

به سازی ی برای مکان : در ترانسفورماتور قدرت بر پایه دریافت سیگنال

از آنتن ی فرایه ن باند

بن کریم پیرزاد ، هم السادات اخوان حجازی ، ی ی نادری ، گئورگ قره پتیان و

دانشکده مهندس برق، دانشگاه صنعت امیر کبیر، تهران، ایران

دانشکده مهندس برق، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

پژوهشکده بهره برداری و ایمن شبکه، دانشگاه صنعت امیر کبیر، تهران، ایران

واژه ای کل ی: آنتن UWB، نرم افزار CST، مکان ؛ روش TDOA

چکیده

مکان یابی محل دقیق عیب با توجه به قیمت ترانسفورماتور و مشکلات تعمیر و نگهداری از آن اهمیت دو چندان می . استفاده از امواج فرایه ن باند (UWB Ultra Wide Band) یک روش جدید برای مکان یابی تخلیه جزئی در ترانسفورماتورهای قدرت است که بر اساس قرار گرفتن آنتن ها به صورت لوزی شکل انجام می شود. اولین گام به منظور یافتن محل عیب در ترانسفورماتور واقعی، ایجاد یک محیط شبیه سازی مناسب است قبل از آزمایشات عملی بتوان تحلیل بهتری از این آزمایشات بدست آورد. بدین منظور در این مقاله یک ترانسفورماتور قدرت در نرم افزار CST شبیه سازی سه بعدی شده و محل عیب با استفاده از روش TDOA (Time Difference Of Arrival) مکان یابی شده است. نتایج نشان می دهد که این نرم افزار برای تعیین محل عیب با استفاده از آنتن های UWB و روش TDOA

قدرت م تواند هز؛ ای گزارف را برای شبکه برق داشته باش
تور؛ ترانسفورماتور و نگهداری و تعمیر
آن اهمیت زیادی برای شر؛ ای اول؛ دارد [-] .
ی یک ترانسفورماتور قدرت یکم از مهمتر؛
برای عملکرد مطمئن این واحد در شبکه است. بف بودن س
ی ممکن است منجر به زمب سازی خروج ترانسفورماتور
از خطاهای خارج بر حالت گذرای کلیدزن ها، برخورد
صاعقه و اتصال کوتاه . از این رو برای عملکرد مطمئن و
اقتصادی، دست ؛ دقیق به اطلاعات وضع.
اهم [] . بانگر آن است که تخل؛
PD (Partial Discharge) یکم از مهمتر؛ ای
است [-] . اگر خرابی ای از تخل؛ در
زمان، ای اول؛ بص داده شود م توان برای برات پ برانه
اقدام مناسب کرد اما به دلیل ساختار پ بده ترانسفورماتور، ای
قدرت؛ بص محل دق؛ به صورت بر خط ؛ بار دشوار
بوده و یکم از مشکلات شبکه، ای قدرت است [-] .
امروزه روشهای الکتربکم و مخابراتم برای
PD ارائه شده است [-] . در روشهای الکتربکم

به دلیل ساختار متفاوت ترانسفورماتور، و ؛ بده بودن ؛
مشخصات مورد نظر از سب ترانسفورماتور؛ این هدف با
مشکلات زیادی روبروست.

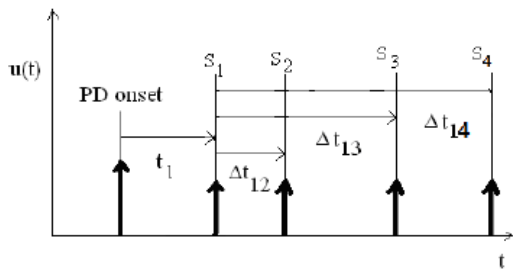
ترانسفورماتور، ای قدرت در سیستم انتقال و توزیع برق نقش
اساس ؛ اکتند و بت اطمینان آنها بر روی عملکرد اقتصادی
و قابلیت اطمینان شبکه تاثیر زیادی دارد. تلفات ترانسفورماتور، ای

