



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

# فشار ولتاژ در یک سیم پیچ ترانسفورمر طی جریان های لحظه ای خیلی سریع

## ناشی از رویداد بسته شدن مدار شکن

### چکیده

ترانسفورمرهای متصل در سطح ولتاژ متوسط در شبکه های کابل نظیر شبکه های سیم پیچ پارک و شبکه های صنعتی، در معرض بار ولتاژ های لحظه ای بسیار سریع قرار دارند. این ولتاژ های الکتریکی گذرا طی عملیات سویچینگ مدار قدرت شکن، تولید شده و زمان خیزولتاژ گذار در این سیستم ها در مقایسه با زمان خیزولتاژ ها های تولید شده در سیستم های انتقال در سطح ولتاژ بالا، بسیار کوتاه تر است. در این مقاله، بار ولتاژ داخلی طی گذار های بسیار سریع تولید شده طی انرژی سازیون ترانسفورمر مطالعه می شود. به جای استفاده از مدار قدرت شکن، تست های انرژی با استفاده از ژنراتور پالس با امیدانس پایین انجام می شوند که تولید امواج ولتاژی با افزایش زمان بین 35 تا 500 ns می کنند. آزمایشات نشان می دهند که طی جریان های گذار سریع با افزایش زمان ns35 و بزرگی  $p.u.-1$ ، ولتاژ اینترترن مازاد بر سطح حاصله با امواج ولتاژ اینترترن 4.4 pu است. به علاوه، طی سناریوی سویچینگ خاص با مبدل های متصل دلتا، که سیم پیچ از هر دو انتها بر انگیخته می شود مقدار ولتاژ  $p.u./35-ns-1$  تولید یک ولتاژ اینترترن می کند که مازاد بر سطح 1- p.u است که بیش از 2.5 برابر بار ولتاژ نسبت به زمان آزمون ضربه می باشد.

لغات کلیدی: کابل ها، ولتاژ گذار سیستم برق، تست عایق ترانسفورمر برق، سیم پیچ های ترانسفورمر، انتشار گذرا، پاسخ گذرا

### 1-مقدمه

پدیده صاعقه، به عنوان بزرگ ترین و سریع ترین ولتاژ های لحظه ای محسوب می شود که دستگاه الکتریکی در سیستم های برق نظیر مبدل ها در معرض آن قرار می گیرند. پالس های ولتاژ تولید شده دارای مرز بسیار شیب داری از نظر میکروثانیه بوده و می توانند به بزرگی بسیار بالاتر از ولتاژ های درجه بندی شده سیستم برسند. ولتاژ های بزرگ تولید شده توسط صاعقه را می توان با استفاده از گیرهایی خاص کاهش داد.

با این حال،  $SF_6$  و قطع کننده های خلا، تولید ولتاژ های می کنند که در آن زمان خیز، 100 برابر کوتاه تر از ضربه صاعقه است. به علاوه، بسیاری از خرابی های عایق ترانسفورمر با عملیات سویچینگ مدار قدرت شکن رخ داده اند اگرچه مبدل ها از همه آزمون های استاندارد عبور کرده و همه ملزومات رعایت شده است (1-4). این پدیده را نمی توان تنها به  $vcb$  نسبت داد زیرا مطالعه دیگر نشان داد که مدار های شکن قدرت با عایق  $SF_6$  و قطع کننده می توانند تولید این ولتاژ های لحظه ای کنند (5). خرابی در محیط  $SF_6$  دارای زمان خیز 2-20 ns می باشد که در آن قطع کننده های  $SF_6$  تولید ضربه های ولتاژ طی عملیات می کنند (5). مطالعات مربوط به خرابی عایق موتور ها که ناشی از پدیده سویچینگ است، نشان می دهد که جریان های نا به هنجار الکتروود تولید شده طی سویچینگ CB مغناطیسی هوا، بسیار مشابه با جریان های ایجاد شده در دستگاه های خلا است. بر اساس یکی از مطالعات، CB مغناطیسی هوا تولید جریان های با بزرگی 4.4 p.u کرده و افزایش زمان 0.2 میکرو ثانیه بود در حالی که جریان های الکتروود تولید شده توسط خلا دارای بزرگی p.u-4.6 می باشد ولی افزایش زمان تا 0.6 میکروثانیه می باشد.

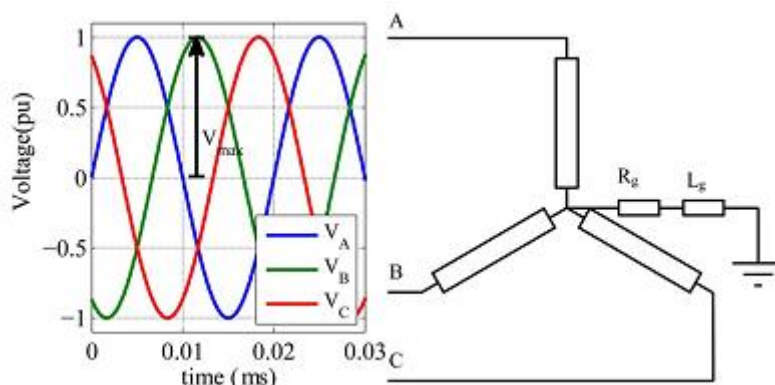
یک مطالعه 10 ساله که شامل بررسی خرابی هزاران ترانسفورمر توسط دیگ بخار هارتفورد بود به این نتیجه رسید که ولتاژ های لحظه ای با فرکانس بالا، عامل اصلی خرابی و از بین رفتن عایق ترانسفورمر می باشد. به علاوه، بسیاری از مطالعات به بررسی پدیده ای پرداخته اند که تولید ولتاژ های بسیار قوی در سیم پیچ های درون ترانسفورمر می کند. اگرچه برخی از محققان به این نتیجه رسیدند که شواهد مستقیم در خصوص اثر منفی ولتاژ های با فرکانس بالا در عایق مبدل مشاهده نشد، ولتاژ های داخلی با فرکانس بالا به صورت عامل خرابی عایق ترانسفورمر ها در نظر گرفته شده اند (9-4). به علاوه، اگرچه ولتاژ های در پایانه های مبدل که با بستن مدار شکن تولید می شوند، در درون برخی از آستانه ها قرار دارند و مازاد بر بزرگی ولتاژ شبکه نمی باشند، گزارش شده است که برخی از خرابی های ترانسفورمر طی ولتاژ های نیروبخش رخ می دهد (1-3). در این مقاله، بار ولتاژ داخلی طی گذار های بسیار سریع تولید شده طی انرژی سازیون ترانسفورمر مطالعه می شود. به جای استفاده از مدار قدرت شکن، تست های انرژی با استفاده از ژنراتور پالس انجام می شوند. به علاوه، نیروبخشی مبدل ها با پیکر بندی های سیم پیچی متفاوت و انواع عایق های متفاوت با استفاده از راکتور آزمایشی تجزیه تحلیل می شود. ولتاژ اینترترن بدست آمده با ولتاژ اندازه گیری شده طی تست ضربه صاعقه در

ضربه صاعقه پایه مقایسه شد طوری که به صورت بالا ترین و سریع ترین بار ولتاژ با استاندارد های مبدل در نظر گرفته می شود.

