اثر DVR بر بهبود کمبود و بیشبود ولتاژ سیستم توزیع در شرایط هارمونیکي

آرش تعويقي[١] ، سعيد افشارنيا [*٢] و حسن منصف [٢]

[١]دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسي برق و کامپيوتر - پرديس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

[٢]دانشيار دانشکده مهندسي برق و کامپيوتر - پرديس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاريخ دريافت ٨٧/٤/١٥، تاريخ تصويب ٨٨/١٠/٣٠)

چكيده

امروزه با توجه به آسيب‌ديدگي و قطع تجهيزات الكتريكي حساس شبكه‌هاي توزيع بر اثر كمبود ولتاژ، ضرورت توجه به اين قبيل از نارسايي‌هاي كيفيت توان، بيش از پيش احساس مي‌گردد. از اين رو در اين مقاله، پس از شرح اجمالي ساختمان DVR، به عنوان مؤثرترين جبران‌ساز كمبود ولتاژ، به بررسي مفصل سيستم كنترل و انواع استراتژي‌هاي تزريق ولتاژ، پرداخته مي‌شود. در ادامه، با توجه به اهميت سرعت پاسخ DVR در حفاظت از بارهاي حساس به مدت زمان كمبود ولتاژ، الگوي تخمين نوبني معرفي گرديده و دقت و سرعت پاسخ آن با ساير الگوهاي تخمين متداول مورد ارزيابي قرار مي‌گيرد. در نهايت، با معرفي يك سيستم كنترل نوين بر اساس الگوي تخمين پيشنهادي و استراتژي تزريق ولتاژ پيش از خطا، اثر DVR بر جبران كمبود و بيشبود ولتاژ يک شبكه توزيع نمونه در Matlab/Simulink شبيه‌سازي و مورد مطالعه قرار مي‌گيرد.

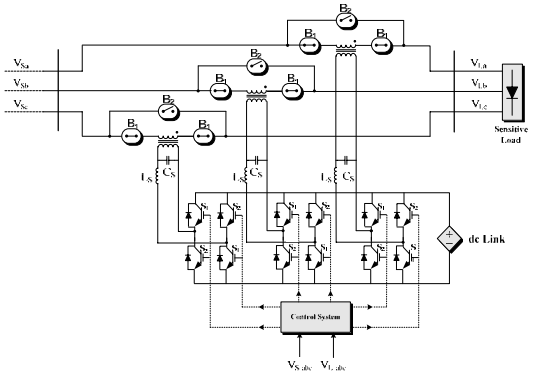
واژه‌هاي كليدي: استراتژي جبران پيش از خطا، الگوي تخمين پيشنهادي، پرش زاويه، كمبود ولتاژ و DVR

مقدمه

كمبود ولتاژ با اختصاص حدود ٨٥% از سهم مشكلات كيفيت توان، يكي از بزرگترين و شايع‌ترين اين نارسايي‌ها به شمار مي‌آيد[١]. طبق استاندارد IEEE 1159-1995، كمبود ولتاژ به كاهش ناگهاني مقدار مؤثر ولتاژ به ميزان ١٠% تا ٩٠% و در مدت زمان نيم سيكل تا يک دقيقه، گفته مي‌شود؛ كه غالباً بر اثر عواملي نظير راه‌اندازي موتورها، كليدزني ترانسفورماتورها و عمدتاً وقوع انواع اتصال‌كوتاه، در شبكه پديد مي‌آيد[٢].

در پاره‌اي از موارد، بروز كمبود ولتاژ با دامنه ١٠ تا ١٥ درصد و با دوره نيم سيكل، موجب از دست دادن حافظه پردازش، آسيب‌ديدگي و نهايتاً قطع بارهاي حساسي چون كامپيوترها و راه‌اندازهاي تنظيم سرعت موتورها گرديده، به گونه‌اي كه تعمير و راه‌اندازي مجدد آنها، به زمان و هزينه بيشتري نياز دارد[٣].

به منظور رفع اين نارسايي و با توجه به مطالعاتي كه پيرامون نحوه جبران‌سازي و ملاحظات اقتصادي ادوات CUPS[١] صورت گرفته است؛ بازياب ديناميكي ولتاژ (DVR)[٢] به عنوان مؤثرترين جبران‌ساز كمبود ولتاژ شناخته شده است[٤] و [٥]. DVR با اتصال سري به شبكه‌هاي توزيع و تزريق يك ولتاژ ديناميكي قابل كنترل، قادرست دامنه و زاويه ولتاژ شبكه را به گونه‌اي كنترل نمايد؛ تا در صورت بروز كمبود ولتاژ، ولتاژ بارهاي حساس در مقدار نامي تثبيت گردد. در شكل (١)، ساختار DVR نشان داده شده كه از شش بخش اصلي به شرح زير تشكيل يافته است.