استفاده از امواج راد؛ برای به صورت یک اصل و قانون معتبر در استاندارد بین المللی اندازه گیری بج داده شده است [-]. مکان ؛ استفاده از ، بگنال ای الکترومغناطی منتشر شده از منبع تخلی. و دقت بالای آن، در سال، ای اخج بک از زم ای مورد علاقه محققین در مونیور؛ ترانسفورماتور شده است. شکل موج ناشی از سیگنال، ای در حوزه زمان حاوی اطلاعات مفی، ی از نوع و محل در قطعات بخصوص ترانسفورماتور، ای قدرت است. با استفاده از آنتن، ای (UWB Ultra Wide Band) امکان دست؛ به شکل موج پالس تخلی در حوزه زمان فراهم م میشود [-].

از لحاظ عملی در سطح جهان کارهای زیادی برای مکان؛ بب با آنتن، ای UWB انجام شده است [-] اما به دل اینک قبل از آزمایشات عملی دیدگاه کاملی از شرا؛ بامده است. و اعداد متفاوتی برای بب رویرو شده است. این خطاها را م میتوان با یک شبیه سازی مناسب قبل از انجام آز، با بدست آوردن چگونگی آنتن، کاهش داد. بن دل؛ ارائه یک شبیه سازی مناسب امری مهم و مورد نیاز به حساب م آ؛ .

در ای یک ترانسفورماتور قدرت و جریان تخلی بش موج و پس موج، ای متفاوت به صورت سه بعدی 4 سازی شده و محل عیب با استفاده از سیگنال، ای منتشره محاسبه میشود. در این راستا، ابتدا روش TDOA (Time Difference Of Arrival) که یک روش معمول برای بگنال، ای رسیده به آنتن، بج داده خواهد شد. الکترومغناطی از سیگنال تخلی و تعین مشخصات نمونه مورد مطالعه، نتا؛ سازی، بش داده ، میشود. بج بدست آمده، نرم افزار CST (Computer Systems Technology) برای 4 سازی و مکان ؛ در سب ترانسفورماتور با استفاده از آنتن، ای UWB بار مفی و م میتوان در آینده برای کردن set up آنتن-ها بدون نیاز به آزما؛ مورد استفاده قرار داد.

که در یک نقطه، پالس جری؛ از تخلی ایجاد م میشود، بر اثر این شارش بار، سیگنال الکترومغناطی در بط اطراف پراکنده م میشود. این انتشار از معادلات ماکسول تبعی کند. بگنال، ای UWB منتشر شده را م میتوان با استفاده از آنتن، که در تانک ترانسفورماتور گذاشته شده است در؛ کرد. زمان انتشار سیگنال از منبع تخلی به آنتن-ها را نم میتوان بص داد اما اختلاف زمانم بگنال رسیده به یک جفت آنتن کمک م کند تا با یک معادله ها؛ بک بتوان محل عیب را بر به روش TDOA بص داد. با وجود چهار آنتن، سه معادله بک تشکی میشود که در یک نقطه تقاطع دارند. ای تفاوت زمانها برای یک سیگنال، در شکل بصورت شماتیک برای چهار آنتن نمایش داده شده است.



شکل : بش تفاوت زمان، ای رسیدن سیگنال از محل عیب به آنتن،

در روش TDOA معادلات بک به صورت زیر است [-]:

$$(c * t_1)^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \quad ()$$

$$(c * (t_1 + \Delta t_{12}))^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \quad ()$$

$$(c * (t_1 + \Delta t_{13}))^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \quad ()$$

$$(c * (t_1 + \Delta t_{14}))^2 = (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 \quad ()$$

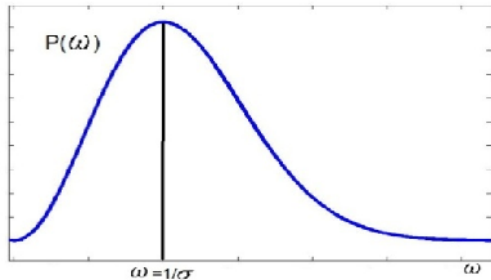
در این معادله c بانگر سرعت نور در محیط و Δt_{12} و Δt_{14} بانگر اختلاف زمانم بگنال رسیده از محل عیب به آنتن اول نسبت به سیگنال رسیده به آنتن، ای ی.