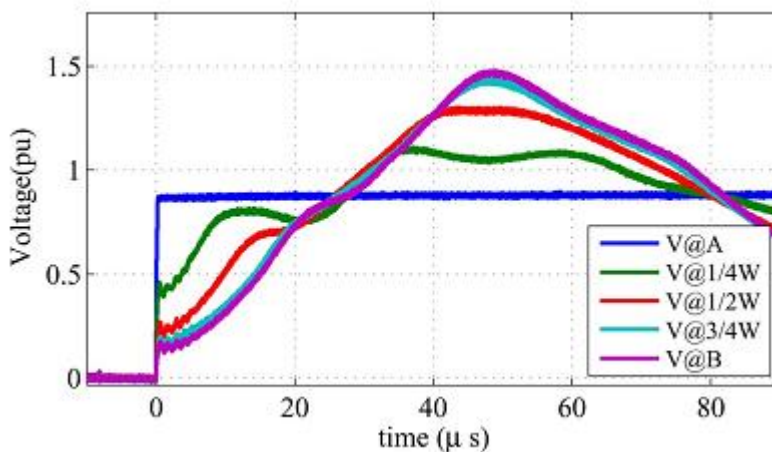
## 2- اثر پیکر بندی سیم پیچ مبدل بر ولتاژ های لحظه ای بسیار سریع

ولتاژ های لحظه ای نیروبخش مبدل به شدت بستگی به آرایش سیم پیچ در سیم پیچ های جانبی با ولتاژ بالا دارد برای یک مبدل متصل به وی، یک انتهای سیم پیچ متصل به یک نقطه خنثی است که دارای پتانسیل شناور است. انتهای خنثی به طور مستقیم در معرض یک مرحله ولتاژ قرار نمی گیرد زیرا مرحله ولتاژ در صورت رسیدن به نقطه خنثی در حالت میرایی یا کاهش قرار می گیرد.

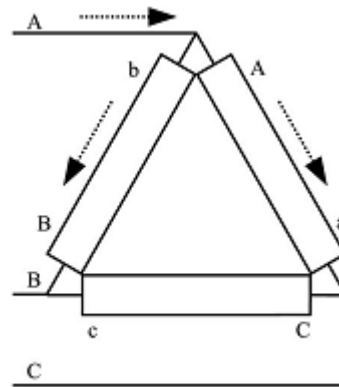
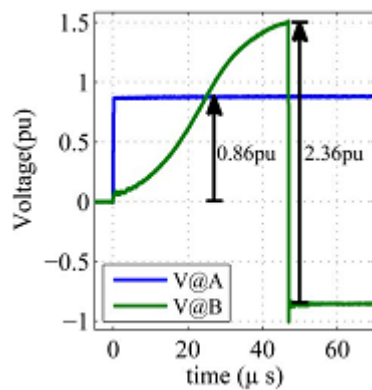
شکل 1- ولتاژ ها در پایانه های مبدل متصل به ستاره



شکل 2- ولتاژ های داخلی اندازه گیری شده طی نیروبخشی سیم پیچ



شکل 3- مبدل متصل به دلتا



برای یک مبدل متصل به زمین، نقطه خنثی در صورتی در ولتاژ صفر قرار می گیرد که مسیر زمین با یک اندوکتانس ناچیز  $L_g$  کوتاه باشد. ماکزیمم ولتاژی که به سیم پیچ مبدل متصل به وای طی عملیات طبیعی نیرو می بخشد، ولتاژ فاز پیک به زمین است. ولتاژهای پایانه مبدل و ماکزیمم ولتاژ در شکل 1 نشان داده شده اند. در شبکه های کابل با ولتاژ متوسط، طرف مبدل HV، اغلب اوقات به دلتا متصل است. این مسئله در مزرعه های بادی بسیار غالب است در ارتباط با زمین در مبدل زیر ایستگاه و یا در ترانسفورمر های کمکی، برای پشتیبانی از دستگاه های فرعی استفاده می شود. برای یک مبدل متصل به دلتا، ولتاژ لحظه ای نیروبخش ساده، یک پدیده پیچیده کامل است. برخی از سناریو های مربوط به ولتاژهای لحظه ای نیرو بخش وجود دارد که تولید ولتاژهای داخلی بسیار بالا می باشد.

در مبدل متصل به دلتا، سیم پیچ از هر دو انتها نیروبخش می شود. به علاوه، در گشتاور نیرو بخش از ترانسفورمر دلتا، ولتاژ در انتهای سیم پیچ در لحظه شارژ لزوماً همانند ترانسفورمر متصل به وای صفر نیست. وقتی مبدل متصل به دلتا از منبع با امپدانس پایین در یک انتها شارژ می شود، نیروبخشی خازن سیم پیچ موجب نوسانات ولتاژی می شود که در فرکانس روزنانت سیم پیچ نوسان می کند زیرا دیگر انتهای دارای مدار باز می باشند. این در شکل 2 نشان داده شده است.

سیگنال ولتاژ، از منبع با امپدانس پایین به پایانه A اعمال می شود در حالی که خطوط پایین تر نشان دهنده ولتاژ در با طول یک چهارم، طول یک دوم، و طول سه چهارم از سیم پیچ و در پایانه B می باشد. توزیع ولتاژ اولیه در امتداد سیم پیچ با خازن های موازی سیم پیچ تعیین می شود. ولتاژ در انتهای سیم پیچ، با بیشترین بزرگی در فرکانس رزونانس سیم پیچ نوسان می کند. در یک مورد ایده ال، بزرگی ولتاژ در انتهای سیم پیچ به دو برابر بزرگی مرحله اعمال شده می رسد که در این رابطه 10 درصد پایین تر بوده و به  $1.5 p.u$  می رسد.

این سطح ولتاژ بعد از 50 میکروثانیه یا 0.05 میلی ثانیه ناشی از فرکانس روزنانس سیم پیچ به میزان 10 کیلو هرتز حاصل می شود. به دلیل نوسانات ولتاژ، یک سناریوی احتمالی وجود دارد که نشان می دهد دیگر انتهای سیم پیچ در پایانه B با یک ولتاژ منفی در لحظه ای نیرو دهی می شود که ولتاژ مثبت به مقدار حداکثر خود یعنی  $p.u\ 1.5$  برسد و در نتیجه برای بزرگی یک مرحله ولتاژ نیرو بخش از  $-0.86\ p.u$ ، نیروبخشی سیم پیچ به  $p.u-2.36$  می رسد. این بدترین سناریوی ای می باشد که در آن بیشترین مرحله ولتاژ در انتهای سیم پیچ با اتصال دلتا، تولید می شود. این سناریو در شکل 3 نشان داده شده است.

شکل 3 نوسان امواج ولتاژ را در پایانه B بعد از اعمال مرحله ولتاژ در پایانه a اعمال می شود. در حدود 48 میکروثانیه، امواج ولتاژ به مقدار ماکزیمم خود در پایانه B و C می رسد. در صورتی که هیچ یک از این پایانه ها توسط مرحله ولتاژ منفی در آن لحظه شارژ نشوند، مرحله ولتاژ در آن پایانه به  $p.u-2.36$  می رسد. سناریوی توصیف شده در ولتاژ لحظه ای همیشه رخ نمی دهد. ریسک برآورد شده اولیه ظهور یک فرایند کم تر از 0.5 درصد است. با این حال، با در نظر گرفتن بزرگی مرحله ولتاژ حاصله، بررسی این مسئله ارزشمند است زیرا این بدترین سناریو می باشد.

