرايه خورشيدي به اينورتر استفاده مي‌شود. اين مبدل، موضوع مورد بحث اين مقاله نبوده و در مراجع [۸] - [۶] به خوبي توضيح داده شده است.

استفاده از بارهاي غيرخطي, سبب ايجاد هارمونيک‌هاي جريان در شبكه سراسري مي‌شود. وجود چنين هارمونيک‌هايي باعث توليد تلفات اضافي در خطوط انتقال و كاهش ضريب توان مي‌گردد. همچنين ممكن است خازن‌هايي كه بصورت موازي به شبكه وصل شده‌اند، سبب ايجاد تشديد با اين هارمونيک‌ها شوند.

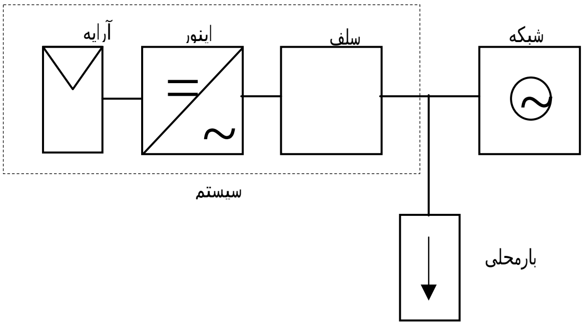
در[۹] بيان شده است كه هارمونيک‌ها سبب ايجاد اختلال در كاركرد وسائل حساس، سيستم‌هاي مخابراتي و... نيز مي‌شوند.

اخيراً نشان داده شده است كه مي‌توان از اينورترهاي متصل به شبكه به صورت فيلتر فعال نيز (active filter) استفاده كرد [۱۱] - [۱۰]. در اين مقاله، روش كنترلي جديدي براي اتصال سيستم‌هاي فتوولتائيک به شبكه ارائه شده است. در اين روش، سيستم فتوولتائيک علاوه بر تزريق توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي به شبكه و همچنين جبران توان راكتيو مورد نياز بار، هارمونيک‌هاي جريان بار را نيز جبران مي‌كند. جبران هارمونيک‌هاي بار توسط اين روش كنترلی سبب مي‌شود كه جريان شبكه كاملاً سينوسي گردد و هارمونيک‌هاي بار وارد شبكه نشود. در اين روش كنترلي، اگر توان توليدي

توسط آرايه‌هاي خورشيدي كمتر از قدرت اينورترها باشد، از مابقی ظرفيت مي‌توان برای جبران‌سازی توان راکتیو و یا فیلتر نمودن هارمونیک‌ها استفاده کرد. يکي ديگر از ويژگي‌هاي روش ارائه شده این است که در صورت قطع شبکه سراسري، سیستم فتوولتائیک توانائي تأمين توان مورد نياز بار را دارد. این سیستم در این حالت به صورت منبع تغذیه بدون وقفه (U.P.S.) کار خواهد کرد.