مکان، ای آنتن-ها که با S_1 S_2 S_3 و S_4 بب به صورت (x_1, y_1, z_1) (x_2, y_2, z_2) (x_3, y_3, z_3) و (x_4, y_4, z_4) بش داده م . مکان عیب در ابتدا به صورت نامشخص است و به صورت (x, y, z) بش داده م میشود و سیگنال با زمان t_1 نامشخص به اولین آنتن م رسد.

گنگال الکترومغناطی در

نمودار طیف فرکانس $P(\omega)$ در شکل نشان داده شده است. از () و شکل شود که بی بین مقدار $P(\omega)$ در $\omega = \frac{1}{\sigma}$ رخ می دهد. بنابراین ای از

بی آنالیز فرکانس گنگال الکترومغناطی از تخیل بن زده می شود.



شکل ۱: نمودار طیف فرکانس گنگال

نمونه مورد مطالعه

بدان ای الکترومغناطی براساس معادلات ماکسول انجام می شود. به این منظور، نرم افزار CST مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم افزار قابل بدان ای الکترومغناطی گذرا در دو حالت زمان و فرکانس با تکنیک انتگرال ای محدود را دارد. این تکنیک، فضای مورد مطالعه را به نواح کوچک تقسیم کرده و با مشی مناسب معادلات را حل می [] .

همانطور که بیان شد، استفاده از آنتن ای UWB یک روش برای بتورینگ بر خط ترانسفورماتور می . اما به دل محدودی ای سخت افزاری و نرم افزاری، به سازی یک ترانسفورماتور قدرت با اندازه ای واقع آن امکان در . بجه اندازه ای مدل را در ، ضرب می شود. مشخصات ترانسفورماتور مورد استفاده در [] مقاله از [] استخراج شده و در جدول ارائه شده است. به منظور ساده سازی مدل، تعداد لا؛ ، تعداد کو؛ و فاصله بین کو؛ متر در نظر گرفته شده است.

شکل ۱ ای کلب هسته و شکل ۲ ای

ترانسفورماتور را در نرم افزار CST نشان می دهد.

روغن یک از عوامل تاثیرگذار در تشخ

با استفاده از امواج الکترومغناطی است [] . در روغن و کاغذ آغشته به روغن، پاسخ مواد به میدان ای خارج، برخلاف پاسخ در به فرکانس میدان اعمال دارد. این وابستگی به فرکانس این واقعبت را دارد که پاسخ مواد قطعی بدان بکسان ن .

بن دلیل ثابت دی الکتربک مواد به صورت یک تابع مختلط از فرکانس میدان اعمال ω بدان می $(\epsilon \rightarrow \epsilon(\omega))$.

آزمایشات عملی و تخیل ای تئوری بانگر آن است که جریان دارای زمان اوج (rise time) بار سر؛ صورت زیر مدل کرد [-] :

$$i(t) = I_0 \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}\right] \quad ()$$

که در معادله فوق I_0 : دامنه جریان، t_0 : زمان اولیه و σ : پارامتر مشخصه شکل موج است که پهنای پالس در نصف مقدار ماکز؛ بان (Pulse Width at Half Maximum) PWHM را تع .

پارامتر PWHM برای

برابر 2.36σ باشد که بیانگر رابطه نزدیک بین قدرت

و شکل هندس شکاف تخیل (PD gap)

عموماً ب کمتر باشد، شیب شکل موج

و زمان اوج کمتر می شود. در نتیجه پارامتر مشخصه σ کوچکتر می شود [] . از این رو، برای درک بیشتر وضع

ایجاد شده، پارامتر مشخصه σ در شکل موج جریان کمک زیادی می کند.