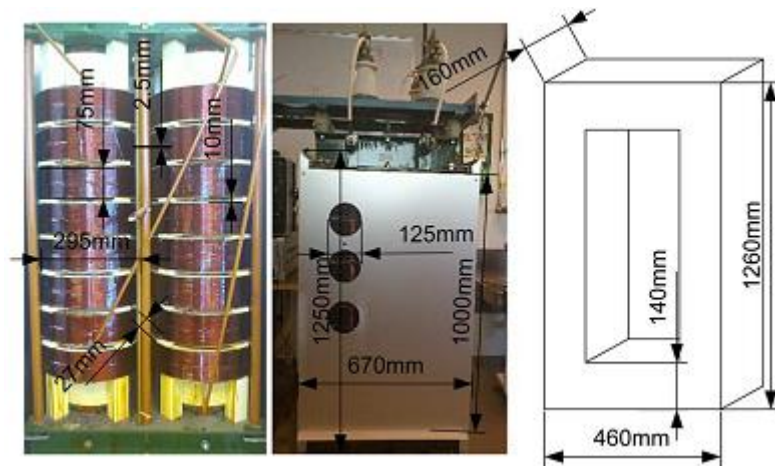
### 3-مرحله آزمایش

یک مرحله آزمایشی متشکل از یک راکتور، ژنراتور پالس، و تجهیزات اندازه می باشد. راکتور متشکل از دو سیم پیچ مشابه می باشد که به میزان 10 کیلو ولت و 200 kVA رتبه بندی می شود و این در صورتی است که این ها به طور موازی باشند. یک محافظ آلومینیومی به راکتور برای ایجاد توزیع واقع گرایانه تر از خازن ها افزوده می شود. سه حفره در پوشش جلویی، برای دسترسی به نقاط اندازه گیری باز می مانند. راکتور در شکل 4 نشان داده شده است.

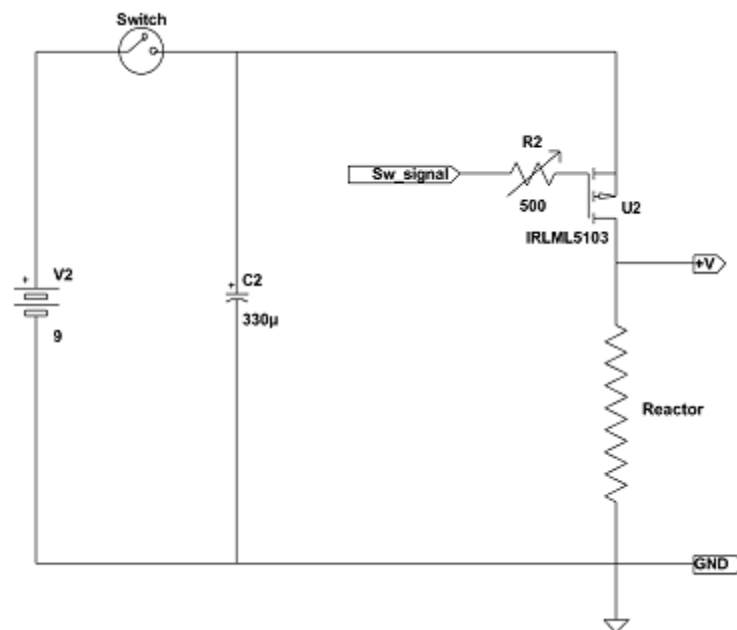
مراحل ولتاژ آزمایشی با استفاده از مدار الکترونیکی ساده تولید می شوند که در آن یک ترانزیستور اثر میدانی نیمه رسانای کنترل شده از تخلیه خازن استفاده شود. این منبع ولتاژ مشابه با شبکه های کابل است. وقتی ترانزیستور روشن است، خازن به روی سیم پیچ تخلیه می شود. خازن بعد از 0.5 ثانیه تخلیه شده ولی در طی چند میلی ثانیه به صورت یک استپ در می آید. این را می توان به صورت یک مرحله ولتاژ در نظر گرفت زیرا ما در حال مشاهده ولتاژ های لحظه ای می باشیم که طی چند صدم ثانیه میرا می شوند. یک کابل به طول 1

متر برای انتقال ولتاژ بین ژنراتور و راکتور استفاده می شود. زمان خیزبا استفاده از مقاومت متغیر در یک مدار گیت از ترانزیستور MOSFET تعدیل می شود که به صورت یک سویچ عمل می کند. حداقل زمان خیز مرحله ولتاژ بدون هر گونه بار متصل به ژنراتور حدود 20 نانوثانیه است.

شکل 4- راکتور آزمایش ( ابعاد سیم پیچ، ابعاد محافظ و ابعاد هسته)



شکل 5- طرح ساده ای از ژنراتور پالس



طی آزمایش، دو ژنراتور پالس متفاوت استفاده شدند. از آن جا که موضوع این مطالعه، ولتاژهای لحظه ای بسیار سریع است، سطح ولتاژ می تواند به بزرگی چند ولت باشد. دلیل این است که هسته مغناطیسی برای این زمان کوتاه، به صورت یک عایق عمل کرده و اثرات خطی شایع در این چارچوب زمانی وجود نخواهد داشت (22-24). از این روی، سطح ولتاژ ژنراتورهای پالس بین 6 و 9 ولت است. یک ژنراتور می تواند تولید تک پالس کند و

برای تولید اشکال موجی ولتاژ با ضربه صاعقه ای کند. این کار با تعدیل مقاومت های متغیر در ژنراتور پالس صورت می گیرد که موجب تعدیل زمان خیزو کاهش شکل موجی ولتاژ می شود.

دیگر ژنراتور پالس برای شبیه سازی سناریوی موردی زمانی استفاده می شود که ترانسفورمر متصل به دلتا، نیروگیری کرده و شارژ شود. در این رابطه، یکی از سیم پیچ های ترانسفورمر از هر دو طرف شارژ می شود. یک انتهای سیم پیچ توسط یک پالس مثبت شارژ می شود، در حالی که انتهای دیگر با پالس منفی شارژ می شود. تاخیر زمانی بین پالس های مثبت و منفی را می توان با مقاومت متغیر تعدیل کرد. به علاوه برای برآورد اثر زمان خیزمرحله ولتاژ بر ولتاژ های اینترترن، افزایش زمان هر دو مرحله ولتاژ می تواند تعدیل شود.

دو نوسان سنج به طور هم زمان برای اندازه گیری استفاده شدند. یک پالس برای تحریک هر دو نوسان سنج استفاده شد و بیش از 7 کانال در یک زمان اندازه گیری شدند. دلیل این است که این خود یکی از سیگنال هایی است که در یک زمان توسط دو نوسان سنج برای حذف تاخیر های زمانی بین زمان های تحریک در دو نوسان سنج استفاده می شود. پهنای باند نوسان سنج کند تر 1.5 گیگاهرتز می باشد در حالی که پروب ها دارای پهنای باند 500 مگاهرتز هستند. اندازه گیری ها در سرعت نمونه برداری 20 نمونه در هر ثانیه و قدرت تفکیک 8B ثبت شدند. طی پردازش داده ها، سیگنال های ولتاژ با استفاده از فیلتر پایین گذر 50 مگاهرتز بدون تاخیر فیلتر شدند. این کار با عملیات متلب فیلتر صورت گرفت. آزمایش و مراحل آن در شکل 6 نشان داده شده است.

### الف: راکتور آزمایش

در این مقاله، یک سیم پیچ از راکتور تک فازی 10-kVA-200-kV، به عنوان موضوع مورد آزمایش استفاده شد. در واقع، در آزمایشات، ترانسفورمر متصل به دلتای سه فازی استفاده شد و برای مطالعات ولتاژ لحظه ای از سیم پیچ مبدل، این راکتور آزمایشی بسیار خوب بود.