شكل ١: ساختار **DVR** متصل به شبكه.

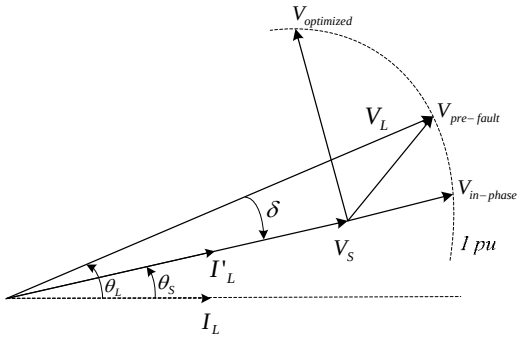
١) مجموعه باتري، [٣]
٢) اينورتر منبع ولتاژ سه فاز، [٦]
٣) فيلتر هارمونيكي غيرفعال (L_f , C_f)، [٧]
٤) ترانسفورماتورهاي تزريق،
٥) كليدهاي حفاظتي (B_2 , B_1)،
٦) سيستم كنترل.

در بين اجزاي مورد بحث، سيستم كنترل DVR ، نقش

* نويسنده مسئول : تلفن : ٦١١١٤١٧٩ , فاكس : ٨٨٧٧٨٦٩٠ , Email: safshar@ut.ac.ir

مهمي در تعيين سرعت و نحوه جبران كمبود ولتاژ، ايفا مي‌كند كه خود از دو بخش اصلي تخمين و استراتژي تزريق ولتاژ، تشكيل شده است[۸].

مطابق نمودار شكل (۲)، تاكنون سه استراتژي كلي براي تزريق ولتاژ شناخته شده است كه عبارتند از: روش‌هاي هم‌فاز[۳]، حداقل انرژي[۴] و پيش از خطا[۵] [۹].



شكل ۲: نمودار استراتژيهاي تزريق ولتاژ.

با توجه به نمودار فوق، در بين روش‌هاي مزبور، تنها استراتژي پيش از خطا از قابليت توأم بازيابي دامنه و زاويه فاز ولتاژ شبكه به مقدار قبل از وقوع خطا برخوردار است. در اين مطالعه، از اين روش تزريق ولتاژ در سيستم كنترل DVR استفاده مي‌شود.

الگوهاي تخمين ولتاژ

در بازيابي دامنه و زاويه فاز ولتاژ به كمك DVR، دقت و سرعت پاسخ بخش تخمين، نقش مهمي در حفاظت از بارهاي حساس بر عهده دارد[۱۰]. به عنوان مثال حداكثر مدت زمان تداوم كمبود ولتاژ قابل تحمل از سوي ابر كامپيوترها، ۸/۳۳ ميلي ثانيه مي‌باشد[۱۱]. در اين صورت، چنانچه تأخير بخش تخمين بيش از حد مجاز باشد؛ عملكرد جبران‌ساز كارآمد نبوده و موجب آسيب‌ديدگي بار حساس مي‌گردد.

با اين مقدمه، در ادامه الگوي تخمين نويني پيشنهاد گرديده و نحوه تخمين آن با الگوهاي تخمين متداولي چون FFT، ADALINE[۶] و LS[۷] كه امروزه از كاربرد بيشتري برخوردارند؛ مقايسه مي‌گردد[۱۲] تا [۱۴].

اساس الگوي تخمين پيشنهادي بر تخمين دامنه و زاويه فاز سيگنال ورودي به كمك الگوي FFT و سپس جايگزين كردن نتايج بدست آمده در روابط تحليلي استخراج شده از سري فوريه پيوسته، استوار است.

بيان رياضي و نحوه تخمين الگوي پيشنهادي، بدين شرح است كه ابتدا $v(t)$ بر حسب مؤلفه‌هاي هارمونيكي (i) به صورت زير در نظر گرفته مي‌شود:

$$v(t)=\sum_{i=1}^{k}V_{mi}Sin(i\omega_0 t+\varphi_i) \qquad (۱)$$

كه در آن V_{mi} و φ_i به ترتيب دامنه و زاويه هارمونيک iام مي‌باشد. به‌منظور سهولت در پياده‌سازي و كاهش حجم محاسبات، تغييرات سيگنال تخمين‌زده شده‌است. براي اين منظور، با در نظر گرفتن لحظه وقوع تغيير (t_0)، $v(t)$ به شكل زير بازنويسي مي‌گردد:

$$v(t)=\begin{cases}v(t) & ;\ t<t_0\\ v(t)+v'(t) & ;\ t>t_0\end{cases} \qquad (۲)$$