بل فوریبه از () بتوان معادله حالت فرکانس

بان تخیل را بدست آورد:

$$I(j\omega) = \sqrt{2\pi} I_0 \sigma \exp\left[-\frac{\sigma^2 \omega^2}{2}\right] \exp(-j\omega t_0) \quad ()$$

که در این معادله ω : زاویه فرکانس . بان پالس

را می توان به صورت یک سری

. گنگال الکترومغناطی منتشر شده را می توان با یک آنتن

دایپل (dipole) مدل سازی کرد که برحسب قطر هندس ای

طول این آنتن (l) می شود. بان متغیر با زمان

مربوطه را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$I = I(j\omega) \cos \omega t \quad ()$$

دامنه میدان منتشر شده در نقاط دور (far field)

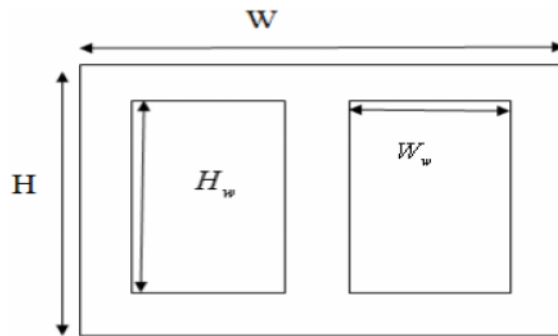
تئوری آنتن ها به صورت زیر است:

$$e_k \propto I_0 \omega \sigma \exp\left(-\frac{\sigma^2 \omega^2}{2}\right) \quad ()$$

بف فرکانس گنگال منتشر شده با رابطه زیر

ارتباط دارد:

$$p(\omega) \propto \left(\frac{I_0 \omega \sigma l}{c}\right)^2 \exp(-\sigma^2 \omega^2) \quad ()$$



شکل: ای کلم ترانسفورماتور

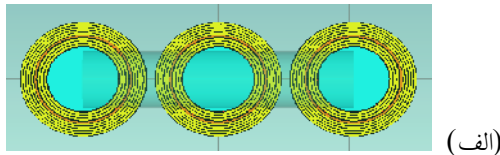
این نکته، پاسخ مواد به میدان ای بر، با ثابت دی الکتریک بان م، میشود. به طور معمول قسمت حق و موهوم این ثابت را مجزا و به صورت ز، دهند:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) + j\varepsilon''(\omega) \quad ()$$

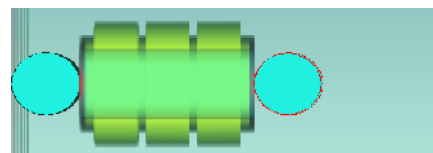
که در آن ε'' ثابت دی الکتریک است که مرتبط با تلفات انرژی در ماده م باشد و ε' ثابت دی الکتریک است که مرتبط با انرژی ذخیره شده در ماده است.