هر سیم پیچ راکتور متشکل از 8 دیسک بود. هیچ یک از دیسک ها دارای روش های کاهش ولتاژ نظیر میان گذاری نبودند. هر دیسک به طور یکسان سیم پیچی ب شده بود طوری که در آن ها دیسک های غیر یکنواخت از لایه های خارجی شروع به سیم پیچی شدند در حالی که دیسک های یکنواخت از لایه های درونی شروع به



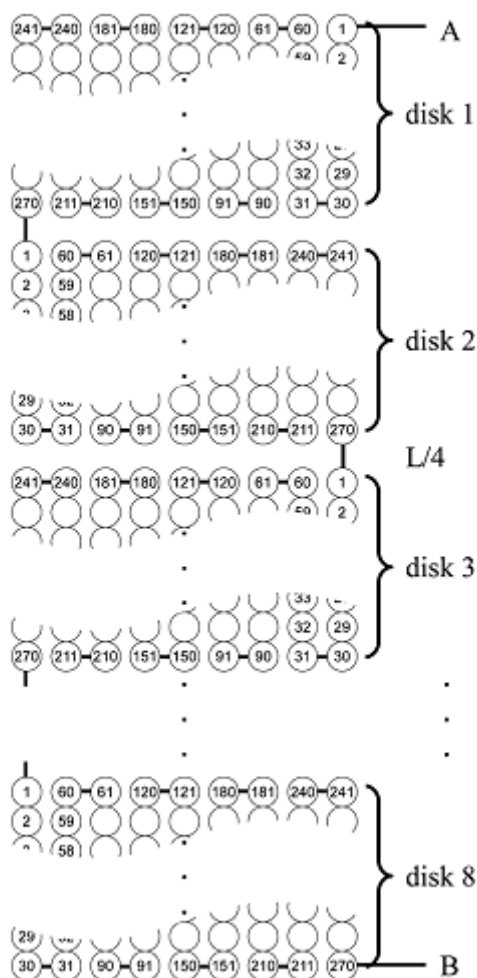
سیم پیچی کردند. هر لایه متشکل از 30 کنداکتور می باشد در حالی که هر دیسک متشکل از 9 لایه است. ساختار سیم پیچ راکتور در شکل 7 نشان داده شده است.

پایانه های A-B بیانگر پایانه های سیم پیچ می باشند در حالی که دیسک های 4-6 از شکل 7 حذف شدند.

#### 4- تحلیل ولتاژ های اینترترن

برای این منظور، ژنراتور سیگنال ولتاژ برای اعمال سیگنال های با ولتاژ های متفاوت به سیم پیچ راکتور استفاده می شود/ ولتاژ های اینترترن برای سه نوع سیگنال ولتاژ یعنی ضربه صاعقه ای، مرحله ولتاژ و مرحله ولتاژ مضاعف تحلیل می شوند طوری که یک مرحله ولتاژ منفی به انتهای مقابل سیم پیچ بعد از تاخیر اعمال می شود. افزایش زمان مراحل ولتاژ بین 35 و 500 نانوثانیه تعدیل می شود.

شکل 7 شماتیکی از سیم پیچ راکتور



جدول 1- ولتاژ سیستم اسمی و سطوح عایق ضربه صاعقه برای ترانسفورمر های نوع خشک

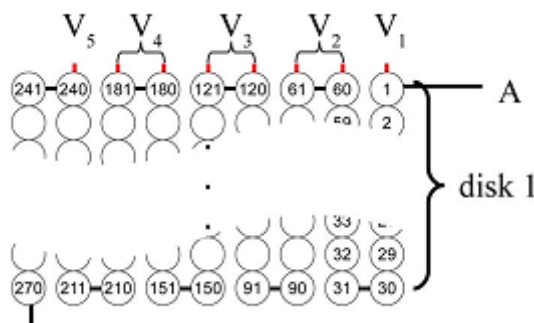
	BIL (kV)	45	60	75	95	110	125	150	200
$U_{nom}$									
8.7	S	1			1				
15		S			1	1			
24					2	S	1	1	
34.5							2	S	1

## بار ولتاژ بحرانی

استاندارد ها برای ترانسفورمر های نوع خشک و عایق روغن، معرف BIL برای هر سطح ولتاژ می باشد. به منظور مطابقت با این استاندارد ها، ترانسفورمر های تست شده نباید هیچ گونه علایم آسیب عایق را بعد از تست های استاندارد نشان دهند. این تست های ضربه ولتاژ به صورت بالاترین و سریع ترین بار ولتاژی که بر عایق مبدل اثر می گذارند در نظر گرفته می شوند. در صورتی که مبدل قادر به مقاومت به این فشار ولتاژ بدون هر گونه آسیب باشد، عایق آن باید موجب بقای دیگر ولتاژ های با فرکانس بالا شود. به همین دلیل، ولتاژ اینترترن بدست آمده طی بار ولتاژ با شکل ضربه به صورت مرجع در نظر گرفته می شود.

BIL تعریف شده با استاندارد های مبدل های نوع خشک و آغشته به روغن در جدول 1 نشان داده شده است.

شکل 8: نقاط اندازه گیری دیسک اول



S اشاره به مقدار استاندارد دارد، 1 سطوح بالای اختیاری را برای ولتاژ های بالا نشان می دهد و 2 سطح قدرت اختیاری زمانی است که گیر ها برای محدود کردن سطح ولتاژ استفاده شود.

این داده ها به صورت بار ولتاژ مرجع استفاده می شوند و با بار ولتاژ تولید شده با ولتاژ های لحظه ای بسیار سریع مقایسه می شود. داده ها در هر واحد به دلیل استفاده از ولتاژ های آزمایشی پایین ارایه شده اند. مقادیر به ازای هر واحد به صورت نسبت BIL و ولتاژ فازی پیک محاسبه می شوند. برای مثال، برای سطح ولتاژ 8.7 کیلوولت، سطح عایق صاعقه 6.33 p.u. است در حالی که برای سطح ولتاژ 34.5-kV، مقدار BIL با حفاظت گیر حدود 4.44 و 5.33 p.u. به ازای BIL استاندارد است. به عنوان یک مرجع BIL، BIL-4.44 p.u. انتخاب

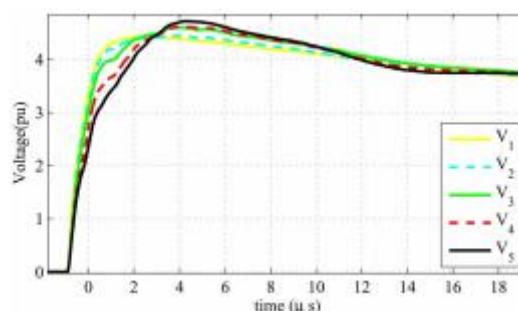
می شود زیرا دارای کم ترین بزرگی در هر واحد است و سطح ولتاژ 30-40 kv در مزارع بادی کرانه ای استفاده می شود که در آن مبدل ها توسط گیر ها حفاظت می شود.

ولتاژ های اینترترن در اولین دیسک

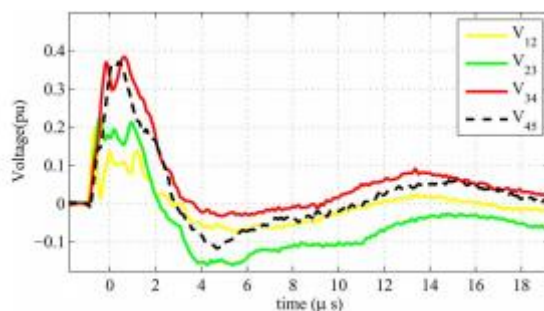
مشتق ولتاژ و افزایش زمان مرحله ولتاژ اعمال شده به پایانه سیم پیچ به طور معنی داری با عبور موج از یک پایانه به پایانه دیگر کاهش می یابد. بر عکس، برای ولتاژ های لحظه ای بسیار سریع، بزرگ ترین ولتاژ های اینترترن در آغاز سیم پیچ ثبت می شود. به همین دلیل، تولید کننده های مبدل برای کاهش ولتاژ اینترترن در دیسک فوقانی از میان گذاری استفاده می کنند. با این حال، این روش در مبدل های نوع خشک توزیعی استفاده نمی شود.