كه در آن، $v'(t)$ شكل موج تغيير يافته است و به صورت زير تعريف مي‌گردد:

$$v'(t)=v(t)\big|_{t>t_0}-v(t)\big|_{t<t_0}=\sum_{i=1}^{k}V_{mi}'Sin(i\omega_0 t+\varphi_i') \qquad (۳)$$

با بسط مثلثاتي عبارت (۳) چنين نتيجه مي‌شود:

$$v'(t)=\sum_{i=1}^{k}\left(C_{i,re}.Sin(i\omega_0 t)+C_{i,im}.Cos(i\omega_0 t)\right) \qquad (۴)$$

كه در آن، $C_{i,re}=V_{mi}'Cos\varphi_i'$ و $C_{i,im}=V_{mi}'Sin\varphi_i'$ مي‌باشد. بسط سري فوريه $v'(t)$ نيز به شكل زير است:

$$v'(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}\left(a_nCos(n\omega_0 t)+b_nSin(n\omega_0 t)\right) \qquad (۵)$$

كه در آن، n و ω_0 به ترتيب، مرتبه هارمونيكي و فركانس زاويه‌اي مؤلفه اصلي مي‌باشند. با صرفنظر از مؤلفه صفر (a_0)، ضرايب سري فوريه به صورت زير قابل محاسبه است:

$$a_n=\frac{2}{T}\int_0^t v'(t)Cos(n\omega_0 t)dt \qquad (۶)$$

$$b_n=\frac{2}{T}\int_0^t v'(t)Sin(n\omega_0 t)dt \qquad (۷)$$

حال با جايگذاري رابطه (۵) در روابط (۶) و (۷)، ضرايب سري فوريه به صورت زير به دست خواهند آمد:

$$a_n=\frac{1}{T}\begin{cases}\sum_{i=1}^{k}\left(C_{i,re}.\psi_1(i,t)+C_{i,im}.\psi_2(i,t)\right) & ;\ n\neq i\\ \sum_{i=1}^{k}\left(C_{i,re}.\psi_3(i,t)+C_{i,im}.\psi_4(i,t)\right) & ;\ n=i\end{cases} \qquad (۸)$$

$$b_n=\frac{1}{T}\begin{cases}\sum_{i=1}^{k}\left(C_{i,re}.\psi_5(i,t)+C_{i,im}.\psi_6(i,t)\right) & ;\ n\neq i\\ \sum_{i=1}^{k}\left(C_{i,re}.\psi_7(i,t)+C_{i,im}.\psi_8(i,t)\right) & ;\ n=i\end{cases} \qquad (۹)$$

که در روابط (۸) و (۹) ضرایب ψ_1 تا ψ_8 ، از مجموعه روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$\psi_1 = \frac{1-Cos((n+i)\omega_0 t)}{(n+i)\omega_0} - \frac{1-Cos((n-i)\omega_0 t)}{(n-i)\omega_0} \quad (۱۰)$$

$$\psi_2 = \frac{Sin((n+i)\omega_0 t)}{(n+i)\omega_0} + \frac{Sin((n-i)\omega_0 t)}{(n-i)\omega_0} \quad (۱۱)$$

$$\psi_3 = \frac{1-Cos(2i\omega_0 t)}{2i\omega_0} \quad (۱۲)$$

$$\psi_4 = t + \frac{Sin(2i\omega_0 t)}{2i\omega_0} \quad (۱۳)$$

$$\psi_5 = \frac{Sin((n-i)\omega_0 t)}{(n-i)\omega_0} - \frac{Sin((n+i)\omega_0 t)}{(n+i)\omega_0} \quad (۱۴)$$

$$\psi_6 = \frac{1-Cos((n+i)\omega_0 t)}{(n+i)\omega_0} + \frac{1-Cos((n-i)\omega_0 t)}{(n-i)\omega_0} \quad (۱۵)$$

$$\psi_7 = t - \frac{Sin(2i\omega_0 t)}{2i\omega_0} \quad (۱۶)$$

$$\psi_8 = \frac{1-Cos(2i\omega_0 t)}{2i\omega_0} \quad (۱۷)$$

با بازنویسي نتایج بدست آمده به شکل ماتریسي، خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ \vdots \\ a_n \\ b_n \end{bmatrix}_{2m\times 1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix}_{2m\times 2m} \cdot \begin{bmatrix} C_{1,re} \\ C_{1,im} \\ \vdots \\ C_{n,re} \\ C_{n,im} \end{bmatrix}_{2m\times 1} \quad (۱۸)$$

یا به عبارت ساده‌تر:

$$[A_{FFT}] = [C].\left[f(V_{mi}^{'}.\varphi_i^{'})\right],\ i = 1, 2, ...(n = k) \quad (۱۹)$$