جدول: مشخصات ترانسفورماتور مورد استفاده در شبیه سازی

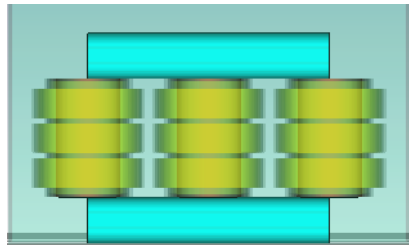
تعداد فازها	استر
جنس بدنه تانک	استر
	mm
ارتفاع داخلی پنجره (H_w)	mm
عرض داخلی پنجره (W_w)	mm
ارتفاع خارج پنجره (H)	mm
عرض خارج پنجره (W)	mm
وک	mm
ارتفاع تانک	mm
عرض تانک	mm
طول تانک	mm
کاغذ آغشته به روغن ای H.V. و L.V. و بی ای H.V.	ماده عاب
	mm
عرض عاب ای H.V. و L.V.	عرض عاب
	mm
عرض داکت بی ای H.V. و L.V.	عرض داکت بی
	mm
ارتفاع H.V.	ارتفاع
	mm
قطر خارج H.V.	قطر خارج
	mm
قطر داخل H.V.	قطر داخل
	mm
بن کو	بن کو
	mm
عرض عاب ای H.V.	عرض عاب
	mm
تعداد کو ای H.V.	تعداد کو ای
	mm
تعداد ای H.V.	تعداد ای
	mm
ارتفاع L.V.	ارتفاع
	mm
خارج L.V.	خارج
	mm
قطر داخل L.V.	قطر داخل
	mm
ماده عاب ای L.V.	ماده عاب
	mm
عرض ای L.V.	عرض
	mm
ماده عاب L.V. و هسته	ماده عاب
	mm
عرض L.V. و هسته	عرض
	mm



(الف)



(ب)



(ج)

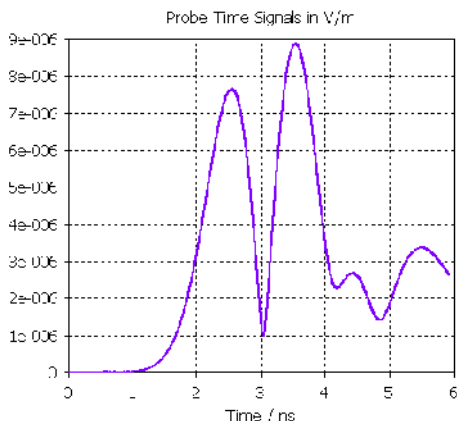
شکل: ترانسفورماتور به سازی شده در CST از نمای: (الف) x-y (ب) y-z (ج) x-z

ثابت دی الکتریک روغن و کاغذ آغشته به روغن در شبیه سازی مورد مطالعه با اندازه گی مشخصات روغن ترانسفورماتور واقع بدست آمده و به ترتیب در جدول و آورده شده است [].

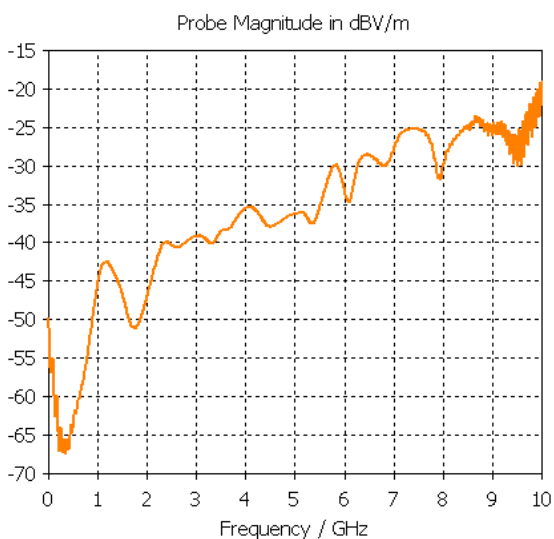
- نتایج شبیه سازی

برای به سازی بان تخلی در نرم افزار CST یک پورت گسسته (discrete port) به عنوان منبع تخلی دامنه ای آمپر [] استفاده شده است. بر در زمان اوج بان تخلی بر در فرکانس ای موجود در سیگنال منتشر شده از محل عا میشود. هر چه زمان اوج کمتر باشد فرکانس ای ای از طریق آنتن دریافت خواهد شد. برای نشان دادن تا زمان اوج به سازی در نمونه انجام شده است که

مسیر مستقیم بین پورت تخلیه جزئی و این پروبها علاوه بر این که طولانیترین مسیر است، از مواد مختلفی عبور می کند که باعث بزرگتر شدن خطا می شود.



شکل ۱ : گنال دریافت شده در پروب



شکل ۲ : شکل موج رسیده به پروب در حوزه فرکانس (زمان اوج برابر ۰ ns)

شکل ۱ یک نمونه از سیگنال رسیده شده به پروب را در حوزه فرکانس (در زمان اوج t_0 برای فرکانس، ای $\frac{dB}{m}$ دهد.