1- ولتاژ های اینترترن طی BIL: همان طور که قبلا گفته شد، ولتاژ ها در راس دیسک اندازه گیری می شوند و ولتاژ های اینترترن محاسبه می شوند. با اندازه گیری در راس دیسک، بالاترین ولتاژ اینترترن حاصل می شود. شکل 8، نقاط اندازه گیری در دور های به ترتیب 1، 60(61)، 120(121)، 180(181)، و 240(241) را نشان می دهد. اگرچه ولتاژ در تنها یکی از دور های مجاور اندازه گیری می شد، اختلاف ولتاژ بین دور های 1 و 60 مشابه با ولتاژ اینترترن بین دور های 1 و 61 است.

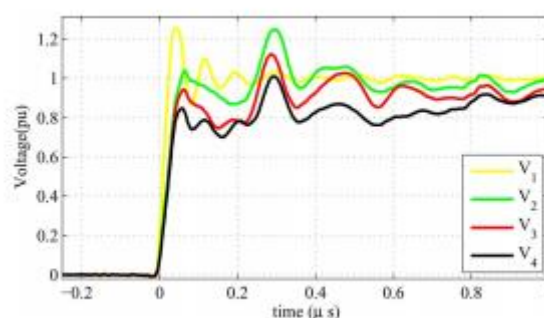
در اولین آزمایش، یک ضربه 50/1.2 میکروثانیه به اولین دور با استفاده از منبع ولتاژ با امپدانس پایین اعمال می شود. یک سطح ولتاژی 4.44-p.u به صورت مرجع در نظر گرفته می شد زیرا برابر با ماکزیمم BIL از کیر حفاظت شده توسط مبدل خشک در سطح ولتاژ 34.5-kv است. اختلاف بین این آزمایش و تست ضربه این است که دیگر انتهای سیم پیچ باز بوده و به زمین نمی خورد. با این حال، این موضوع اثر معنی داری بر ولتاژ اینترترن ندارد زیرا بزرگ ترین ولتاژ طی زمان خیز پالس صاعقه ای ثبت می شود که طی آن ولتاژ در انتهای دیسک تقریبا صفر است.



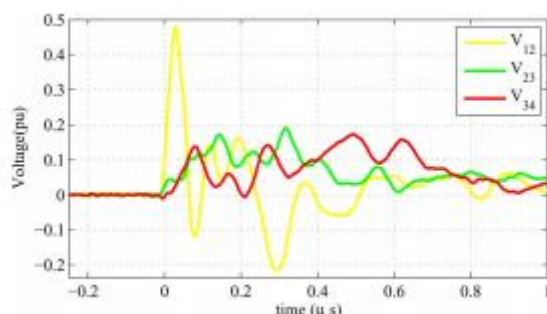
شکل 9- ولتاژ های دور در اولین دیسک طی BIL



شکل 10- ولتاژ های اینترترن در اولین دیسک طی BIL



شکل 11- ولتاژ های دور در اولین دیسک طی ولتاژ 35 نانوثانیه



شکل 12- ولتاژ های اینترترن در اولین دیسک طی ولتاژ 35 نانوثانیه

شکل 9، ولتاژ های اندازه گیری شده را در دور های بالایی نقاط اندازه گیری 1 تا 5 نشان می دهد. کاهش زمان خیزولتاژ منشر شونده به صورت پالسی در نظر گرفته می شود که درون دیسک منتشر می شود. بزرگی ولتاژ به دلیل نوسانات افزایش یافته و به سطح 4.72 p.u می رسد.

شکل مربوط به ولتاژ های اینترترن در نمودار 10 نشان داده شده است. ولتاژ های اینترترن  $V_{12}$ ،  $V_{23}$ ،  $V_{34}$  و  $V_{45}$  دارای ولتاژ های بین دور های مجاور 1-60، 61-120، 121-180، و 181-240 هستند. می توان مشاهده کرد که بیشترین ولتاژ اینترترن در شروع دیسک ایجاد نمی شود. در عوض، بزرگ ترین ولتاژ، 0.4، به

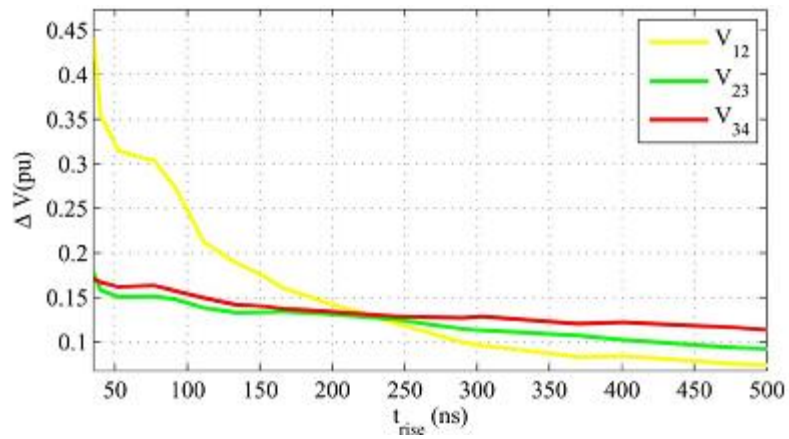
سمت نیمه دوم دیسک ایجاد می شود. این بزرگ ترین بار ولتاژ اینترترنی است که طی تست ضربه صاعقه ظاهر شده و به صورت مرجع در نظر گرفته می شود.

2-ولتاژ های اینترترن طی اتصال مبدل متصل به وای: به منظور مشاهده ولتاژ های اینترترن طی اتصال مبدل متصل به وای، یک مرحله تک ولتاژی به سیم پیچ راکتور اعمال می شود. دلیل این است که با مبدل متصل به وای، یک طرف سیم پیچ به بخش خنثی اعمال می شود. بزرگی هر مرحله به صورت  $1 \text{ p.u}$  است که مقدار پیک ولتاژ فاز به زمین است. این تست با افزایش زمان متفاوت در ولتاژ اعمال می شود. انواع عایق های مختلف اثر معنی داری بر روی خازن های مبدل ها دارند .

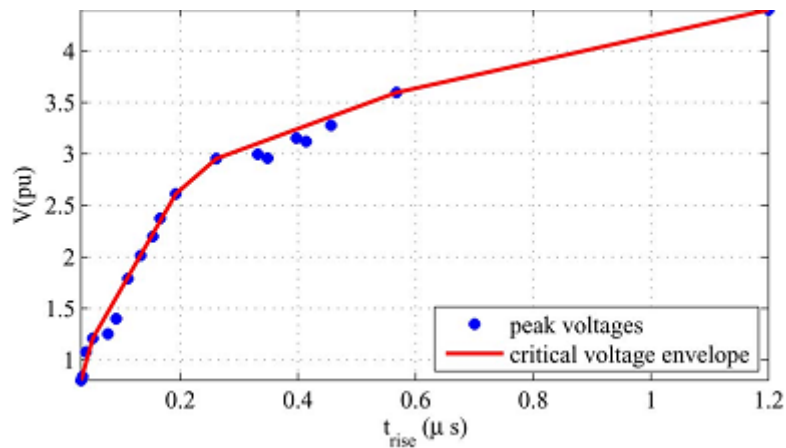
شکل 11، ولتاژ های اندازه گیری شده را در نقاط اندازه گیری 1-5 در دیسک اول نشان می دهد. به دلیل مدت زمان کوتاه افزایش زمان 35 نانوثانیه، روزنانس های درون لایه ای داخلی بر انگیزته می شوند. به علاوه، به دلیل خازن ها و اندوکنانس بین خازن که تخلیه می شود و در نقطه اندازه گیری 1، یک زنگ ولتاژ ظاهر می شود. این موجب افزایش ولتاژ پیک به  $1.2 \text{ p.u}$  در لایه نخست می شود.