طبق رابطه فوق، با برابر قرار دادن مراتب هارمونیکي در $v(t)$ و بسط سري فوریه ($n=k$)، ماتریس ضرایب C، متقارن مي‌شود؛ که در آن m بیانگر تعداد مؤلفه‌هاي هارمونیکي است. بدین ترتیب با معلوم بودن زمان شبیه سازي، C_{ii}ها مقادیر عددي ثابتی خواهند بود. ضرایب a_i و b_i نیز از محاسبه دامنه و زاویه $v(t)$ به کمک FFT و تبدیل مقادیر مزبور از مختصات قطبي به دکارتي به دست آمده که طبق روابط (۲۰) و (۲۱)، به ازاي j نمونه و فرکانس f_s نمونه‌برداري مي‌شوند:

$$a_i = \frac{2}{N}\sum_{j=1}^{N} v^{'}(t).Cos\left(\frac{i\times 2\pi j}{N\times f_s}\right) \quad (۲۰)$$

$$b_i = \frac{2}{N}\sum_{j=1}^{N} v^{'}(t).Sin\left(\frac{i\times 2\pi j}{N\times f_s}\right) \quad (۲۱)$$

حال با حل معادله (۱۹) خواهیم داشت:

$$\left[f(V_{mi}^{'}.\varphi_i^{'})\right] = \left[C^{-1}\right].[A_{FFT}] \quad (۲۲)$$

از این رو مؤلفه‌هاي تخميني دامنه و زاویه $v'(t)$ در هر لحظه به صورت زیر قابل محاسبه مي‌باشند:

$$V_{mi}^{'} = \sqrt{C_{i.re}^{\ 2} + C_{i.im}^{\ 2}}\ ,\ \varphi_i^{'} = \tan^{-1}(C_{i.im}/C_{i.re}) \quad (۲۳)$$

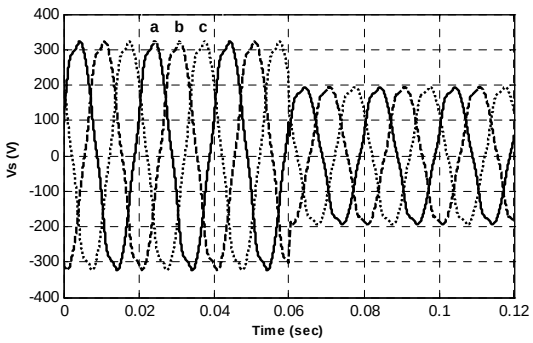
در نهایت به منظور محاسبه دامنه و زاویه $v(t)$ ، لازم است مقادیر به دست آمده با مقدار قبل از خطاي سیگنال جمع شوند. بدین ترتیب خواهیم داشت:

$$V_{mi}\angle\varphi_i\big|_{t>t_0} = V_{mi}^{'}\angle\varphi_i^{'} + V_{mi}\angle\varphi_i\big|_{t<t_0} \quad (۲۴)$$

به منظور بررسي دقیق‌تر، مقایسه‌اي بین نحوه تخمین الگوي پیشنهادي با الگوهاي FFT، ADALINE و LS، در تخمین دامنه و زاویه کمبود ولتاژ فاز a شکل (۳) در محیط Matlab/Simulink صورت گرفته است.

در کمبود ولتاژ مزبور، THD ولتاژ برابر ۵% و به‌ازاي مؤلفه‌هاي هارمونیکي ۱، ۳، ۵ و ۷، هر یک به ترتیب با دامنه ۱، ۰/۰۱ ، ۰/۰۴۳ و ۰/۰۲۳۵ پریونیت و زاویه 20°، 10°، -10° و 40° در نظرگرفته شده است؛ که در زمان ۰/۰۶ ثانیه و بر اثر بروز خطا، با ۴۰% کمبود ولتاژ همراه است.

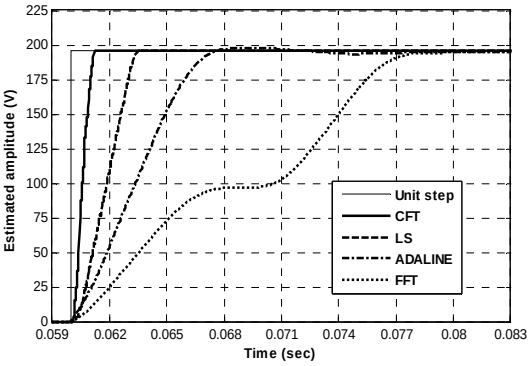
در این مطالعه نرخ نمونه‌برداري و ضریب α الگوي ADALINE، به ترتیب برابر ۱۰۰ kHz و ۰/۰۱۶۵ و نرخ نمونه‌برداري و تعداد نمونه‌هاي الگوهاي LS و پیشنهادي به ترتیب برابر ۱۰ kHz و ۳۰ نمونه و ۵۰ kHz و ۲۰ نمونه در نظر گرفته شده است.



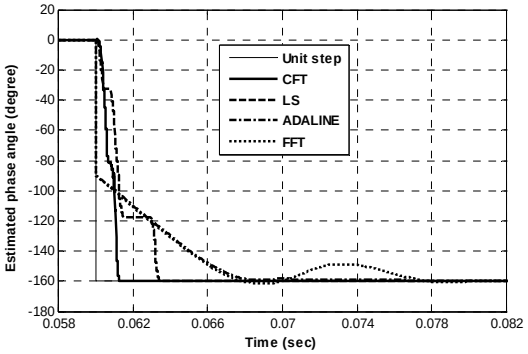
شکل ۳: شکل موج کمبود ولتاژ سه فاز.

در شکل‌های (٤) و (5)، به ترتیب نتیجه تخمین دامنه و زاویه کمبود ولتاژ الگوهاي مزبور نشان داده شده و با مقدار مرجع (پله واحد)، مقایسه گردیده است.

با توجه به نتایج به دست آمده به وضوح قابل مشاهده است که الگوي تخمین پیشنهادي از بالاترین سرعت پاسخ در تخمین دامنه و زاویه کمبود ولتاژ نسبت به سایر الگوها برخوردار است.



شکل ٤: مقایسه تخمین دامنه کمبود ولتاژ.



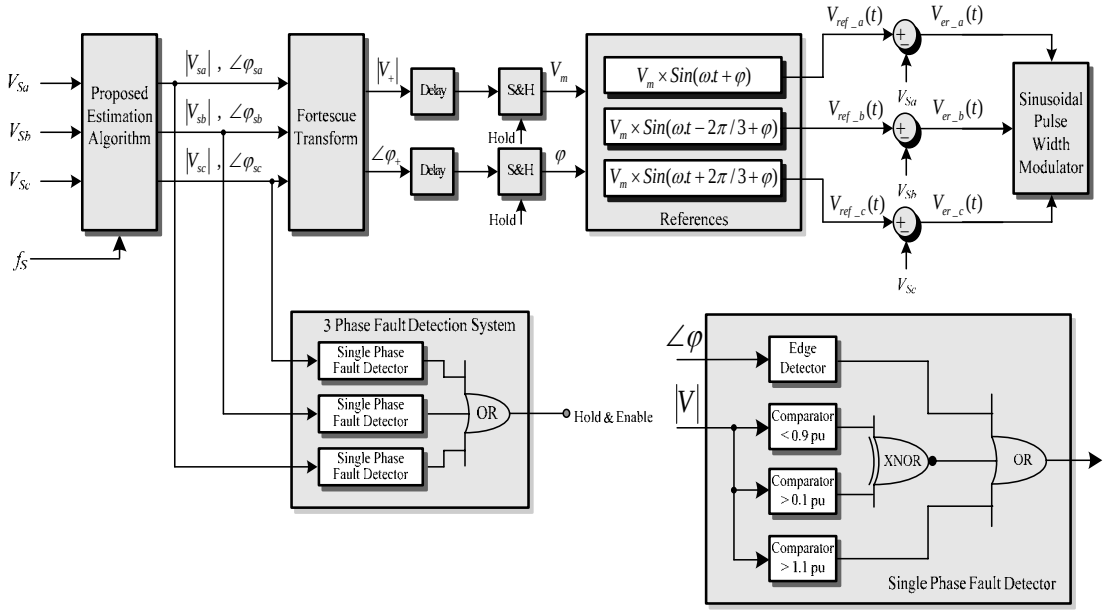
شکل ٥: مقایسه تخمین زاویه کمبود ولتاژ.

سیستم کنترل پیشنهادي

در شکل (٦)، ساختار سیستم کنترل پیشنهادي، نشان داده شده است. در سیستم مزبور، ابتدا دامنه و زاویه مؤلفه اصلي ولتاژ هر فاز به کمک الگوي پیشنهادي تخمیــن زده شده و مقادیر به دست آمده به سیستم تشخیص خطا، داده مي‌شود. در این بخش، کمبود، بیشبود و یا هرگونه تغییر زاویه آشکار شده و فرمان ذخیره صادر مي‌گردد. سپس، مقادیر دامنه و زاویه سه‌فاز تخمیني، طبق رابطه (٢٥) به مؤلفه‌هاي متقارن توالي مثبت، منفي و صفر متناظر تبدیل مي‌گردند:

$$\begin{bmatrix} |V_+|\angle\varphi_+ \\ |V_-|\angle\varphi_- \\ |V_0|\angle\varphi_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & e^{j2\pi/3} & e^{-j2\pi/3} \\ 1 & e^{-j2\pi/3} & e^{j2\pi/3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} |V_{Sa}|\angle\varphi_{sa} \\ |V_{Sb}|\angle\varphi_{sb} \\ |V_{Sc}|\angle\varphi_{sc} \end{bmatrix} \quad (٢٥)$$

از آنجایي که در شرایط عادي (بدون اغتشاش)، باید تنها مؤلفه توالي مثبت در شبکه وجود داشته باشد (به مقدار یک پریونیت)، از این رو تنها دامنه و زاویه توالي مثبت رابطه (٢٥)، به عنوان مرجع در عناصر ذخیره‌گر[٨] ثبت مي‌گردد. خروجي ثبات‌ها تا رسیدن فرمان ذخیره بعدي، بصورت ثابت در مقدار ورودي باقي مي‌ماند. در این حالت، چنانچه هدف، در نظر گرفتن آخرین تغییرات بار باشد؛ لازم است فرمان ذخیره در لحظه وقوع خطا، از سوي سیستم تشخیص خطا صادر گردد. اما با توجه به تأخیر بخش تخمین، این امر به ذخیره مقادیر پس از خطا مي‌انجامد. براي رفع این مشکل، کافي است؛ از یک بلوک تأخیر (نیم میلی ثانیه) قبل از المان‌هاي ذخیره‌گر استفاده گردد.

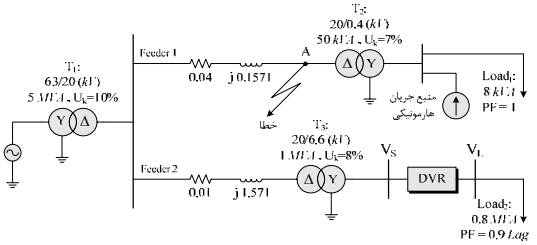


شکل ٦: ساختار سیستم کنترل پیشنهادی.

سپس با تعيين دامنه و زاويه توالي مثبت ذخيره شده در مقدار پيش از خطا و اعمال آن به سه موج سينوسي متقارن، مقادير مرجع لحظه‌اي به دست مي‌آيند. در ادامه، با محاسبه تفاضل مقدار مرجع لحظه‌اي ولتاژ هر فاز از ولتاژ شبكه فاز متناظر، سيگنال خطاي هر فاز به دست آمده، كه حاوي مؤلفه‌هاي توالي منفي، صفر و بخشي از مؤلفه توالی مثبتي است؛ كه بايد جبران گردد. در نهايت، با اعمال سيگنال خطاي سه‌فاز به SPWM، شكل موج ولتاژ تزريقي توليد مي‌شود. بدين ترتيب در صورت بروز كمبود و يا بيشبود ولتاژ و يا پرش زاويه در هر يک از فازهاي ولتاژ شبكه، سيستم كنترل قادر به تزريق يک ولتاژ سينوسي متقارن با دامنه مبتني بر آخرين تغييرات پيش از خطاي بار و THD در حد مجاز، به شبكه مي‌باشد.

اثر **DVR** بر جبران كمبود و بيشبود ولتاژ

به منظور بررسي نحوه عملكرد سيستم كنترل DVR بر بهبود كمبود و بيشبود ولتاژ، شبكه توزيع نمونه ۵۰ Hz مطابق شكل (۷) در نظر گرفته شده و شبيه‌سازي آن در Matlab/Simulink صورت گرفته است.



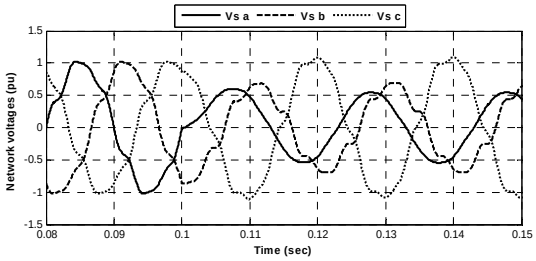
شكل ۷: ديا‌گرام تک خطي شبكه توزيع نمونه.

براي فراهم آوردن شرايط هارمونيكي در شبكه، مطابق شكل (۷) از يک منبع جريان هارمونيكي در شين بار ۱، استفاده شده است؛ كه به موجب آن THD شين بار ۲ به مقدار ۸/۵% رسيده است. چنانچه مؤلفه‌هاي هارمونيكي منبع تزريق جريان نامعلوم باشد؛ لازم است ابتدا به كمک الگوي FFT، مراتب مؤلفه‌هاي هارمونيكي تعيين شده و سپس بر مبناي آن روابط تحليلي و ماتريس ضرايب الگوي پيشنهادي بازنويسي و توسعه يابند.

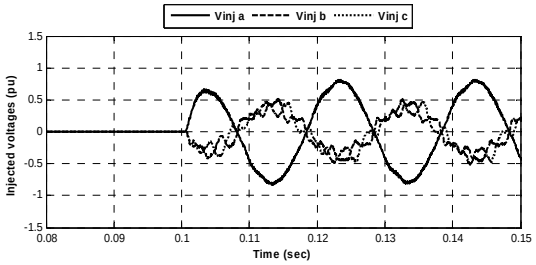
ايجاد كمبود و بيشبود ولتاژ نامتقارن در شين بار ۲ بر اثر بروز اتصال‌كوتاه دو فاز (a , b) به زمين در نقطه A ، در لحظه ۰/۱ s و با مقاومت ۱۰ اهم، مدل‌سازي شده است.

اينک با فرض حساس بودن بار ۲ و به منظور حفاظت از آن، از يک DVR با ساختاري مطابق شكل (۱) و با ولتاژ لينک dc برابر ۳/۳ kV، كليدهاي GTO با فركانس كليدزني ۰/۶ kHz، ترانسفورماتور تزريق ايزوله با ظرفيت ۳۶۰ kVA و U_k = ۸% و فيلتر هارمونيكي با C = ۳ mF و L =۰/۲ mH، استفاده شده است.

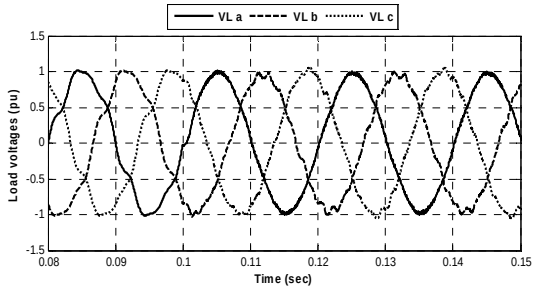
مقادير لحظه‌اي ولتاژ شبكه، ولتاژ تزريقي DVR و ولتاژ بار و همچنين مقادير زاويه ولتاژ شبكه و زاويه ولتاژ بار، به ترتيب در شكل‌هاي (۸) و (۹)، نشان داده شده است.



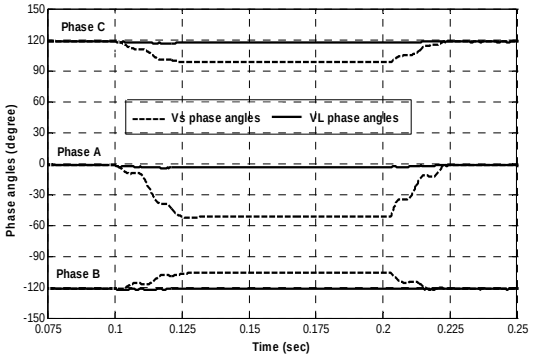
۸- الف : ولتاژ شبكه.



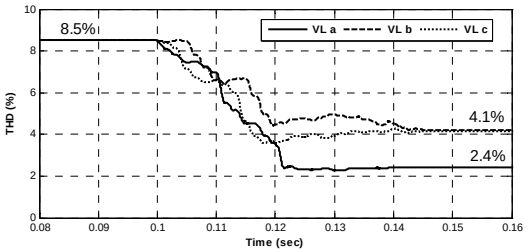
۸- ب: ولتاژ تزريقي **DVR**.



۸- ج: ولتاژ بار.



شكل ۹: زاويه ولتاژ شبكه (خط چين) و زاويه ولتاژ بار (پيوسته).



شكل ١٠: تغييرات **THD** ولتاژ بار قبل و پس از جبران‌سازي.

با توجه به نتايج به دست آمده، در صورت بروز كمبود و بيشبود ولتاژ، سيستم كنترل پيشنهادي از عملكرد مطلوبي در بازيابي دامنه و زاويه ولتاژ بار به مقدار پيش از برخوردار است. در شكل (١٠)، نتيجه تغييرات THD ولتاژ بار در اين حالت، نشان داده شده است.

مطابق شكل (١٠)، با ورود DVR به سيستم، THD ولتاژ از مقدار ٨/٥% پيش از خطا به مقدار ٢/٤% در فاز a و ٤/١% در فازهاي b و c پس از خطا رسيده است. علت اين اختلاف، تنظيم يكسان پارامترهاي فيلتر هارمونيكي است؛ كه در اتصال‌كوتاه نامتقارن و تغيير غيريكسان دامنه ولتاژ فازها، THD ولتاژ بار، متفاوت شده است. اما با اين وجود، همچنان مقدار THD كمتر از ٥% بوده و در محدوده مجاز استاندارد IEEE-519 قرار دارد.

نتيجه‌گيري

در اين مقاله، كمبود ولتاژ به عنوان يكي از مهمترين دلايل آسيب‌ديدگي و قطع بارهاي حساس سيستم توزيع، معرفي و اثر DVR به عنوان مؤثرترين جبران‌ساز كمبود ولتاژ مورد بررسي قرار گرفت.

با توجه به اهميت سرعت پاسخ DVR در حفاظت از بارهاي حساس، در بخش تخمين سيستم كنترل الگوي نويني پيشنهاد گرديد كه در محيط هارمونيكي از سرعت پاسخ بالايي در تخمين دامنه و زاويه ولتاژ و در مقايسه با ساير الگوهاي تخمين متداول برخوردار بود. بدين ترتيب با بهره‌گيري از اين الگوي تخمين در بخش تشخيص خطاي DVR، سيستم كنترل نويني با تكيه بر استراتژي پيش از خطاي مبتني بر مؤلفه‌هاي متقارن پيشنهاد گرديد كه با برخورداري توأم بهبود دامنه و زاويه ولتاژ، از قابليت مؤثري در جبران كمبود و بيشبود ولتاژ سيستم توزيع و رفع پرش زاويه در شرايط هارمونيكي برخوردار بود. نتايج شبيه‌سازي‌ها نيز، به وضوح صحت اين امر را نشان داد.

مراجع

1 - Sannino, A., Miller, M. G. and Bollen, M. H. J. (2000). “Overview of voltage sag mitigation.” *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, Vol. 4, PP. 2872-78, Singapore.

2 - Bollen, M. H. J. (2000). “Understanding Power quality problems, voltage sags and interruptions.” *IEEE press*, New York.

3 - Nielsen, J. G. and Blaabjerg, F. (2005). “A detailed comparison of system topologies for dynamic voltage restorers.” *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 5, PP. 1272-80.

4 - Hingorani, N. G. (1995). “Introducing custom power.” *IEEE Spectrum*, Vol. 32, No. 6, PP. 41-48.

5 - Aalborg Institute of Energy Technology. (2000). “Employment and Control of CUPS in the Distribution Network.” *Seminar on Local Compensation*, Pontoppidanstræde 101 room 23, DK-9220 Aalborg East.

6 - Wang, B., Venkataramanan, G. and Illindala, M. (2006). “Operation and control of a dynamic voltage restorer using transformer coupled H-bridge converters.” *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 21, No. 4, PP. 1053-61.

7 - Choi, S. S., Li, B. H. and Vilathgamuwa, D. M. (2002). “Design and analysis of the inverter-side filter used in the dynamic voltage restorer.” *IEEE Trans on Power Delivery*, Vol. 17, No. 3, PP. 857-864.

8 - Nielsen, J. G., Blaabjerge, F. and Mohan, N. (2001). “Control strategies for dynamic voltage restorer compensating voltage sags with phase jump.” APEC, *16th Annual IEEE Conference on Applied Power Electronics*, Vol. 2, PP. 1267–73.

9 - Viliathgamuwa, D. M., Ranjith-Prera, A. A. D. and Choi, S. S. (2003). “Voltage sag compensation with energy optimized dynamic voltage restorer.” *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 18, No. 3, PP. 928-936.

10 - Chan, P. K. W., Leung, K. K. S., Chung, H. S. H. and Hui, S. Y. R. (2006). “Boundary controller for dynamic voltage restorers to achieve fast dynamic response.” APEC, *21st Annual IEEE Conference on Applied Power Electronics*, Kowloon, China.

11 - Heydt, G. T. (1991). “Electric power quality.” *Purdue University*.

12 - Fitzer, C., Barnes, M. and Green, P. (2004). “Voltage sag detection technique for a dynamic voltage restorer.” *IEEE Transactions on Industrial Applications*, Vol. 40, No. 1, PP. 203-212.

13 - Marei, M. I., El-Saadany, E. F. and Salama, M. M. A. (2004). “A processing unit for symmetrical components and harmonics estimation based on a new adaptive linear combiner structure.” *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 19, No. 3, PP. 1245-1252.

14 - Jiang, X., King, J. and Emadi, A. (2004). “A power harmonics detection approach based on the least squares energy minimization principle.” *30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Vol. 3, PP. 2934-38, Busan, Korea.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - CUstom Power Systems
2 - Dynamic Voltage Restorer
3 - In-Phase
4 - Optimized Energy
5 - Pre-Fault
6 - ADAptive LINEar Combiner
7 - Least Squares Curve Fitting
8 - Sample and Holds