ی -

,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,
,	,	,	,

جدول ۱ : به سازی

زمان اوج (ns)	اختلاف زمان (ns)			ای مکان ع مکان واقع (mm)			
	Δt_{12}	Δt_{13}	Δt_{14}				
,	,	,	,	-	-	,	,
,	,	,	,	-	-	,	,
,	,	,	,	-	,	,	,
,	,	,	,	-	,	,	,
,	,	,	,	-	,	,	,

یک نمونه شکل موج دریافت شده توسط یکی از آنتن ها در شکل ۱ نشان داده شده است.
از جدول ۱ توان دریافت که افزایش زمان اوج سیگنال منجر به کاهش باند فرکانسی در پورت سیگنال شده و در نتیجه بر اثر پراکندگی موج، سیگنال منتشر شده با زمان بیشتری به پروب می رسد. آنتن های S3 و S4 به دلیل اینکه نسبت به پورت دارای تقارن باشند نتایج آنها یکسان است. بر طبق نتایج نشان داده شده در جدول ۱ بدترین جوابها نیز مربوط به این دو آنتن می باشد. زیرا

- Transactions on, Vol. 26, Issue 3, pp. 2064 - 2065, 2011.
- [8] V. Jeyabalan, S. Usa, "Frequency domain correlation technique for PD location in transformer winding", Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, Vol. 16, Issue 4, pp. 1160-1167, 2009.
- [9] S. Markalous, S. Tenbohlen, K. Feser, "Detection and location of partial discharges in power transformers using acoustic and electromagnetic signals", Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, Vol. 15, Issue 6, pp. 1576-1583, 2008.
- [10] J. Tang, Y. Xie, "Partial discharge location based on time difference of energy accumulation curve of multiple signals", Electric Power Applications, IET, Vol. 5, Issue 1, pp. 175-180, 2011.
- [11] S. A. Ashraf, B. G. Stewart, Ch. Zhou, D. Hepburn, J. M. Jahabar, "Numerical Simulation of Partial Discharge Acoustic signals", High Voltage Engineering and Application, ICHVE, International Conference on, pp. 577-579, 2008.
- [12] S. Tenbohlen, A. Pfeffer, S. Coenen, "On-site experiences with multi-terminal IEC PD measurements, UHF PD measurements and acoustic PD localization", Electrical Insulation (ISEI), Conference Record of the IEEE International Symposium on, pp. 1-5, 2010.
- [13] X. Song, Ch. Zhou, D. M. Hepburn, "An Algorithm for Identifying the Arrival Time of PD Pulses for PD Source Location", Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP, Annual Report Conference on, pp. 379-382, 2008.
- [14] CIGRE TF15/33.03.05. Partial discharge system for GIS: Sensitivity verification for the UHF method and the acoustic method.
- [15] Y. Bo; Ch. Xiaolin; S. Xiang; H. Xie, "Study on the aging condition of stator bar based on Ultra-wideband PD detection technique", Properties and Applications of Dielectric Materials, Proceedings of the 7th International Conference on, Vol. 1, pp. 220- 223, 2003.
- [16] S. Jiancheng; X. Hengkun; Ch. Yonghong, "Study on UWB frequency characteristics of partial discharge as a criterion of aging degree of stator winding insulation", Properties and Applications of Dielectric Materials, Proceedings of the 6th International Conference on, vol.1, pp. 181 - 184, 2000.
- [17] Ch. Wenzhi, T. Zhiguo, L. Chengrong, Zh. Shusheng, W. Hao, W. Caixiong, L. Ru, Sh. Kang, "Development and application of data analysis software for transformers PD UWB RF location", Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), Annual Report Conference on, 2010, pp. 1-4.

در این مقاله روش شبیه سازی
ی یک ترانسفورماتور
قدرت برای
بص مکان ع
با استفاده از
روش TDOA
با منبع تخلی
با زمان اوج
مقاومت شبیه سازی و در هر مورد با روش TDOA مکان ع
ن زده شد.
بج بدست آمده با مکان واقع
بسه و
ای هر مورد به تفکیک محاسبات لازم انجام گرفت.
ج نشان
داد که این روش شبیه سازی
تواند برای
ن مکان برای
آنها به منظور تشخیص مکان ع
ای کمتر به منظور
آزما
ترانسفورماتور واقع
بدون نیاز به آزما

- راجع

- [1] M. Faifer, R. Ottoboni, S. Toscani, "A measurement system for the on-line diagnostics of power transformer bushings", Applied Measurements for Power Systems (AMPS), IEEE International Workshop on, pp. 80 - 84, 2011.
- [2] H. Duan, L. Dejun, "Application of improved Elman neural network based on fuzzy input for fault diagnosis in oil-filled power transformers", Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), International Conference on, pp. 28 - 31, 2011.
- [3] P. Kang, D. Birtwhistle, "Condition monitoring of power transformer on-load tap-changers. II. Detection of ageing from vibration signatures", Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings, Vol. 148, Issue 4, pp. 307 - 311, 2001.
- [4] B. H. Ward, S. A. Lindgren, "Survey of developments in insulation monitoring of power transformers", IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 17, Issue 3, pp. 16-23, 2001 (Pubitemid 32609249).
- [5] G. C. Stone, "Practical techniques for measuring partial discharge in operating equipment", IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 7, Issue 4, pp. 9-19, 1991.
- [6] V. Jeyabalan, "Coherent Phase Detection Technique for Location of Partial Discharge in Transformer Windings", Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol. 26, Issue 4, pp. 2885 - 2886, 2011.
- [7] V. Jeyabalan, U. Usa, "Statistical Techniques for Partial-Discharge Location in Transformer Windings", Power Delivery, IEEE

- [18] O. El Mountassir, B. G. Stewart, S. G. McMeekin, A. Ahmadinia, "Effect of sampling rate on the location accuracy of measurements from radiated RF partial discharges signals", Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2012 11th International Conference on, 2012, pp. 891 - 896.
- [19] L. Zhou; W. Li, "Characteristic Estimation of Partial Discharge from Its Radiating Signal", Information, Communications and Signal Processing, Fifth International Conference on, pp. 757- 760, 2005.
- [20] R. Sarathi, A. V. Giridhar, A. Mani and K. Sethupathi, "Investigation of Partial Discharge Activity of Conducting Particles in Liquid Nitrogen under DC voltages using UHF Technique", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 15, No. 3; June 2008.
- [21] L. Zhou; W. Li; Sh. Su, "The deduction of partial discharge pulse current from its radiating UHF signal", The 7th International Power Engineering Conference (IPEC), pp. 1-193, 2005.
- [22] D. Denissov, W. Köhler, S. Tenbohlen¹, R. Grund, T. Klein, "OPTIMIZATION OF UHF SENSOR GEOMETRY FOR ON-LINE PARTIAL DISCHARGE DETECTION IN CABLE TERMINATIONS", Proceedings of the 16th International Symposium on High Voltage Engineering, 2009 SAIEE, ISBN 978-0-620-44584-9.
- [23] A. k. SAWHNEY, "Principles of Electrical Machines Design" Published by J.C, Fifth Edition in 1984.

[۲۴] م. اخوان حجازی، گ. قره پتیان، ع. محمدی "اثر روغن بر مانتورینگ سیم پیچ ترانسفورماتور به کمک امواج الکترومغناطیسی PSC2006"، آبان ماه، تهران، ایران.

[] م. اخوان حجازی، گ. قره پتیان،

محوری و شعاعی سیم پیچ ترانسفورماتور بر مبنای مدلسازی الکترومغناطیسی و اندازه گیری، رساله دکتری مهندسی برق - قدرت، شهریور، تهران، ایران.