فرکانس اولیه ثبت شده در کنداکتور های بالا در هر سیم پیچ بین 13.7 مگاهرتز در ابتدای دیسک تا 11.5 به طرف انتهای دیسک متغیر است. به دلیل تفاوت های ساختاری فرکانس کاهش می یابد. لایه های درونی توسط لایه های مجاور محاط می شوند در حالی که لایه خارجی دارای هوا است. در نتیجه زمان خیز در اولین رسانای لایه بیرونی دو برابر کوتاه تر از افزایش زمان ثبت شده در لایه های داخلی است. در نتیجه ولتاژ اینترترن بین لایه درونی و خارجی در مقایسه با ولتاژ های اینترترن بالاتر است که در شکل 12 نشان داده شده است. ولتاژ اینترترن  $V_{12}$  به بزرگی حدود 0.49 می رسد در حالی که ولتاژ های اینترترن به طور معنی داری پایین تر است و مقدار پیک  $0.2 \text{ p.u}$  است. ولتاژ اینترترن ثبت شده طی نیرو بخشی مبدل متصل به وای بالاتر از ولتاژ اینترترن مرجع  $0.4 \text{ p.u}$  است که طی تست BIL حاصل می شود. ولتاژ پیک بدست آمده در این ولتاژ ها در ابتدای دیسک ثبت می شود، اگرچه طی تست BIL، بیشترین ولتاژ اینترترن ثبت شده در نیمه دوم دیسک بدست می آید.

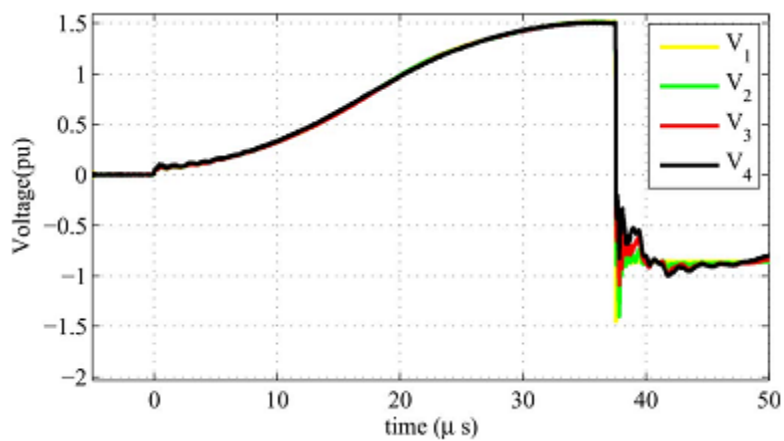
شکل 13- ولتاژ های اینترترن در دیسک نخست برای افزایش زمان



شکل 14- بزرگی ولتاژهای لحظه ای که تولید ولتاژهای اینترترن ماکزیمم به صورت تابعی از افزایش زمان ولتاژ می کنند



شکل 15- ولتاژهای دور در اولین دیسک طی 35 نانوثانیه



این اختلاف ناشی از پدیده های مختلفی است که مسئول توسعه ولتاژهای اینترترن است. در رابطه با تست BIL، ولتاژهای اینترترن ناشی از رزونانس درونی دیسک است در حالی که برای ولتاژهای لحظه ای بسیار

سریع، یک افزایش زمان کوتاه ولتاژ، موجب افزایش قدرت ولتاژ های اینترترن می شود. در نتیجه، با افزایش زمان ولتاژ های بسیار گذرا، ولتاژ اینترترن کاهش می یابد.

تست های نیرو بخشی در طیف وسیعی از زمان های خیزانجام می شوند. کند ترین مرحله ولتاژ دارای زمان خیز 500 نانو ثانیه است. این کار برای مشاهده ولتاژ های اینترترن برای مبدل های با اندازه مختلف انجام می شود. در هر تست، زمان خیز تا 50 نانو ثانیه به طور تجمعی افزایش می یابد. در هر تست، زمان خیز تا 50 نانو ثانیه افزایش می یابد. شکل 13 ولتاژ های اینترترن را در دیسک اول به صورت تابعی از زمان خیز نشان می دهد.

در شکل 13، مشاهده می شود که یک اثر قوی زمان خیز بر روی ولتاژ اینترترن وجود دارد. با این حال برای سیم پیچ تست شده، این اثر برای ولتاژ ها با زمان های خیز کوچک تر از 100 نانو ثانیه مهم است. در حدود 220 نانو ثانیه، ولتاژ های اینترترن در کل دیسک برابر هستند. این یک زمان خیز بحرانی است که در آن اثر افزایش زمان و روزنایس دسک بر روی ولتاژ های اینترترن برابر است. با افزایش زمان های خیز، بیشترین ولتاژ اینترترن به طرف انتهای دیسک به دلیل رزونانس دیسک حرکت می کند.

نتایج ارایه شده در شکل 13 را می توان برای یافتن ولتاژ بحرانی برای یک زمان خیز معین از مرحله ولتاژ استفاده کرد. به عبارت دیگر، این نتایج را می توان برای محاسبه بزرگی ولتاژ ها استفاده کرد که میزان  $0.4-p.u$  را می دهد. و این به صورت بزرگ ترین ولتاژ اینترترن در نظر گرفته می شود که مبدل  $34.5-kV$  حفاظت شده با گیر استفاده شود. ولتاژ بحرانی به صورت تابعی از زمان خیز در شکل 14 نشان داده شده است.

شکل 14 نشان می دهد که ولتاژ بحرانی به طور معنی داری زمانی افزایش می یابد که زمان خیز کاهش یابد. برای مثال، یک  $1.8-ns/100-p.u$  و یک  $1-ns/40-p.u$  تولید یک ولتاژ اینترترن با بزرگی یکسان تا  $4.4-p.u$  می کند. لازم به ذکر است که شکل این منحنی متناظر با منحنی های مقاومت ولتاژ موتور های بزرگ است که با استاندارد نشان داده می شود. مقایسه مستقیم با استاندارد ها در منابع (30-31) ارایه شده است.

3- ولتاژ های اینترترن طی اتصال به مبدل متصل به دلتا: برای تحلیل ولتاژ های اینترترن طی نیرو بخشی مبدل متصل به دلتا، دو مرحله ولتاژ به طور هم زمان به هر دو پایانه سیم پیچ اعمال می شود. بدترین سناریو زمانی انتخاب می شود که بزرگی ولتاژ ها  $0.86-p.u$  می باشد. این بزرگی متناظر با ولتاژ لاین به لاین اوج می

باشد. با این حال، به منظور افزایش و بیشینه سازی بار ولتاژ و دسترسی به بدترین سناریو، استفاده از مراحل ولتاژ با تاخیر زمانی خاص نیاز است که در بخش 2 نشان داده شده است.

طی آزمایش، مرحله مثبت  $0.86 \text{ p.u}$  در ابتدا در انتهای سیم پیچ اعمال می شود و در نتیجه، ولتاژ در سیم پیچ دیگر در فرکانس روزنانس سیم پیچ نوسان می کند و بعد از چند میکروثانیه به ماکزیمم مقدار می رسد و وقتی که ماکزیمم مقدار حاصل شد، مرحله ولتاژ منفی اعمال می شود. این در شمل های 2-3-15 نشان داده شده است.

