

\*

$$\left( \begin{array}{c} ( \\ / \\ / \end{array} \quad \begin{array}{c} / \\ / \end{array} \quad \begin{array}{c} / \\ / \end{array} \right)$$

وزن کم، اندازه کوچک، گستره دینامیکی بالا، پهنای باند وسیع، مصونیت در برابر تداخل امواج الکترومغناطیسی، پایداری در برابر تغییرات دما، عدم اشباع هسته مغناطیسی، هزینه نگهداری و جابجایی کم از جمله مزایای مبدل‌های ولتاژ نوری نسبت به ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی و سلفی هستند.

با ظهور حسگر Pockels نوری مجتمع<sup>۱</sup> که قادر به اندازه‌گیری میدان الکتریکی یک نقطه در فضا است، دیگر نیازی به پر کردن حسگرهای حجمی<sup>۲</sup> در فضای بین دو الکتروود نمی‌باشد. پر کردن فضای بین دو الکتروود از حسگرهای حجمی در اندازه‌گیری ولتاژهای بالا که فضای بین دو الکتروود زیادی دارند، هم مشکلات ساخت زیادی دارد و همچنین از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. در حالیکه با استفاده از تعداد کمی حسگر Pockels نوری مجتمع در فضای بین دو الکتروود و اعمال پردازش روی سیگنال‌های بدست آمده از این حسگرها، می‌توان به دقت بالایی در اندازه‌گیری دست یافت. این پردازش به منظور به حداقل رساندن اثر عوامل آشفته‌کننده میدان الکتریکی بین دو الکتروود مانند صفحات فلزی، باس‌های مجاور و غیره می‌باشد. در این مقاله پس از تعیین مکان حسگرها توسط روش تریبیعی استفاده از شبکه‌های عصبی برای اندازه‌گیری ولتاژ اعمالی با بکارگیری حداقل تعداد حسگرهای مزبور معرفی می‌شود. از مزایای این روش این است که با تعداد حسگرهای کمتر و بدون تغییر محل حسگرها به دقت بالایی در اندازه‌گیری دست می‌یابیم.

Pockels :

میدان را بطور ایده‌آل در یک نقطه اندازه‌گیری می‌کنند. با استفاده از حسگرهای کوچکی که کاملاً دی‌الکتریک هستند از ایجاد مناطق با شدت میدان الکتریکی بینهایت جلوگیری بعمل خواهد آمد. سلول Pockels نوری مجتمع (IOPC) برای استفاده در چنین طرح‌هایی مناسب است و تمام مزایای ذاتی مبدل ولتاژ نوری را ایجاد می‌کند [۱۴]. با توجه به اینکه عوامل محیطی مانند صفحات فلزی، باس‌های مجاور و غیره میدان الکتریکی بین دو الکتروود را آشفته می‌کنند، لذا باید با استفاده از الگوریتمی خروجی حسگر را مورد پردازش قرار داد، تا اثر عوامل محیطی آشفته‌کننده میدان را به حداقل ممکن رساند. در این مقاله استفاده از شبکه‌های عصبی برای پردازش خروجی حسگرها و محاسبه ولتاژ اعمالی معرفی شده است. از مزایای این روش می‌توان به دقت بالا با تعداد حسگرهای کم اشاره

استفاده از ترانسفورماتورهای ولتاژ سلفی و خازنی یک روش مرسوم برای اندازه‌گیری ولتاژهای بالا است. اما مشکلاتی چون وزن زیاد، اندازه بزرگ، گستره دینامیکی پایین، پهنای باند کم، اشباع هسته مغناطیسی، ناپایداری در برابر تغییرات دما و هزینه نگهداری و جابجایی زیاد، دقت اندازه‌گیری و حفاظت سیستم قدرت را کاهش داده است. با توجه به پیشرفت تکنولوژی فیبرهای نوری و حسگرهای الکترواپتیک امروزه قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای بالا با استفاده از روش‌های نوری هستیم. بطوریکه مشکلات ترانسفورماتورهای ولتاژ سلفی و خازنی که به آنها اشاره شد، در مبدل‌های ولتاژ نوری وجود ندارد [۱۳-۱].

در این مقاله روشی برای استفاده در مبدل‌های ولتاژ نوری معرفی می‌گردد که در آن از تعداد کمی حسگر میدان الکتریکی استفاده شده است. این حسگرها یک مولفه از

فرض می‌کنیم  $E_x^{ump}(x)$  میدانی است که بدون وجود عوامل آشفته کننده در محیط بین دو الکتروود وجود دارد. این میدان را می‌توان با استفاده از روش‌های تحلیلی و آزمایشگاهی بدست آورد. در اینجا با استفاده از مدل کردن میدان و روش‌های عددی بدست می‌آوریم. در روش تربیعی برای پیدا کردن مکان حسگرها  $E_x^{ump}$  معلوم نیاز است.  $N$  دستگاه معادلات خطی زیر را تشکیل می‌دهیم که  $N$  تعداد حسگرها می‌باشد.

$$\begin{cases} C_0 m_0 + C_1 m_1 + \dots + C_N m_N = 0 \\ C_0 m_1 + C_1 m_2 + \dots + C_N m_{N+1} = 0 \\ \vdots \\ C_0 m_{N-1} + C_1 m_N + \dots + C_N m_{2N-1} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

در دستگاه معادلات خطی (۳)،  $m_k$ ها بصورت زیر تعریف می‌شوند.

$$m_k = \int_0^b E_x^{ump}(x) x^k dx \quad (4)$$

در دستگاه معادلات خطی (۳) با قرار دادن  $C_N = 1$  و با فرض  $|m_{k+l}| \neq 0$ ،  $C_k$ های باقیمانده با حل دستگاه معادلات خطی بدست می‌آیند. با داشتن  $C_k$ ها مکان قرار گرفتن حسگرها از رابطه (۵) بدست می‌آید.

$$\sum_{k=0}^N C_k x^k = 0 \quad (5)$$

با مشخص شدن  $x_i$ ها از رابطه فوق و قرار گرفتن حسگرها در مکان مورد نظر، خروجی حسگرها را توسط شبکه عصبی مورد پردازش قرار می‌دهیم. در این مقاله برای تعداد حسگرهای متفاوتی که بین الکتروودها قرار داده شده‌اند از شبکه‌های متفاوتی استفاده شده است. در انتخاب شبکه مورد نظر دو مسئله مدنظر قرار گرفته است. اولاً شبکه دقت بالایی را ارائه دهد. ثانیاً زمان محاسباتی آن حتی‌الامکان کم باشد. به عنوان مثال شبکه‌ای که برای دو حسگر در نظر گرفته شده است، برای تعداد حسگرهای بیشتر نیز جواب قابل قبولی را ارائه می‌دهد. لیکن شبکه‌ای که برای تعداد سه حسگر انتخاب شده از نظر ساختار، زمان یادگیری و سرعت محاسباتی ساده‌تر از شبکه‌ای است که برای دو حسگر در نظر گرفته شده است. در این مقاله برای حالت  $N=1$  (یک حسگر) از شبکه Radial basis، برای حالت  $N=2$

نمود که در مقایسه با سایر روشها این موضوع اثبات می‌گردد.

نتایج شبیه‌سازی موثر بودن این روش را اثبات می‌کند. در شبیه‌سازی بعمل آمده از شبکه‌های عصبی Radial Basis و Feed \_ Forward Back-Propagation برای محاسبه ولتاژ اعمالی در مبدل ولتاژ نوری استفاده شده است.

ولتاژ بین دو نقطه  $a$  و  $b$  با انتگرال‌گیری از میدان الکتریکی بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$V_b = - \int_{\Gamma_{ab}} \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $\Gamma_{ab}$  هر مسیر دلخواه از  $a$  تا  $b$  می‌باشد. با قراردادن  $\Gamma_{ab}$  روی محور  $X$  دستگاه مختصات دکارتی و  $a$  در مرکز محورهای مختصات، رابطه (۱) بصورت انتگرال خطی زیر نوشته می‌شود.

$$V_b = - \int_0^b E_x(x) dx \quad (2)$$

در رابطه فوق  $E_x(x)$  مولفه میدان الکتریکی در طول محور  $x$  است. رابطه انتگرالی فوق را می‌توان با اندازه‌گیری میدان الکتریکی در چند نقطه در فضای بین دو الکتروود و پردازش شدت میدان الکتریکی در آن نقاط با استفاده از شبکه‌های عصبی حل نمود.

وجود عوامل آشفته کننده میدان مانند هادیهای فلزی و خطوط انتقال در اطراف مبدل ولتاژ نوری باعث ایجاد تغییراتی در میدان بین دو الکتروود، علیرغم ثابت بودن ولتاژ اعمالی به الکتروودها می‌شود. همچنین تغییر در خواص دی‌الکتریکی محیط، موجب ایجاد تغییر در میدان الکتریکی بین دو الکتروود می‌گردد. با استفاده از شبکه‌های عصبی، اثر عوامل آشفته کننده میدان الکتریکی و تعداد حسگرها جهت محاسبه ولتاژ اعمالی به الکتروودها به حداقل می‌رسد.

در این مقاله از روش تربیعی [۱۵] برای محاسبه مکان قرار گرفتن حسگرها و از شبکه‌های عصبی برای محاسبه ولتاژ بین دو الکتروود استفاده شده است. در زیر بطور خلاصه به شرح مختصر روش تربیعی می‌پردازیم و سپس ساختار شبکه عصبی و چگونگی محاسبه ولتاژ بیان می‌شود.

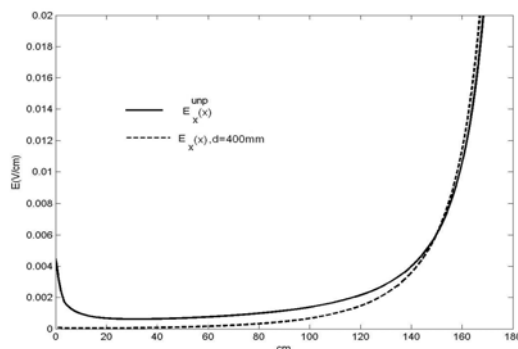
....

سیستمی است که عوامل آشفته کننده محیط مانند صفحات فلزی و باس‌های مجاور در اطراف آن وجود نداشته باشند. در این حالت میدانی که بین دو الکتروود برقرار است میدان غیرآشفته است و آن را با  $E_x^{unp}$  نمایش می‌دهیم. در صورتیکه عامل آشفته کننده‌ای مانند صفحه فلزی در اطراف مبدل ولتاژ نوری وجود داشته باشد، مانند آنچه که در شکل (۱-ب) نشان داده شده است، میدان الکتریکی بین دو الکتروود آشفته خواهد شد. به آن میدان آشفته  $E_x$  می‌گوئیم.

جدول ۱: مکان قرار گرفتن حسگرها در داخل مبدل ولتاژ نوری در بین دو الکتروود.

N	$i$	$x_i (mm)$
1	1	1548.7
2	1	1691.0
	2	484.8
3	1	178.0
	2	1161.6
	3	1734.3
4	1	91.4
	2	723.9
	3	1418.3
	4	1754.8

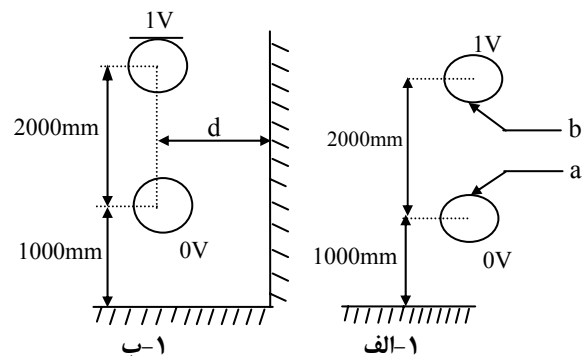
رابطه بین میدان آشفته و میدان غیرآشفته را می‌توان بصورت  $E_x(x) = \rho(x) E_x^{unp}(x)$  نوشت. در این رابطه  $\rho(x)$  یک تابع غیرخطی است که اثر عوامل آشفته کننده محیط را نشان می‌دهد. تابع  $\rho(x)$  برای میدان غیرآشفته برابر ۱ است. در شکل (۲-الف) میدان غیرآشفته  $E_x^{unp}$  و میدان آشفته  $E_x$  برای  $d=400mm$  نشان داده شده است. در شکل (۲-ب) نیز ضریب آشفستگی  $\rho(x)$  برای میدان‌های متناظر با شکل (۲-الف) نشان داده شده است.



شکل ۲-الف: میدان غیرآشفته و میدان آشفته با  $d=400mm$ .

از شبکه Feed forward back-prop دو لایه که لایه اول آن از ۸۰ نرون و لایه دوم از یک نرون تشکیل شده، استفاده شده است. برای حالت  $N \geq 3$  نیز از شبکه Feed forward back-prop دو لایه که هر کدام از دو لایه از یک نرون تشکیل شده‌اند، استفاده شده است. مشخصات شبکه‌های عصبی مورد استفاده در پیوست مقاله آورده شده است. با استفاده از این شبکه‌ها جواب قابل قبولی حاصل شده است. شبیه‌سازی بعمل آمده تاثیر این روش را در حذف اثر عوامل آشفته کننده نشان می‌دهد.

به منظور نشان دادن کارایی شبکه‌های عصبی در حذف اثر عوامل آشفته کننده محیط، یک سیستم غیر آشفته مدلسازی شده است و آشفستگی‌ها با استفاده از روش تفاضل محدود شبیه‌سازی شده‌اند. سیستم غیرآشفته شامل دو الکتروود کروی به شعاع  $200mm$  است که فاصله مراکز کره‌ها از یکدیگر  $2000mm$  می‌باشد. فاصله مرکز الکتروود پائینی از سطح زمین برابر  $1000mm$  است. این شبیه‌سازی مشابه ساختاری است که در یک مبدل  $230kV$  یافت می‌شود. در این شبیه‌سازی الکتروود بالایی به ولتاژ  $1V$  و الکتروود پائینی به صفر ولت متصل شده است. این ساختار در شکل (۱-الف) نشان داده شده است.  $E_x^{unp}$  مولفه  $x$  میدان الکتریکی در طول خط مستقیم واصل بین نقاط  $a$  و  $b$  است.  $E_x^{unp}$  بطور عددی از طریق شبیه‌سازی محاسبه شده است.



شکل ۱-الف: سیستم غیرآشفته با دو الکتروود کروی

شکل ۱-ب: سیستم آشفته با صفحه عمودی نامحدود متصل به زمین.

جدول (۱) مکان قرار گرفتن حسگرها را با استفاده از روش تربیعی برای  $N=1,2,3,4$  نشان می‌دهد. سیستم غیرآشفته،

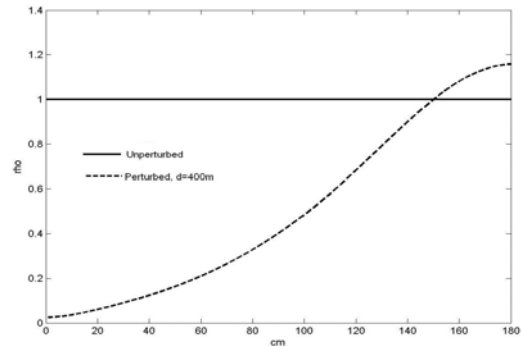
شکل‌های (۳-الف)، (۳-ب)، (۳-ج) به ترتیب توزیع پتانسیل را برای میدان آشفته با  $d=2000\text{mm}$ ،  $d=1000\text{mm}$  و  $d=400\text{mm}$  در روی صفحه‌ای که از مرکز دو الکترود می‌گذرد و به صفحه فلزی متصل به زمین عمود است، نشان می‌دهند. همانطوریکه از این شکل‌ها برمی‌آید، با نزدیکتر شدن صفحه فلزی متصل به زمین به مبدل ولتاژ نوری، میزان آشفتگی افزایش می‌یابد.

سیستم آشفته نشان داده شده در شکل (۱-ب) شامل صفحه عمودی متصل به زمین با ابعاد بینهایت است که برای  $d=400\text{mm}$  تا  $d=2000\text{mm}$  شبیه‌سازی شده است. همانطوریکه قبلاً اشاره شد، برای  $N=1$  از شبکه عصبی Radial basis، برای  $N=2$  از شبکه عصبی Feed forward back-prop دو لایه که لایه اول متشکل از ۸۰ نرون و لایه دوم متشکل از یک نرون است و برای  $N \geq 3$  از شبکه Feed forward back-prop دو لایه که لایه اول از یک نرون و لایه دوم نیز از یک نرون تشکیل شده است، استفاده شده است. با اعمال ولتاژ نرمالیزه ۱ ولت به الکترود بالایی در شکل (۱) میدان الکتریکی در نقاط مورد نظر که توسط الگوریتم تربیعی بدست آمده، تعیین گردید. میدان الکتریکی در نقاط مورد نظر به شبکه‌های عصبی اعمال شده و درصد خطای حاصل از این روش در جدول ۲ منعکس گردیده است. با توجه به نتایج حاصله، دیده می‌شود که درصد خطای حاصل از این روش بسیار کم است و این روش، روش بسیار مناسبی برای طراحی مبدل‌های نوری با استفاده از تعداد حسگرهای کم است. با این روش به دقت خیلی خوبی در اندازه‌گیری دست خواهیم یافت.

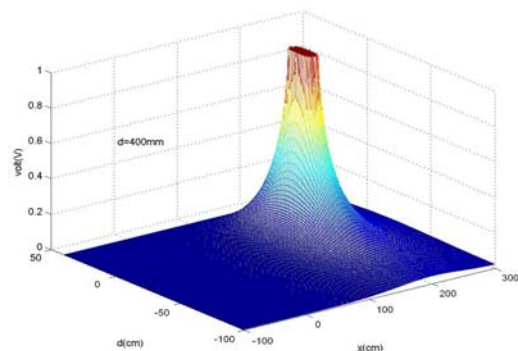
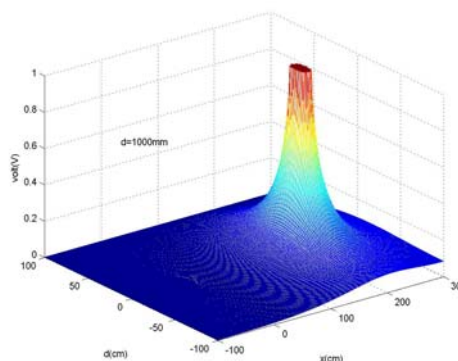
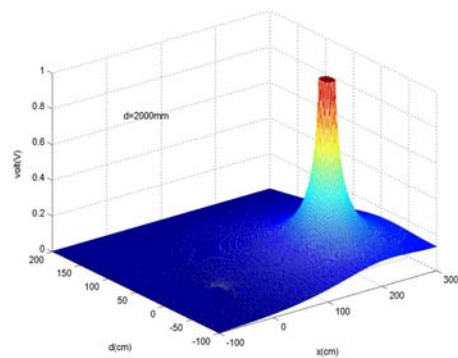
جدول ۲: درصد خطا در روش شبکه‌های عصبی برای ولتاژ نرمالیزه ۱V و تعداد حسگرهای مختلف

d	N=1	N=2	N=3	N=4
2000m	0.0000%	0.0002	-	-
1500m	-	0.0049	-	-
1000m	0.001%	-	-	-
800m	0.0009%	-	-	-
600m	-	-	-	-
400m	0.0008%	-	-	-

روش تربیعی [ ۱۵ ] نیز بر روی شبیه‌سازی انجام شده



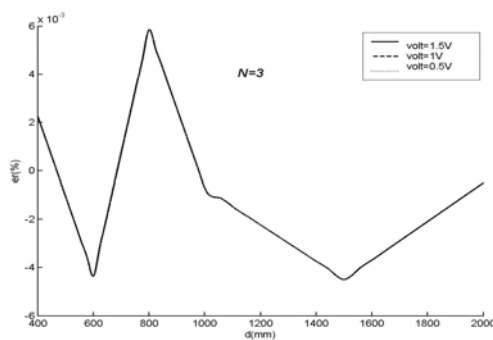
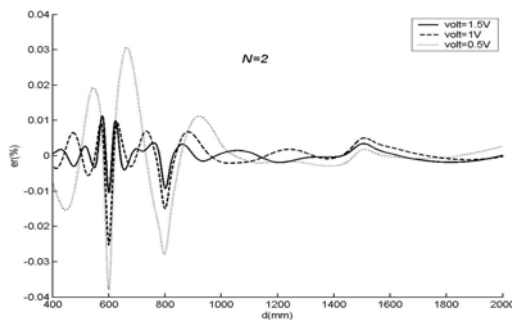
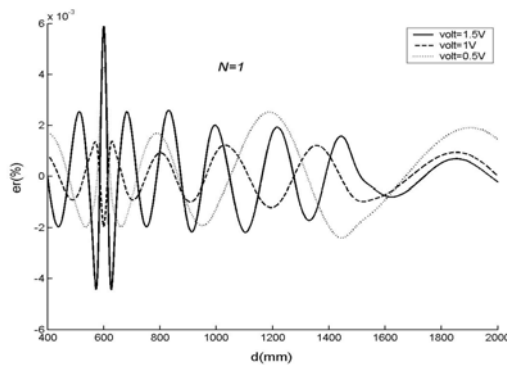
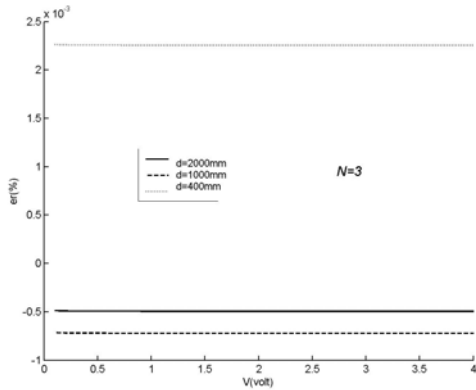
شکل ۲-ب: ضریب آشفتگی  $\rho(x) = \frac{E_x(x)}{E_x^{unp}(x)}$  برای میدان غیرآشفته و میدان آشفته با  $d=400\text{mm}$ .



شکل ۳: توزیع پتانسیل بر روی صفحه‌ای که از مراکز دو الکترود می‌گذرد و بر صفحه قائم متصل به زمین با فواصل مختلف عمود است.

الف)  $d=2000\text{mm}$  ب)  $d=1000\text{mm}$  ج)  $d=400\text{mm}$

در نظر گرفته شده‌اند. از این شکل‌ها برمی‌آید که با افزایش یا کاهش ولتاژ درصد خطا به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نمی‌کند و مبدل ولتاژ نوری با دقت مناسبی برای هر تعداد حسگر عمل می‌نماید.



پیاده گردید. درصد خطای آن در جدول (۳) آورده شده است. با اینکه روش تربیعی نیز از دقت خوبی برخوردار است، ولی شبکه‌های عصبی پاسخ مناسبتری نسبت به روش تربیعی دارد. مقایسه جداول (۲) و (۳) دلیل درستی این ادعاست.

جدول ۳: درصد خطا در روش تربیعی.

d	N=1	N=2	N=3	N=4
2000mm	0.65%	0.05%	-0.01%	-0.01%
1500mm	1.4%	0.09%	-0.03%	-0.01%
1000mm	3.2%	0.14%	-0.05%	-0.02%
800mm	4.14%	0.16%	-0.07%	-0.01%
600mm	5%	0.41%	-0.12%	-0.00%
400mm	4.2%	1.7%	-0.21%	-0.02%

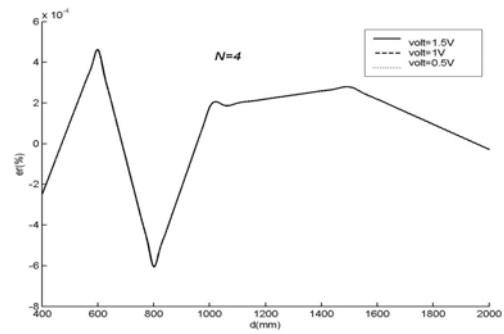
روش تربیعی اصلاح شده [۱۶] و روش تطبیقی اصلاح شده [۱۷] نیز جزو روشهایی هستند که با شناسایی آشفتگی محیط، دقت بالایی را در اندازه‌گیری بدست می‌آورند. به عنوان مثال در روش تربیعی اصلاح شده برای  $N=1$ ، با  $d=1500\text{mm}$  (ضریب اصلاح)  $h=1.044$  خطا  $0.00\%$  است [۱۶]. به عنوان مثالی دیگر در روش تطبیقی اصلاح شده برای  $N=5$  و  $d=400\text{mm}$  با انتخاب  $C=17.7019$  (ضریب اصلاح) خطا  $0.0001\%$  می‌باشد [۱۷]. اما آنچه که مسلم است در این دو روش با تغییر آشفتگی باید ضریب اصلاح نیز تغییر کند یعنی با تغییر فاصله صفحه فلزی از محور مبدل ولتاژ نوری باید ضریب اصلاح نیز اصلاح شود. اما در روش شبکه‌های عصبی نیاز به اعمال ضریب اصلاح نیست. به عبارت دیگر اگر اطلاع دقیقی از عوامل آشفته‌کننده میدان در دست نباشد و یا اینکه مبدل در محیطی قرار گرفته باشد که عوامل آشفته‌کننده میدان با زمان تغییر کنند، روش‌های تربیعی اصلاح شده و تطبیقی اصلاح شده به اندازه روش شبکه‌های عصبی دقیق نخواهند بود. شکل‌های (۴-الف)، (۴-ب)، (۴-ج) و (۴-د) نمودار درصد خطا بر حسب  $d$  (فاصله صفحه عمودی متصل به زمین با ابعاد بینهایت از محور OVT) را به ترتیب برای  $N=1$ ،  $N=2$ ،  $N=3$  و  $N=4$  نشان می‌دهند. با توجه به اینکه الگوریتم شبکه‌های عصبی مبتنی بر یادگیری است، بایستی تغییرات ولتاژ اعمالی را نیز در نظر گرفت. در هر کدام از این شکل‌ها سه ولتاژ اعمالی  $0.5$ ،  $1$  و  $1.5$  برابر ولتاژ نرمالیزه

در هر کدام از شکل‌های (۴-ج) و (۴-د) هر سه منحنی دقیقاً روی یکدیگر منطبق شده‌اند. می‌توان چنین استنباط کرد که برای حالت  $N \geq 3$  با تغییر ولتاژ اعمالی دیگر تغییری در خطا حاصل نخواهد شد. یعنی این مبدل بدون هرگونه تغییری در عملکرد آن برای بازه بسیار وسیعی از تغییرات ولتاژ ورودی کاربرد خواهد داشت. این مسئله با افزایش تغییرات ولتاژ ورودی از طریق شکل‌های (۵-الف)، (۵-ب)، (۵-ج) و (۵-د) مورد بررسی قرار گرفته است. این شکل‌ها تغییرات درصد خطا بر حسب ولتاژ نرمالیزه اعمالی برای  $d=2000\text{mm}$  و  $d=1000\text{mm}$ ،  $d=400\text{mm}$  در حالات  $N=1$ ،  $N=2$ ،  $N=3$  و  $N=4$  نشان می‌دهند. این بار تغییرات ولتاژ از 0.1 تا 4 برابر ولتاژ نرمالیزه در نظر گرفته شده است.

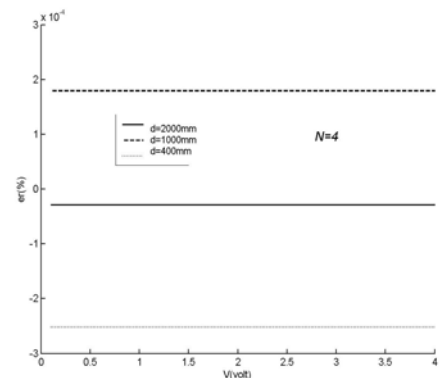
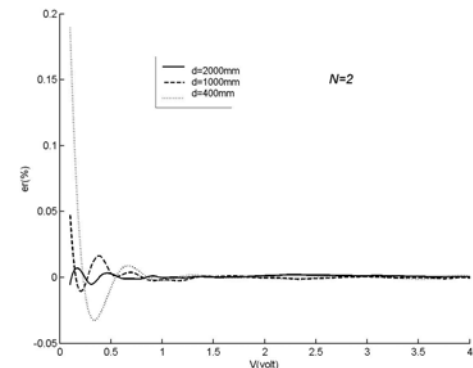
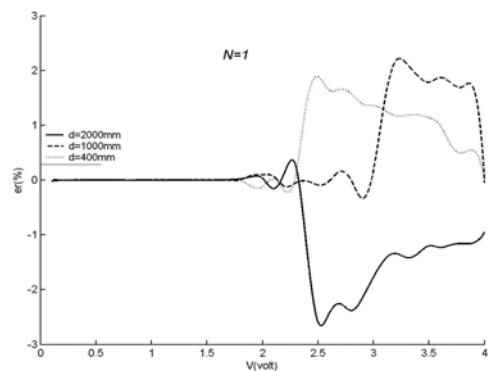
شکل (۵-الف) نشان می‌دهد در حالت  $N=1$  و در بازه تغییرات 0.1 تا 2 برابر ولتاژ نرمالیزه تغییری در خطای ولتاژ خروجی دیده نمی‌شود. شکل (۵-ب) نیز نشان می‌دهد در حالت  $N=2$  و در بازه تغییرات 0.5 تا 4 برابر ولتاژ نرمالیزه تغییری در خطای ولتاژ خروجی نداریم. البته تغییرات در بازه پایین 0.5 نیز بسیار کم است. شکل‌های (۵-ج) و (۵-د) نشان می‌دهند که برای  $N \geq 3$  تغییرات ولتاژ اعمالی هیچ اثری در تغییر خطای ولتاژ اندازه‌گیری شده ندارد. البته درصد خطا در بازه تغییرات وسیع ولتاژ اعمالی برای شکل‌های (۵-الف) تا (۵-د) نشان می‌دهند که استفاده از شبکه‌های عصبی در مبدل ولتاژ نوری باعث می‌شود که این مبدل در آشفتگی‌های شدید نیز پاسخ بسیار مناسبی را ارائه کند.

شکل‌های (۶-الف)، (۶-ب)، (۶-ج) و (۶-د) منحنی سه بعدی درصد خطا بر حسب ولتاژ نرمالیزه اعمالی و فاصله صفحه عمودی متصل به زمین با ابعاد بینهایت را به ترتیب برای  $N=1$ ،  $N=2$ ،  $N=3$  و  $N=4$  نشان می‌دهند. همانطوریکه ملاحظه می‌گردد، تغییرات آشفتگی، تغییرات محسوسی در نتیجه اعمال نمی‌کند.

بنابراین از روش شبکه‌های عصبی می‌توان به طور مطمئنی در مبدل‌های ولتاژ نوری استفاده نمود و همچنین با  $N \geq 2$  می‌توان به مبدل‌هایی دست یافت که در بازه وسیعی از ولتاژ اعمالی می‌توانند کار کنند. حتی برای  $N=1$  نیز می‌توان بطور مطمئن ولتاژ اعمالی را تا دو برابر افزایش داد.



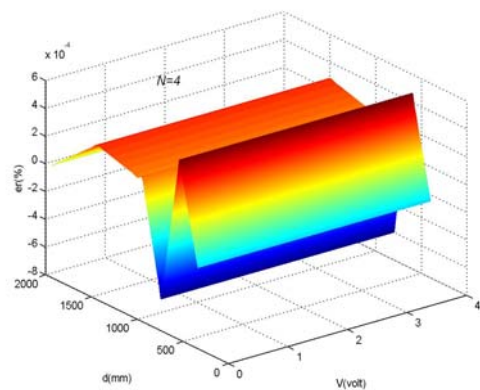
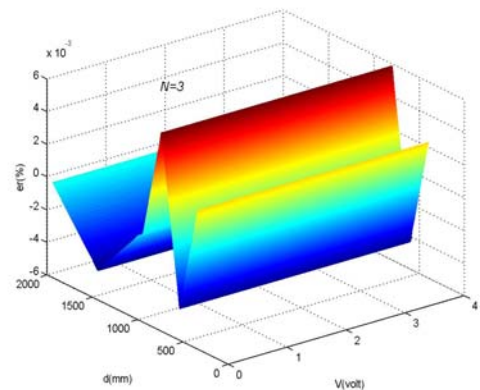
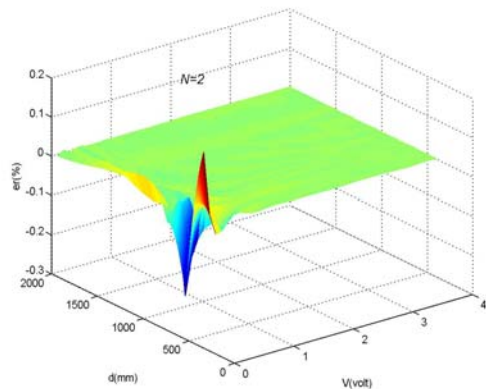
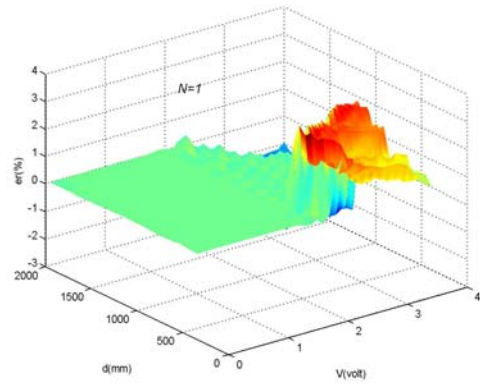
شکل ۴: درصد خطا بر حسب  $d$  برای سه ولتاژ اعمالی 0.5، 1، 1.5 برابر ولتاژ نرمالیزه در حالت الف)  $N=1$ ، ب)  $N=2$ ، ج)  $N=3$  و د)  $N=4$ .



شکل ۵: درصد خطا بر حسب بازه تغییرات ولتاژ نرمالیزه اعمالی برای  $d=2000\text{mm}$  و  $d=1000\text{mm}$ ،  $d=400\text{mm}$  در حالت الف)  $N=1$ ، ب)  $N=2$ ، ج)  $N=3$  و د)  $N=4$ .

در این مقاله چگونگی استفاده از شبکه عصبی جهت اندازه‌گیری دقیق ولتاژ اعمالی به مبدل ولتاژ نوری معرفی گردید. با انجام شبیه‌سازی مربوطه و اعمال شبکه عصبی دیده شد که این روش با تعداد حسگرهای کم به دقت بالایی در اندازه‌گیری می‌رسد. نتایج حاصل نشان می‌دهند که برای ولتاژ نرمالیزه اعمالی با یک عدد حسگر به دقت بالایی در اندازه‌گیری می‌توان دست یافت و تغییر میزان آشفتنگی از دقت الگوریتم نمی‌کاهد. اما برای افزایش بازه تغییرات ولتاژ نرمالیزه ورودی به بیشتر از دو برابر به تعداد دو حسگر یا بیشتر نیاز است. در هر حالت با  $N \geq 2$  به دقت بالایی در اندازه‌گیری با بازه تغییرات ولتاژ نرمالیزه بالا خواهیم رسید. یکی از محاسن این روش این است که عوامل آشفته‌کننده محیط تاثیر محسوسی در نتیجه ندارند و این موضوع باعث می‌شود که این الگوریتم در شرایط مختلف به جواب دقیقی برسد.

با استفاده از تکنولوژی فیبر نوری و انتقال مدارات به خارج از محیط فشار قوی مشکل تداخل میدان‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی با مدارات الکترونیکی وجود نخواهد داشت و مدارات از اغتشاشات و نویزهای مربوطه در امان خواهند ماند. چون در اندازه‌گیری از حسگرهای نوری و سیگنال‌های نوری استفاده می‌شود، پهنای باند مبدل ولتاژ نوری بسیار زیاد است و به همین دلیل از این مبدل‌ها برای اندازه‌گیری هارمونیک‌های شبکه نیز می‌توان استفاده نمود.



شکل ۶: درصد خطا بر حسب بازه تغییرات ولتاژ نرمالیزه و  $d$  در حالت الف)  $N=1$ ، ب)  $N=2$ ، ج)  $N=3$  و د)  $N=4$ .



- 
- 1 - Rahmatian, F., Romalo, D., Lee, S., Fekete, A., Liu, S., Jaeger, N. A. F. and Chavez, P. (2000). "Optical voltage transducers for high\_ Voltage applications." *In proc. 2<sup>nd</sup> EPRI Optical Sensor System Workshop*, Atlanta, GA, Jan.26-28.
  - 2 - Rahmatian, F., Chavez, P. P. and Jaeger, N. A. F. (2001). "A wide\_ band high accuracy SF6\_free optical voltage transformer." *2001 EPRI Optical Sensor System workshop*.
  - 3 - Patrick, P. Chavez, Farnoosh Rahmatian, and Nicolas, A. F. Jaeger, (2001). "230 kV Optical voltage transducer using a distributed optical electric field sensor system." *2001 IEEE Transmission & Distribution Conference*.
  - 4 - Rahmatian, F., Chavez, Patrick P. and Jaeger, Nicolas A. F. (2002). "230 kV optical voltage transducer using multiple electric field sensors." April 2002, *IEEE Transacion on Power Delivery*.
  - 5 - Rahmatian, F. and Chavez, Patrick P. (2001). "Wide\_band 138 kV distributed \_ sensor optical voltage transducer: study of accuracy under pollution and other field disturbance." *2001 IEEE. Reprinted with Permission from July 2001 PES Summer Power Meeting*.
  - 6 - Rahmatian, F., Chavez, Patrick P. and Jaeger, Nicolas A. F. (2002) "138 kV and 345 kV wide\_band SF6-free optical voltage transducers." January 2002, *PES Winter Power Meeting*.
  - 7 - Josemir Coelho Santos, M. Cengiz Taplamacioglu, and Kunihiko Hidaka, (2000). "Pockels high-voltage measurement system." *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.15, No.1, January .
  - 8 - Michelle Passard, Charistine Barthod, Michel Fortin, christine Galez, and Jacques Bouillot, (2001). "Design and optimization of a low-frequency electric field sensor using pockels effect." *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Vol.50, No.5, October.
  - 9 - Kurosawa, K., Yashida, S., Mori, E., Takahashi, G. and Saito, S. (1993). "Development of an optical instrument transformer for DC voltage measurement." *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 8, No.4, October.
  - 10 - Kunihiko Hidaka, (1996). "Progress in Japan of space charge field measurement in gaseous dielectrics using pockels sensors." *IEEE Electrical Insulation Magazine*, January/February, Vol. 12, No.1.
  - 11 - Changsheng Li, and Toshihiko Yoshino, (2002). "Optical voltage sensor based on electro optic crystal multiplier." *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 20, No. 5, May.
  - 12 - Filippov, Valery N., Stardumov, Andrey N., Barmenkov, Yuri O. and Makarov, Vadim V. (2000). *Fiber-optic voltage sensor based on a Bi<sub>12</sub>TiO<sub>20</sub> crystal*. 20 March, Vol. 39, No. 9, Applied Optics.
  - 13 - Sawa, T., Kurosawa, K., Kaminishi, T. and Yokota, T. (1990). "Development of optical instrument transformers." *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 5, No. 2, April .
  - 14 - F.Jager, Nicolas A. and Rahmatian, F. (1995). "Integrated optics pockels cell high-voltage sensor," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 10, No. 1, January .
  - 15 - Chavez, Patrick P., Jaeger, Nicolas A. F. and Rahmatian, F. (2003). "Accurate voltage measurement by the quadrature method." *14 IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 18, No. 1, January .
  - 16 - Monsef, H. and Ghomian, T. (2006). "Modified ouadrature method for accurate voltage measurement in optical voltage transducer." *IEE Proc. Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 153, No. 5, Sep. PP. 524-530.
-



---

17 - Monsef, H. and Ghomian, T. "Modified adaptive method for accurate voltage measurement in optical voltage transducer." *IEEE Trans. on PWDR*, submitted.

- 1 - Integrated Optic Pockels Cell (IOPC)
- 2 - Bulk Type Sensor

N=1

Network type: Radial basis (exact fit)  
spread constant: 0.01

N=2

Network type: feed forward back-propagation  
Training function: TRAINLM (levenberg-marquardt learning rule)  
Performance function: MSE (mean square error)  
Number of layers:2

Layer1:

Number of neurons: 80  
Transfer function: LOGSIG  
(Logarithmic sigmoid transfer function)

Layer 2:

Number of neurons: 1  
Transfer function: PURELIN  
(Linear transfer function)

N ≥ 3

Network type: feed forward back-propagation  
Training function: TRAINLM  
Performance function: MSE (mean square error)  
Number of layers:2

Layer 1= layer 2

Number of neurons: 1  
Transfer function: PURELIN

---