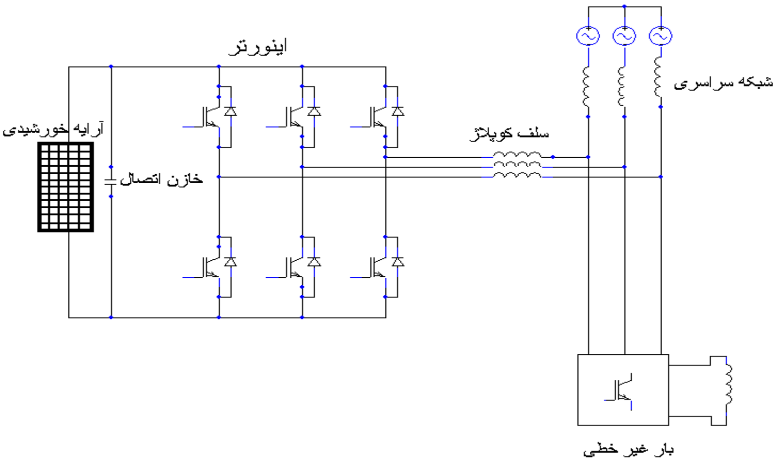
شكل ۱ـ سيستم فتوولتائيك متصل به شبكه



شكل ۲ـ ساختار كلي سيستم‌هاي فتوولتائيك متصل به شبكه

۲- اصول عملکرد

در شکل (۳) سيستم فتوولتائيک متصل به شبکه با جزئيات بيشتري نشان داده شده است. در اين سيستم ، آرايه هاي خورشيدي توسط يک اينورتر منبع ولتاژي (Voltage Source Inverter :VSI) به شبکه وصل شده اند. براي اتصال VSI به شبکه از يک اندوکتانس هم سري استفاده شده است. اين اندوکتانس سري امکان کنترل توان خروجي اينورتر را فراهم مي کند. با توجه به اينکه رفتار کلي آرايه‌هاي خورشيدي بصورت يک منبع جريان است [۱۲] ، براي اينکه بتوان آنها را همراه VSI استفاده کنيم ، از يک خازن dc در ورودي اينورتر استفاده شده است.



شکل ۳ـ جزئيات اتصال سيستم‌هاي فتوولتائيك به شبكه

از ديدگاه شبکه و براساس چگونگي روش کنترل، VSI ممکن است بصورت يک منبع ac، بار مقاومتي، سلف و يا خازن که همگي داراي توان ظاهري يکساني هستند تلقي شود. در شرايط عادي، سيستم فتوولتائيک علاوه بر تزريق توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي به شبکه، هارمونيک‌هاي جريان بار و همچنين توان راکتيو مصرفي توسط بار را نيز توليد مي‌کند. در اين صورت جريان کشيده شده و يا تزريق شده به شبکه کاملاً سينوسي بوده و همچنين با ولتاژ شبکه هم فاز خواهد بود. (ضريب توان شبکه تقريباً مساوي يک مي‌شود.)

توپولوژي استفاده شده در اين مقاله يک مبدل منبع ولتاژي (VSI) است زيرا با توجه به کنترلرهای استفاده شده، ولتاژ ورودي اينورتر (ولتاژ خازن) تقريبا ثابت است. يکي از روش‌هاي کنترل VSIها، کنترل جريان خروجي آنها است.

استفاده از روش کنترل جريان براي اتصال سيستم هاي فتوولتائيک به شبکه مناسبتر است زيرا:

- از آنجايي که شبکه يک منبع ولتاژ تقريبا ثابت است، مي‌توان براي کنترل توان مبادله شده بين VSI و شبکه، فقط جريان عبوري از VSI به شبکه يا بالعکس را کنترل کرد.

- اگر از روش کنترل ولتاژ براي اتصال سيستم فتوولتائيک به شبکه استفاده شود، کوچکترين خطايي در فاز ولتاژ خروجي اينورتر موجب عبور جريان زيادي از سيستم مي‌شود. در حاليکه سيستم‌هاي مبتني برروش کنترل جريان داراي چنين مشکلاتي نيستند. [۱۳]

در اين مقاله، از روش هيسترزيس براي کنترل جريان اينورتر استفاده شده است. [۱۴].

در روش ارائه شده در اين مقاله, کنترلر سيستم فتوولتائيک براساس توان توليدي آرايه خورشيدي و همچنين جريان‌هاي هارمونيکي و توان راکتيو مصرفي بار، جريان مرجع اينورتر را مشخص مي‌کند و آن را در اختيار کنترلر هيسترزيس قرار مي‌دهد. کنترلر هيسترزيس فرمان‌هاي کليدزني اينوتر را طوري صادر مي‌کند که جريان خروجي اينورتر مساوي جريان مرجع گردد.

چگونگي کارکرد سيستم‌هاي فتوولتائيک متصل به شبکه کاملاً وابسته به استراتژي کنترل انتخاب شده براي مبدل VSI است. در حالت کلي، استراتژي کنترل اين سيستم‌ها بايد توانايي‌هاي زير را داشته باشد:

۱ـ توليد شکل موج جريان مرجع هرسه فاز

۲ـ تثبيت ولتاژ خازن dc ورودي

۳ـ استراتژي کنترل:

در اين مقاله، براي مشخص کردن جريان‌هاي مرجع اينورتر، از تئوري توان راکتيو لحظه‌اي که توسط Akagi بر کنترل فيلترهاي فعال ارائه گرديده است استفاده مي‌شود [۱۵]. در اين سيستم، جريان‌هاي مرجع، جريان‌هايي هستند که اگر توسط اينورتر توليد شوند، توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي به شبکه تزريق شده و جريان‌هاي هارمونيکي و توان راکتيو بار توسط اينورتر جبران مي‌شود. تئوري توان راکتيو لحظه‌اي براساس انتقال متغيرهاي ولتاژ و جريان به مختصات $\alpha\beta$ بنا نهاده شده است. مقادير لحظه‌اي متغيرهاي ولتاژ و جريان در مختصات $\alpha\beta$ را مي‌توان توسط معادله زير محاسبه کرد:

$$\begin{bmatrix}V_\alpha\\V_\beta\end{bmatrix}=[A].\begin{bmatrix}V_a\\V_b\\V_c\end{bmatrix}\quad,\quad\begin{bmatrix}i_\alpha\\i_\beta\end{bmatrix}=[A]\begin{bmatrix}i_a\\i_b\\i_c\end{bmatrix}\qquad(۱)$$

که در معادلات فوق [A] ماتريس انتقال است:

$$[A]=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix}1 & -1/2 & -1/2\\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2\end{bmatrix}\qquad(۲)$$

توابع تبديل فوق در صورتي صادق هستند که $v_a+v_b+v_c=0$ بوده و ولتاژهاي v_a، v_b و v_c سينوسي و بالانس باشند. توان اکتيو و راکتيو لحظه‌اي در مختصات $\alpha\beta$ را مي‌توان توسط معادلات زير حساب کرد:

$$p(t)=v_\alpha(t)i_\alpha(t)+v_\beta(t)i_\beta(t)\qquad(۳)$$

$$q(t)=-v_\alpha(t)i_\beta(t)+v_\beta(t)i_\alpha(t)\qquad(۴)$$

جريان‌هاي i_α و i_β را بر حسب مقادير توان‌هاي لحظه‌اي بصورت زير مي‌توان نوشت :

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha{}^2 + v_\beta{}^2}\begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \tag{۵}$$

مقادير p و q − که توسط معادلات (۳) و (۴) بيان شده است ـ را مي‌توان به صورت حاصل جمع مؤلفه dc و مؤلفه ac آنها در نظر گرفت:

$$\overline{p} = \overline{p} + \tilde{p} \tag{۶}$$

$$q = \overline{q} + \tilde{q} \tag{۷}$$

که در معادلات فوق:

$\overline{p}$: مؤلفه dc توان لحظه‌اي p است و به مؤلفه اصلي جريان اکتيو مربوط مي‌شود.

$\tilde{p}$: مؤلف ac توان لحظه‌اي p است و مربوط به آن دسته از جريان‌هاي هارمونيکي است که توسط جزء اکتيو توان لحظه‌اي توليد مي‌شوند.

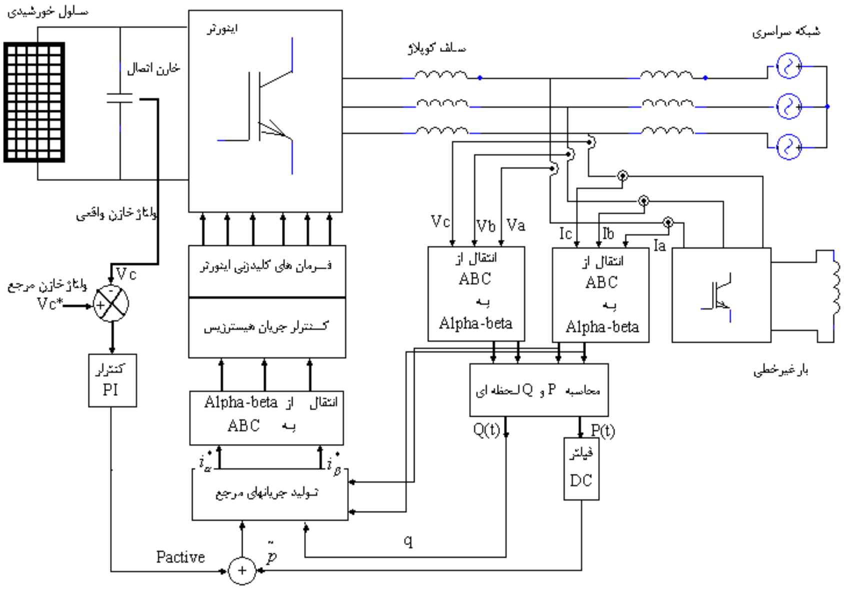
$\overline{q}$: مؤلفه dc توان لحظه‌اي q است و به توان راکتيوي که توسط مؤلفه‌هاي اصلي ولتاژ و جريان توليد مي‌شود، مربوط است.

$\tilde{q}$: مؤلفه ac توان لحظه‌اي q است و مربوط به آن دسته از جريان‌هاي هارمونيکي است که توسط جزء راکتيو توان لحظه‌اي توليد مي‌شود. براي آنکه سيستم فتوولتائيک بتواند توان راکتيو و جريان‌هاي هارمونيکي توليد شده توسط بارهاي غيرخطي را توليد کند، جريان مرجع آن بايد شامل مقادير $\tilde{p}$ ، $\overline{q}$ و $\tilde{q}$ باشد. مزيت استفاده از تئوري فوق اين است که در آن، توان‌هاي اکتيو و راکتيو متناظر با مؤلفه اصلي ولتاژ جريان به صورت dc هستند و در صورت نياز مي‌توان به راحتي هر کدام را حذف کرد.

در سيستم‌هاي فتوولتائيک متصل به شبکه، استراتژي کنترلي VSI بايد علاوه بر جبران توان راکتيو و هارمونيک‌هاي جريان مربوط به بار، توان اکتيو توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي را نيز به شبکه تزريق کند. در صورت صرفنظر کردن از تلفات اينورتر تفاوت بين توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي و توان اکتيو تزريقي به شبکه در خازن dc ذخيره مي‌شود:

$$\int_{-\infty}^{t}(V_c i_{pv} - P_{active})d\lambda = \frac{1}{2}CV_c{}^2 \tag{۸}$$

که در معادله فوق، V_c ولتاژ لحظه‌اي خازن ورودي اينورتر، i_{pv} جريان لحظه‌اي کشيده شده از آرايه خورشيدي و P_{active} توان لحظه‌اي تزريق شده به شبکه از طريق اينورتر است. اگر توان توليدي توسط آرايه خورشيدي به شبکه تزريق نگردد، با توجه به اينکه آرايه‌هاي خورشيدي داراي ماهيت منبع جرياني هستند، ولتاژ خازن به صورت خطي زياد خواهد شد. بايد کنترلر ميزان توان اکتيو تزريقي به شبکه را طوري کنترل کند که ولتاژ خازن همواره ثابت بماند.



شکل ٤ـ استراتژي کنترلي سيستم‌هاي فتوولتائيك متصل به شبکه

بنابراين ميزان توان اکتيو تزريقي از سلول‌هاي خورشيدي به شبکه را مي‌توان بصورت زير نوشت:

$$P_{active} = K_p\left(V_c^* - V_c\right) + K_I \int \left(V_c^* - V_c\right)dt \qquad (۹)$$

که در معادله فوق V_c^* ولتاژ مرجع خازن، V_c ولتاژ لحظه اي خازن، K_p و K_I ضرايب تناسبي و انتگرالي مربوط به کنترلر PI هستند. انتخاب اين ضرايب براساس مصالحه اي بين عملکرد حالت دائمي و ديناميکي سيستم صورت مي گيرد. اگر K_p و K_I بزرگ در نظر گرفته شوند، خطاي حالت ماندگار پاسخ کاهش خواهد يافت. از طرفي ديگر اگر K_p و K_I کوچک باشند، عملکرد ديناميکي سيستم در برابر تغييرات ميزان تابش نور خورشيد و درجه حرارت محيط بهتر خواهد بود.

با توجه به معادله (۵)، جريان‌هاي مرجع سيستم فتوولتائيک در مختصات $\alpha\beta$ که توانايي توليد توان راکتيو و جريان‌هاي هارمونيکي بار و تزريق توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي به شبکه را دارد، به صورت زير قابل بيان است:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha^* \\ i_\beta^* \end{bmatrix} = \frac{1}{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \begin{bmatrix} V_\alpha & V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p}_L + P_{active} \\ \bar{q}_L + \tilde{q}_L \end{bmatrix} \qquad (۱۰)$$

در معادله فوق، V_α و V_β ولتاژ بار در مختصات $\alpha\beta$ و i_α^* و i_β^* جريان‌هاي مرجع سيستم فتوولتائيک در مختصات $\alpha\beta$، P_L و q_L توان لحظه‌اي بار در مختصات $\alpha\beta$ و P_{active} خروجي مربوط به کنترلر ولتاژ خازن dc ورودي است. جريان‌هاي مرجع را مي‌توان در مختصات abc به صورت زير نوشت:

$$\begin{bmatrix} i_a^* \\ i_b^* \\ i_c^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha^* \\ i_\beta^* \end{bmatrix} \qquad (۱۱)$$

اگر جريان خروجي اينورتر مساوي i_a^*، i_b^* و i_c^* گردد: توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي به شبکه طوري تزريق مي‌گردد که ولتاژ خازن dc ورودي همواره ثابت بماند.

۱ـ جريان‌هاي هارمونيکي و توان راکتيو بار توسط اينورتر تأمين مي‌شود بطوريکه ضريب توان شبکه تقريباً معادل يک شده و جريان هارمونيکي وارد شبکه نمي‌شود.

اگر توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي کم باشد، کنترلر مربوط به ولتاژ خازن مي‌تواند مقداري توان اکتيو از شبکه جذب کند تا در اثر تلفات اينورتر ولتاژ خازن افت نکند و سيستم فتوولتائيک در اين حالت قادر است که توان راکتيو و جريان‌هاي هارمونيکي بار تأمين کند.

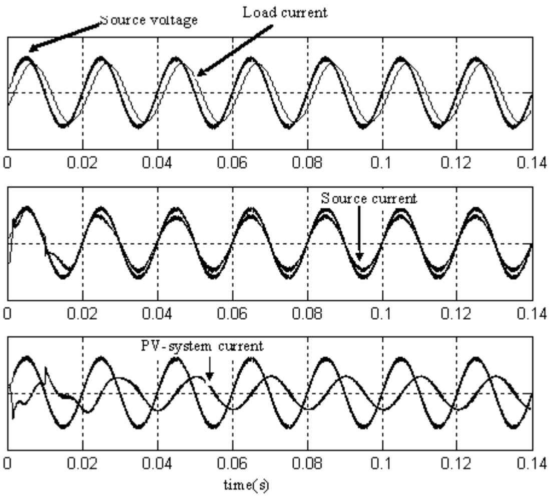
۴ـ نتايج حاصل از شبيه‌سازي:

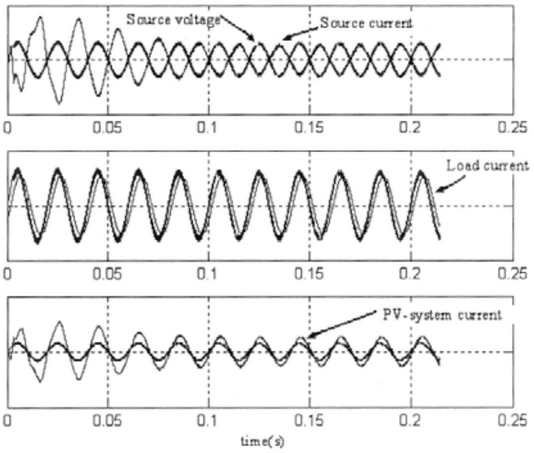
در اين بخش به منظور بررسي صحت روش ارائه شده، سيستم فتوولتائيک متصل به شبکه براساس استراتژي کنترلي اشاره شده در بخش ۳، با استفاده از نرم افزار MATLAB شبيه‌سازي شده است. پارامترهاي استفاده شده در شبيه‌سازي عبارتند از: ولتاژ فاز به نول شبکه:۲۲۰ ولت، ولتاژ مرجع خازن dc ورودي: ۸۰۰ ولت ، ظرفيت خازن وروري 1mF و سلف اتصال به شبکه: ۵۰۰ ميکروهانري.

در روش کنترل جريان اينورتر به روش هيسترزيس، اگر پهناي باند هيسترزيس ثابت باشد، فرکانس کليدزني در هر سيکل متغير خواهد بود. براي رفع اين مشکل در اين مقاله پهناي هيسترزيس طوري تنظيم مي‌شود که فرکانس کليدزني همواره حدود 10KHz ثابت بماند. ابتدا از يک بار RL به عنوان مصرف‌کننده توان راکتيو استفاده شده است. نتايج حاصل از شبيه‌سازي براساس مدل ارائه شده در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. در شکل (۵)ـ الف فرض شده است که توان توليدي توسط آرايه‌هاي خورشيدي کم است و سيستم متصل به شبکه فقط توان راکتيو بار را توليد مي‌کند. در اين حالت توان اکتيو مصرفي بار از شبکه کشيده مي‌شود. در شکل (۵)ـ ب فرض شده است که توان توليدي توسط آرايه خورشيدي بيش از توان مورد نياز بار است. در اين حالت ملاحظه مي‌شود که سيستم فتوولتائيک علاوه بر تغذيه توان اکتيو و توان راکتيو مورد نياز بار، توان اکتيو به شبکه هم تزريق مي‌کند. براي بررسي چگونگي جبران هارمونيک‌هاي بار توسط اين سيستم، از يک يکسو کننده ديودي سه فاز تمام پل به عنوان بارغير خطي استفاده شده است. نتايج حاصل از شبيه‌سازي نشان مي‌دهد که عليرغم هارمونيکي بودن جريان بار و همچنين مصرف توان راکتيو توسط آن، جريان کشيده شده از شبکه در شکل (۶)ـ الف و همچنين جريان تزريق شده به شبکه در شکل (۶)ـ ب تقريبا سينوسي و هم فاز با ولتاژ خط است. در شکل (۶)ـ الف ملاحظه مي‌شود که سيستم فتوولتائيک فقط جريان‌هاي هارمونيکي و توان راکتيو بار را جبران مي‌کند. اين سيستم در اين حالت بصورت فيلتر فعال (Active Filter) عمل مي‌کند. يکي از مزاياي روش کنترل آورده شده در اين مقاله اين است که اگر در حين کار سيستم ولتاژ شبکه قطع شود، اين

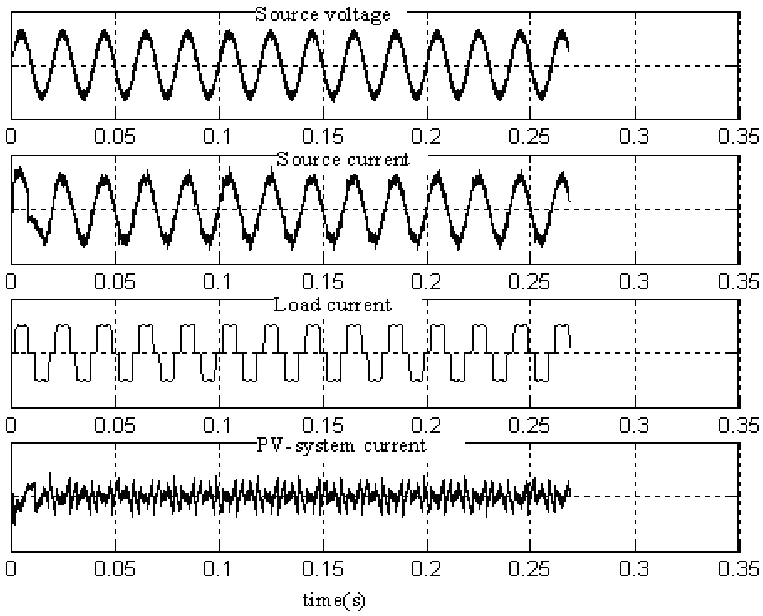
سيستم مي‌تواند بصورت مجزا از شبكه توان مورد نياز بار را تأمين كند. در اين حالت سيستم فتوولتائيک بصورت U.P.S. كار مي‌كند.

شكل ۵) الف ـ يك توان راكتيو مصرفي بار را تأمين مي‌كند

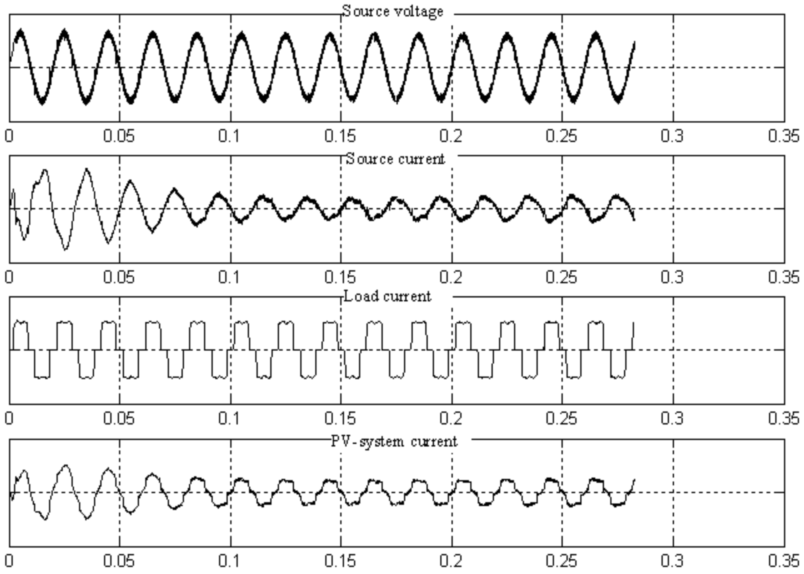




شكل ۵) ب ـ سيستم فتوولتائيك علاوه بر تأمين راكتيو مصرفي براي توان اكتيو به شبكه هم تزريق مي‌كند



شكل ٦) الف ـ سيستم فتوولتائيك علاوه بر تأمين راكتيو مصرفي بار هامونيك‌هاي جريان بار را نيز توليد مي‌كند



شكل ٦) ب ـ سيستم فتوولتائيك علاوه بر جبران‌سازي بار، توان اكتيو هم به شبكه تزريق مي‌كند

۵ـ نتیجه‌گیري:

در اين مقاله استراتژي کنترلي جديدي براي سيستم‌هاي فتوولتائيک متصل به شبکه ارائه شده است. نتايج حاصل از شبيه‌سازي نشان مي‌دهد که اين سيستم می‌تواند صرفنظر از ميزان توان توليدي توسط آرايه‌هاي فتوولتائيک، همواره توان راکتيو و جريان‌هاي هارمونيکي بار را تا سقف قدرت اينورترها جبران کند.

همچنين در صورت قطع شبکه اينورترها بدون هيچ وقفه‌ای بار را تغذيه خواهند کرد.

٦ـ قدرداني و تشکر:

مؤلفين از همکاريهاي مسئولان محترم جهاد دانشگاهي واحد خواجه نصيرالدين‌طوسي براي انجام اين تحقيقات کمال تشکر را دارند.

۷ـ منابع

1- H. Watanabe, T. Shimizu. And G. Kimura “A novel utility interactive photovoltaic inverter with generation control circuit” IEEE, 1998

2- M. Andersen and T.B. Alvsten “200W low cost module integrated wittily interface for modular photovoltaic energy systems”, IEEE, 1995

3- S. Kim, G.Yoo and J. song “A Bi functional utility connected photovoltaic systems with power factor correction and U.P.S. facility”, IEEE, 1996

4- M.F. Rahman and L. Zhong “A new, transformer less photovoltaic array to utility grid interconnection” IEEE, 1997

5- L.J. Borle, M.S. Dumont and C.V. Nayer, “Development and testing of a power conditioning system in Western Australia”, IEEE tranoction on industry applications 33, 1-7, 1997

6- Z. Sallameh and D. Taylor, “step-up maximum power point Tracking for photovoltaic Arrays”, solar Energy, vol. 44, No.1, P.57, 1990

7- W. Teulings, J.C. Marpinard, A. capel and D.O Sullivan “A New maximum power point Tracking system”, IEEE, 1993

8- H. Sugimoto and H. Dong, “A New scheme for maximum photovoltaic power tracking control” IEEE, 1997

9- V.E. Wagner, “Effect of harmonics on equipments”, IEEE Trans. Power Delivery, vol8, pp.672-680, Apr 1993