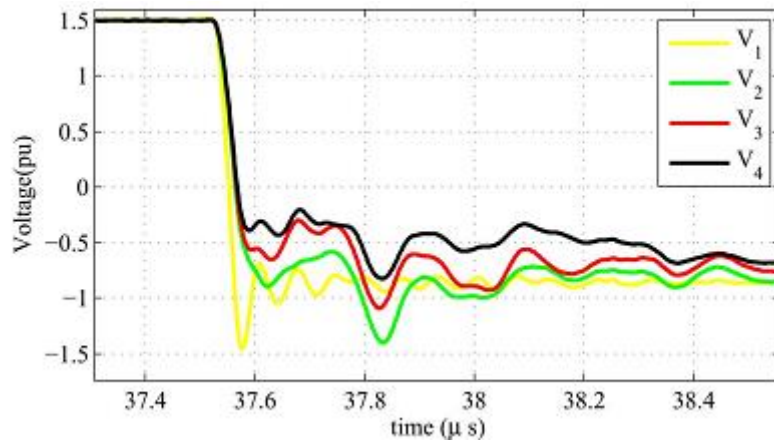
تست با زمان های افزایش یا خیز مختلف با مراحل ولتاژ منفی برای بررسی و مقایسه ولتاژ های اینترترن برای انواع مختلف عایق و مبدل های با ترانسفورمر های متعدد استفاده می شوند. مشابه با تست های با یک مرحله ولتاژ، افزایش زمان 35 نانوثانیه ای به صورت سریع ترین انتخاب می شود در حالی که زمان خیز 500 نانو ثانیه به صورت ماکزیمم زمان خیز پالس های ولتاژ در نظر گرفته می شود.

شکل 16، ولتاژ های لحظه ای سویچینگ ارایه شده در شکل 15 را نشان می دهد. چون مرحله ولتاژ منفی در زمانی که ولتاژ به  $1.5 \text{ p.u}$  می رسد اعمال شده و ولتاژ حاصله دارای بزرگی  $1.5 + 0.86 \text{ p.u} = 2.36 \text{ p.u}$  است. این تغییر سریع و  $h\nu$  تولید ولتاژ های اینترترن قوی تری نسبت به موارد با استفاده از ترانسفورمر متصل به وای می کند.

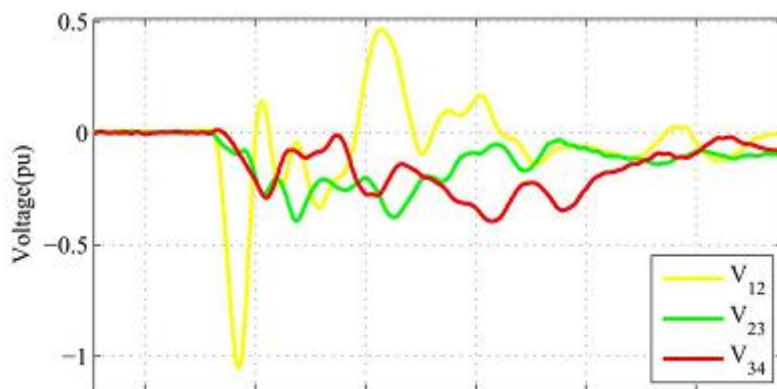
شکل 17، ولتاژ های اینترترن ثبت شده را در دیسک اول نشان می دهد. همان طور که قبلا گفته شد، به دلیل تفاوت در خواص فیزیکی لایه های خروجی و داخلی، که در آن مرز هوا در لایه خارجی قرار دارد، فرکانس های روزنانس لایه های درونی و بیرونی تفاوت معنی داری دارند.

شکل 16- ولتاژ های دور در دیسک اول طی مرحله ولتاژ 35 نانوثانیه

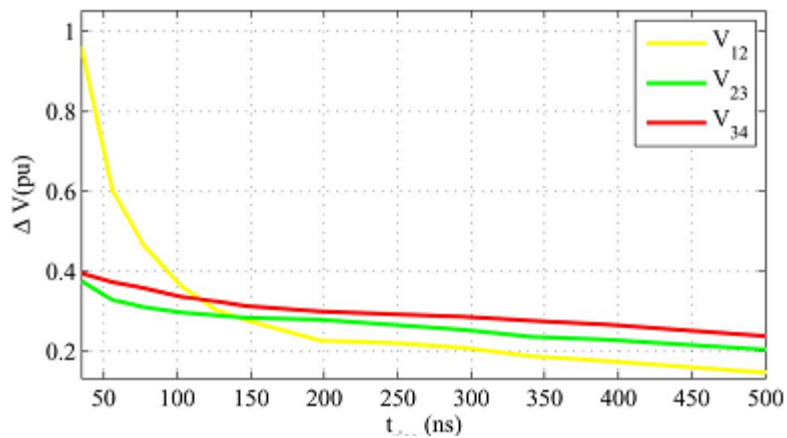




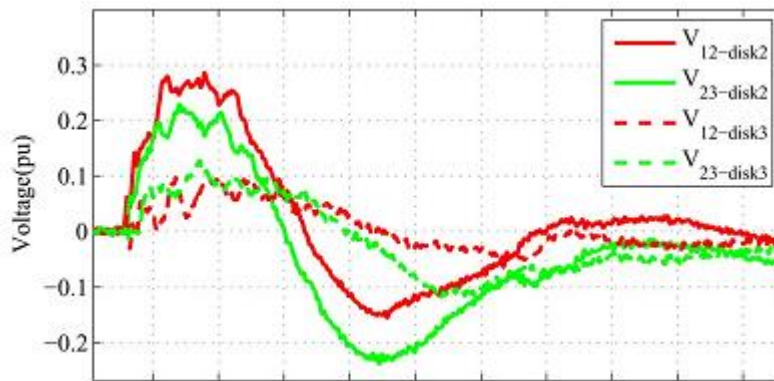
شکل 17- ولتاژ های اینترترن در دیسک اول طی مرحله ولتاژ 35 نانوثانیه



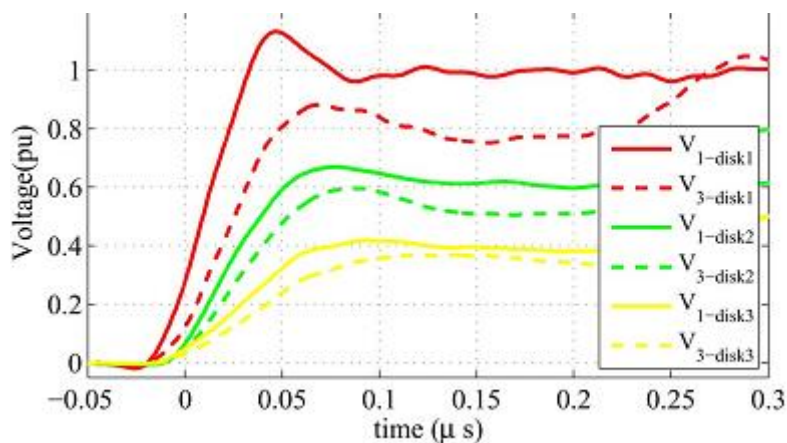
شکل 18- ولتاژ های اینترترن در دیسک اول برای زمان های خیز مختلف



شکل 19- ولتاژ های اینترترن ناشی از انتشار پالس صاعقه



شکل 20- اثر انتشار موج بر روی ولتاژ های لحظه ای بسیار سریع



برای رسیدن به خصوصیات ولتاژ های اینترترن، بیش از 10 تست انجام شده است. شکل 18 منحنی ولتاژ اینترترن را به صورت تابعی از زمان خیز نشان می دهد. لازم به ذکر است که ولتاژ اینترترن بالاتر از سطح بحرانی 0.4 p.u برای طیف وسیعی از زمان های خیز می باشد. تنها برای زمان های افزایش طولانی تر از 95 نانوثانیه، ولتاژ اینترترن به پایین تر از سطح بحرانی می رسد.

ولتاژ های اینترترن در دومین و سومین دیسک

بعد از بررسی توزیع ولتاژ و بار ولتاژ اینترترن در دیسک اول، دومین و سومین دیسک ها تحلیل می شوند. مشابه با اندازه گیری های انجام شده بر روی دیسک اول، نقاط اندازه گیری در راس دیسک ها انتخاب می شوند جایی که بالاترین ولتاژ اینترترن انتظار می رود. تشریح تقاطع اندازه گیری در شکل 8 دیده می شود.

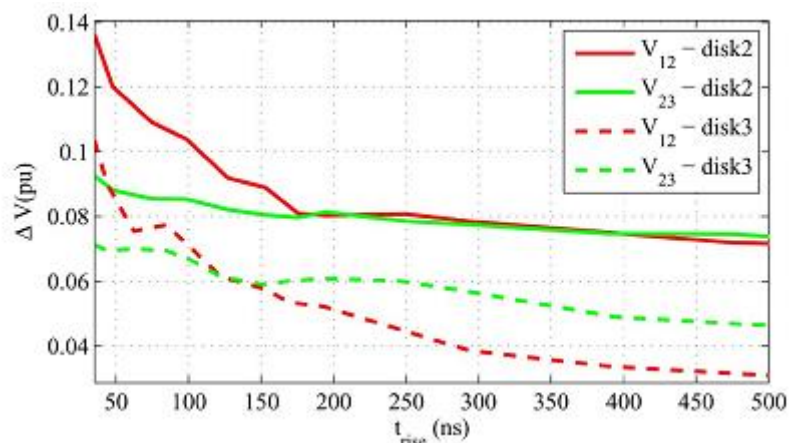
1- ولتاژ اینترترن طی bil: همان طور که در شکل 9 گفته شد، زمان افزایش ضربه ولتاژ و ولتاژ پیک، با انتشار موج ولتاژ از طریق دیسک افزایش می یابد. بر همین اساس، با انتشار موج در بقیه سیم پیچ، همین رفتار ادامه می یابد.

شکل 19، ولتاژهای اینترترن ناشی از انتشار پالس‌های صاعقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، ولتاژهای اینترترن ایجاد شده توسط ضربه صاعقه در امتداد سیم پیچ کاهش می‌یابد. در مقایسه با دیسک اول، بزرگی در دومین دیسک تا 25 درصد به  $0.3 \text{ p.u.}$  کاهش می‌یابد. در سومین دیسک، بزرگی حدود  $0.1 \text{ p.u.}$  ثبت می‌شود.

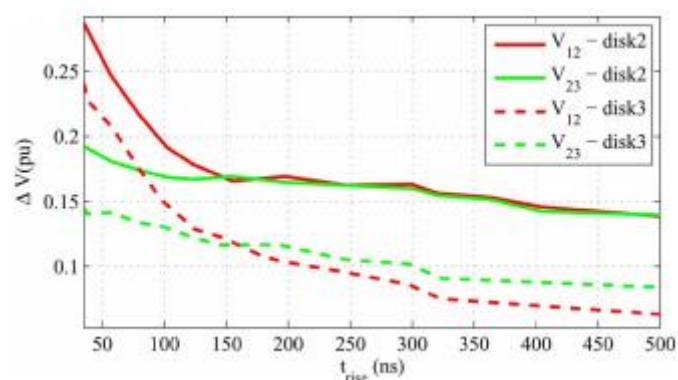
در صورتی که نوسانات ناشی از ضربه صاعقه نیروی دهی شوند، در امتدادسیم پیچ منتشر می‌شوند.

2- ولتاژهای اینترترن طی اتصال مبدل متصل به وای: انتشار ولتاژ مرحله 35 نانوثانیه در شکل 20 نشان داده شده است

کاهش مشتق ولتاژ و بزرگی امواج ولتاژ منتشر شونده مشاهده می‌شود. در دومین دیسک، ولتاژهای اینترترن تا 40 درصد کاهش می‌یابند.



شکل 21- ولتاژ اینترترن در دیسک‌های 2 و 3 طی نیروبخشی به مبدل متصل به وای



شکل 22- ولتاژ اینترترن در دیسک‌های 2 و 3 طی نیروبخشی به مبدل متصل به وای

این تفاوت معنی دار بین انتشار یک ضربه صاعقه و ولتاژهای لحظه‌ای ناشی از زمان خیز ولتاژ است. ولتاژهای بسیار سریع، به خازن‌های موازی در سیم پیچ نیرو می‌دهند. این موج از مسیر خازن‌ها و نه سیم‌ها تبعیت می‌کند. به همه دلیل همه خازن‌ها درون یک چارچوب زمانی شارژ می‌شوند و ولتاژ بر این اساس تقسیم می‌شود. وقتی سیم پیچ با پالس صاعقه شارژ می‌شود این فرایند رخ نمی‌دهد زیرا در این صورت بزرگی آن 35 برابر کم تر است.

شکل 21 ولتاژهای اینترترن را در دیسک‌های 2 و 3 به صورت تابعی از زمان خیز نشان می‌دهد. مشابه با دیسک 1، ولتاژهای اینترترن به طور سریع با افزایش زمان خیز کاهش می‌یابد. با این حال، بزرگی ولتاژهای اینترترن بسیار پایین است. در دومین دیسک، این سه برابر کم تر از ولتاژ بحرانی  $p.u. 0.4$  است در حالی که در سومین دیسک، چهار برابر کم تر است.

3- ولتاژهای اینترترن طی اتصال به مبدل متصل به دلتا: شکل 22، ولتاژهای اینترترن را در دیسک‌های 2 و 3 طی بدترین حالت نیرودهی به صورت تابعی از زمان خیز نشان می‌دهد. به دلیل بزرگی مراحل ولتاژ وقتی که مبدل متصل به دلتا نیرودهی می‌شود، ولتاژهای اینترترن ثبت شده بیش تر از دو برابر در مبدل‌های متصل به وای هساند. این به سطح ولتاژ اندازه‌گیری شده طی تست ضربه صاعقه می‌رسد. با این حال، بزرگی، کم تر از سطح بحرانی ثبت شده در اولین دیسک است.

## 5- نتیجه گیری

تست‌های ولتاژ نشان داد که ولتاژهای لحظه‌ای بسیار سریع در سطح ولتاژ طبقه بندی شده می‌توانند تولید ولتاژهای اینترترن کنند که مازاد بر  $bil$  مبدل‌های نوع خشک حفاظت شده با یک گیر است. در حالی که برای سطح ولتاژ  $34.5\text{-}kV$ ، مقدار  $BIL$  با حفاظت گیر حدود  $4.44$  و  $p.u. 5.33$  به ازای  $BIL$  استاندارد است. به عنوان یک مرجع  $BIL$ ،  $p.u. BIL-4.44$  انتخاب می‌شود زیرا دارای کم ترین بزرگی در هر واحد است. حال برای سیم پیچ تست شده، این اثر برای ولتاژها با زمان‌های خیز کوچک تر از  $100$  نانو ثانیه مهم است. در حدود  $220$  نانو ثانیه، ولتاژهای اینترترن در کل دیسک برابر هستند. این یک زمان خیز بحرانی است که در آن اثر افزایش زمان و روزناییس دسک بر روی ولتاژهای اینترترن برابر است.

به منظور توجیه احتمال داشتن بار ولتاژ اینترترن مبدل های متصل به دلتا، BIL باید افزایش یابد. نادیده گرفتن اثر فرکانس ولتاژ های اینترترن بر روی فشار و بار عایق نشان می دهد که BIL ترانسفورمر های توزیع 34.5- kV نوع خشک باید تا 25 درصد برای توجیه این سناریو افزایش یابد. این خود مازاد بر سطوح اختیاری بالاتر ارایه شده توسط استاندارد ها(17) تا حدود 55 درصد است.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی