

# افزایش قابلیت جذب انرژی ورستورهای اکسید روی با تغییر جهت زینترینگ

فهیمة سادات عابدسعیدی

شرکت برقگیر توس  
faabedsaeedi@yahoo.com

احسان کوشا

شرکت برقگیر توس  
ehsankoosha@ymail.com

## چکیده

ورستورهای اکسید روی سرامیک‌های نیمه رسانا می‌باشند که دارای خصوصیات الکتریکی غیرخطی هستند که ناشی از مرز دانه‌ها و ریز ساختار ورستوری آنها است. در این مقاله به مطالعه تأثیر جهت زینترینگ ورستورهای اکسید روی بر روی خواص الکتریکی آنها می‌پردازیم. تغییر جهت زینترینگ منجر به تغییر حفره‌های داخلی و غلظت دهنده‌ها در مرز دانه می‌گردد که موجب بهبود خواص الکتریکی و مکانیکی ورستور اکسید روی در قسمت تحتانی آن می‌شود.

قابلیت اطمینان عملکرد ورستورهای اکسید روی به شدت وابسته به قابلیت جذب انرژی ورستور می‌باشد. با تغییر جهت زینترینگ ورستور، قابلیت جذب انرژی آنها به شدت افزایش می‌یابد. پس از اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مشاهده می‌گردد بهترین مشخصات الکتریکی ورستور، مربوط به ورستورهایی با جهت زینترینگ افقی است؛ چراکه ورستور در این حالت به هنگام زینترینگ، کمترین سطح تماس را با تکه‌دارنده خود دارد.

کلمات کلیدی: ورستور اکسید روی، قابلیت جذب انرژی، ساگار، جهت زینترینگ

## 1. مقدمه

ورستورها سرامیک‌های نیمه رسانا هستند که می‌توانند خطوط برق را در برابر افزایش ولتاژ محافظت نمایند. ورستورها دارای یک مشخصه غیر خطی ولتاژ-جریان می‌باشند که می‌توان توسط رابطه زیر نشان داد:

$$I = (V/C)^\alpha \quad (1)$$

$V$  ولتاژ اعمالی،  $I$  جریان،  $C$  ثابت مربوط به مقاومت غیر خطی و  $\alpha$  توان مشخصه است [1]. معروف‌ترین ورستورها، ورستورهای اکسید فلزی (MOV) هستند که به عنوان ورستورهای ZnO شناخته می‌شوند. اهمیت این ورستورها به دلیل مشخصه الکتریکی غیر خطی و توانایی جذب بالای انرژی آنها است [2]. ترکیب عمومی ورستورهای پایه ZnO، شامل ZnO و چند درصد مولی از دیگر اکسیدهای افزودنی مانند  $Bi_2O_3$ ،  $Sb_2O_3$ ،  $Co_3O_4$ ،  $Cr_2O_3$  و MgO می‌باشد. این اکسیدهای فلزی به علت جریان نشستی کم و ضریب غیر خطی عالی در سیستم‌های الکترونیکی و خطوط برق مانند تجهیزات حفاظت صاعقه استفاده می‌شوند.

در عمل، ورستور اتصالی بین نیروی صاعقه و زمین می‌باشد. به هنگام افزایش جریان الکتریکی، اضافه جریان از ورستور عبور کرده و در نتیجه موجب محدود شدن ولتاژ خطوط می‌شود؛ بنابراین، با کنترل خصوصیات ورستور می‌توان مشخصات حفاظتی مورد نیاز را بهینه کرد [3]. این ورستورها از دانه‌های اکسید روی به عنوان زمینه و دیگر اکسیدها به عنوان ذرات

تشکیل می‌شوند. مرز دانه های ZnO ضخامتی در حدود چند نانومتر دارد. وریستورها از اکسیدهای فلزی نظیر ZnO،  $b_2O_3$ ،  $Bi_2O_3$  و  $Sb_2O_3$ ،  $CO_3O_4$  تشکیل می‌شوند [4-6].

مشخصات یک وریستور عالی با میزان  $\alpha$  بالای آن در ناحیه غیر اهمی، تغییرات شدید در رفتار الکتریکی از ناحیه خطی به ناحیه غیر خطی و دارا بودن مقاومت به نشتی بالا در ناحیه قبل از شکست شناخته می‌شود. وریستورها می‌توانند در میدان‌های AC و DC در یک محدوده وسیع ولتاژ از چند ولت تا ده‌ها کیلو ولت، و در یک محدوده وسیع از جریان، از چند میکرو آمپر تا چند کیلو آمپر مورد استفاده قرار گیرند. وریستورها دارای قابلیت جذب انرژی بالا تا هزاران ژول می‌باشند [7]. خواص الکتریکی وریستور با تغییر جهت زینترینگ آن، به شدت تغییر می‌یابد [3]. در این مقاله به بررسی ساخت وریستوری با افزایش قابلیت جذب انرژی با تغییر جهت زینترینگ آن پرداختیم

## 2. روش انجام آزمایش

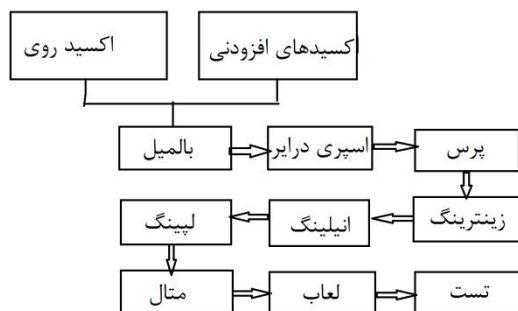
### 2-1. آماده سازی وریستور

جهت بررسی خواص وریستور، نمونه های آزمایشگاهی با ترکیب شیمیایی مشهور Matsuka آماده شدند [7]. ترکیب شیمیایی به کار رفته در وریستورها بر حسب درصد مولی در جدول 1 نشان داده شده است. بدین جهت این ترکیب مورد استفاده قرار گرفت تا بتوان نتایج بدست آمده را با تحقیقات بسیاری که بر روی این ترکیب صورت گرفته مقایسه کرد و در نتیجه اثر دمای زینترینگ را که مدنظر است به تنهایی مورد بررسی قرار داد.

جدول 1- ترکیب شیمیایی مورد استفاده در ساخت وریستور (بر حسب درصد مولی)

مواد	ZnO	$Sb_2O_3$	$Bi_2O_3$	MnO	$Cr_2O_3$	$Co_3O_4$
ترکیب	97	1	0.5	0.5	0.5	0.5

دو غاب با افزودن آب مقطر، بایندر آلی و مواد پراکنده ساز به مخلوط اولیه پودرهای خشک، در درون آسیاب گلوله ای تهیه گردید. دو غاب پس از اسپری شدن و گرانوله شدن، توسط دستگاه پرس هیدرولیک به شکل دیسک و به قطر و ضخامت 41 میلی متر، پرس گردید. عملیات آسیاب کردن، تهیه گرانول و پرس نمودن پودرها به گونه ای انجام می‌شود که از حضور آلودگی‌ها در گرانول که می‌توانند موجب خلل در خواص وریستور گردند، جلوگیری به عمل آید. سپس این وریستورهای خام توسط کوره زینترینگ با منحنی دمایی خاص زینتر می‌گردند. براساس تغییر جهت زینترینگ و تغییر نسبت سطح به حجم آن نمونه‌ها ساخته شدند. پس از اعمال پوشش لعاب بر روی قرص‌های زینتر شده، سطوح آن‌ها الکتروود گذاری گردید. دیاگرام فرآیند تولید وریستور در شکل 1 نشان داده شده است.



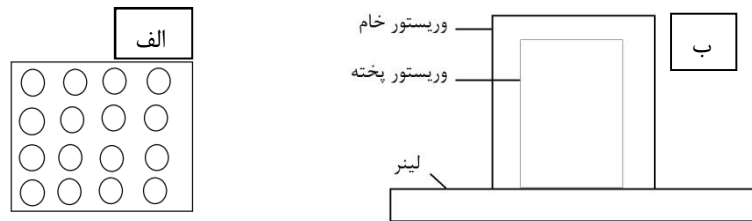
شکل 1. دیاگرام فرآیند تولید وریستور

## 1-2. آماده سازی نمونه‌های آزمایشی

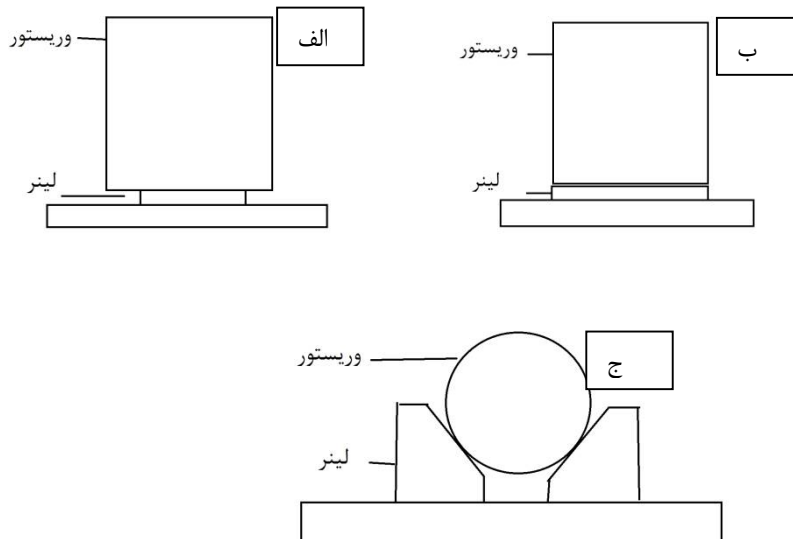
جهت بررسی تأثیر جهت‌های مختلف زینترینگ وریستور، از جهت‌های نشان داده شده در شکل 2 استفاده شد. شکل 2-الف موقعیت وریستورهای قرار داده شده در ساگار را نشان می‌دهد. در شکل 2-ب وریستور در وضعیت عمودی روی یک لاینر قرار داده می‌شود تا از اتصال مستقیم وریستور به ساگار جلوگیری شود. همچنین کاهش حجم یک وریستور پس از پخت نشان داده شده است.

جهت‌های مختلف زینترینگ در شکل 3 نشان داده شده است. یک لاینر کوچک‌تر در شکل 3-الف انتخاب شده تا لبه‌های وریستور را آزاد نگه دارد و از وضعیت خوب لبه‌ها اطمینان حاصل گردد. در شکل 3-ب قطر لاینر متناسب با قطر وریستور خام در نظر گرفته شده است تا به لبه‌های انتهایی کمک کند به هنگام فرآیند انقباض در زینترینگ از اثرات لغزشی جلوگیری گردد.

در شکل 3-ج شیارهایی از وریستور پخته شده ساخته شده است. برای جلوگیری از چسبندگی قرص در حین زینترینگ، نگاه‌دارنده آن با اسپری آب مرطوب می‌شود و با پودر اسپینل پوشیده می‌شود. این شیارها باعث می‌شود لبه‌ها در حین زینترینگ آزاد شوند.



شکل 2. وریستورهای چیده شده روی ساگار جهت زینترینگ. الف) وریستورها و ساگار. ب) تغییر حجم وریستور پخته و خام



شکل 3. قرارگیری وریستور روی لاینر. الف) اندازه لاینر کوچکتر از وریستور. ب) اندازه لاینر مساوی با وریستور. ج) جهت زینترینگ افقی

### 3. ارزیابی قابلیت جذب انرژی

قابلیت اطمینان وریستور وابسته به قابلیت جذب انرژی آن می‌باشد که به عنوان دومین ویژگی مهم مشخصات الکتریکی در وریستورها بررسی می‌شود. قابلیت جذب انرژی به وسیله پالس‌های مستطیلی با دیوریشن میلی ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. مشخصه وریستور با ماکزیمم انرژی تزریق شده به بدنه تعیین می‌شود تا آنکه وریستور بتواند بدون شکست، سیکل سه ضربه‌ای را تحمل کند. پالس مستطیلی نشان داده شده در شکل 4 به مدت 2ms اعمال می‌شود. این نوع پالس در ضربه‌های سویچینگ تجربه می‌شود.

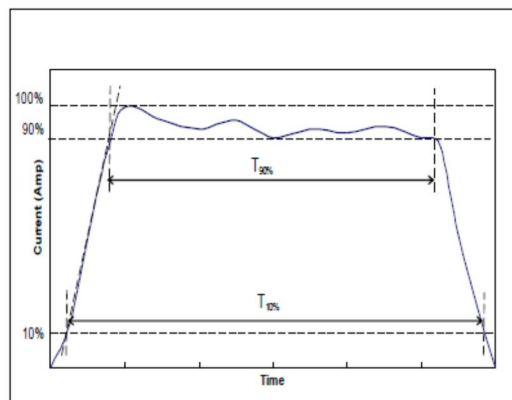
انرژی تزریق شده به وسیله پالس با انتگرال ولتاژ و جریان عبوری از وریستور در طول دیوریشن پالس تعیین می‌شود؛ بنابراین مقدار انرژی از رابطه (2) تعیین می‌شود.

$$\text{Energy} = \int v i dt \quad (2)$$

اگرچه مقادیر آنی ولتاژ و جریان در عمل ثابت نمی‌شود، برای ارزیابی انتگرال انرژی از مقادیر پیک ولتاژ و جریان عبوری از وریستور استفاده می‌شود؛ بنابراین رابطه (2) به صورت رابطه (3) بازنویسی می‌شود.

$$\text{Energy} = \int v i dt = K V_{pk} I_{pk} T \quad (3)$$

K ثابت وابسته به شکل موج است. برای پالس نشان داده شده در شکل 4 مقدار K در حدود 1,14 می‌باشد؛ بنابراین مقدار انرژی در حدود  $2.28 \cdot V_{pk} \cdot I_{pk}$  تخمین زده می‌شود. برخلاف اندازه‌گیری استحکام مکانیکی، تست قابلیت جذب انرژی نمی‌تواند در یک مرحله انجام گردد [8].



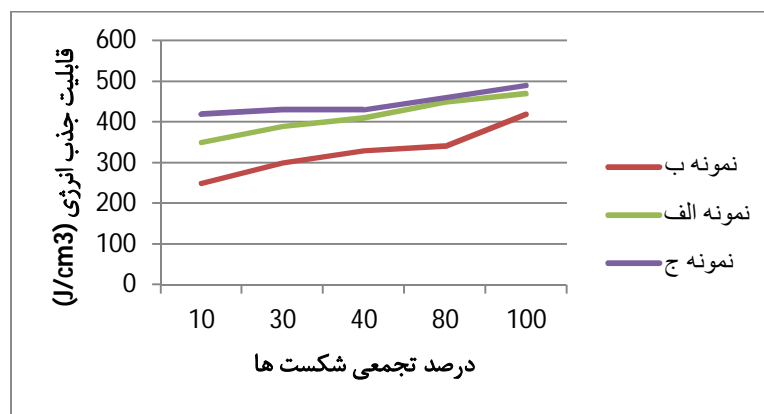
شکل 4. ضربه جریانی اعمال شده به وریستور جهت اندازه‌گیری قابلیت جذب انرژی آن

## 3-2. نتایج و بحث روی نتایج

برای مقایسه قابلیت جذب انرژی 10 وریستور از هر سه نمونه جهت‌های مختلف زینترینگ انتخاب شد. شکل 5 نمودار تجمعی شکست وریستورها را برای هر جهت زینترینگ نشان می‌دهد. شکست وریستورهای تست شده معمولاً ناشی از دو عامل بود: 1- سوراخ الکتریکی و 2- جرقه روی لعاب. در مواردی نادر وریستورها تنها دچار شکست شدند. مد شکست نمونه‌های آسیب دیده برای هر وریستور نشان می‌دهد که رایج‌ترین نوع شکست وریستورها سوراخ الکتریکی به همراه جرقه می‌باشد.

همان طور که از شکل 5 استنتاج می‌گردد، بخش متصل وریستور به لینر در یک ساگار به هنگام فرآیند زینترینگ بیشتر مستعد شکست می‌باشد. حتی پس از سمباده زنی عمیق از ته، بیشتر شکست‌ها از این بخش ناشی می‌شود.

میانگین قابلیت جذب انرژی وریستورهای نمونه الف  $415 \text{ J/cm}^3$ ، نمونه ب  $332 \text{ J/cm}^3$  و نمونه ج  $433 \text{ J/cm}^3$  می‌باشد. بنابراین قابلیت جذب انرژی نمونه الف نسبت به نمونه ب 25٪ و قابلیت جذب انرژی نمونه ج نسبت به ب 30٪ افزایش یافته است. لذا قابلیت جذب انرژی نمونه ج از نمونه الف و ب بالاتر است چراکه در این نمونه سطح تماس وریستور با لینر کاهش یافته است.



شکل 5. قابلیت جذب انرژی وریستورها با تغییر جهت زینترینگ آنها

## 3. نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر به بررسی قابلیت جذب انرژی وریستورها با فرمول شیمیایی matsuka در جهت‌های مختلف زینترینگ پرداختیم. میانگین قابلیت جذب انرژی وریستورها با لینر کوچک‌تر  $415 \text{ J/cm}^3$ ، نمونه با لینر مساوی با وریستور  $332 \text{ J/cm}^3$  و نمونه با جهت زینترینگ افقی  $433 \text{ J/cm}^3$  می‌باشد. بنابراین قابلیت جذب انرژی نمونه الف نسبت به نمونه ب 25٪ و قابلیت جذب انرژی نمونه ج نسبت به ب 30٪ افزایش یافته است. لذا قابلیت جذب انرژی نمونه ج با جهت زینترینگ افقی به دلیل کاهش سطح تماس وریستور با لینر افزایش یافته است.

- [1]- Chong Phui Fah, John Wang, "Effect of high-energy mechanical activation on the microstructure and electrical properties of ZnO-based varistors", *Solid State Ionics* 132 (2000) 107–117.
- [2]- Mohammad Reza Meshkatoddini, "Metal Oxide ZnO-Based Varistor Ceramics", InTechOpen, 2011
- [3]- Arman Sedghi and Nastaran Riyahi Noori, "Comparison of electrical properties of zinc oxide varistors manufactured from micro and nano ZnO powder", *Journal of Ceramic Processing Research*. 12 (2011) 752-755.
- [4]- M. Matsuoka, "Nonohmic properties of zinc oxide ceramics", *Jpn.J. Appl. Phys.* 10 (1971) 736.
- [5]- K. Eda, "Zinc oxide varistors, *IEEE Elctr.* Insul. Mag. 5 (1989) 28.
- [6]- T.R.N. Kutty, S. Ezhilvalavan, "The influence of Bi O non- 2 3 stoichiometry on the nonlinear property of ZnO varistors", *. Mater. Chem. Phys.* 38 (1994) 267.
- [7]- A.sinba and B.P Sharma, "morel runte for preparation of high voltage varistor powder", *mat.resa.Bull*, 32, (1997) 157.
- [8]- A N M Karim, S Begum and M S J Hashmi, "Role of Surface to Volume Ratio of Zinc Oxide Arrester Blocks on the Energy Absorption Capability," 4th InternationalConferenceonEnergyandEnvironment2013(ICEE2013).

## **Improve energy absorption capability ZnO varistors with sintering direction difference**

Fahimeh Abed Saeedi, Ehsan Koosha

Barghir Toos Company, Mashhad, Iran, E-mail: faabedsaeedi@yahoo.com

Barghir Toos Company, Mashhad, Iran, E-mail: ehsankoosha@ymail.com

**Abstract.** ZnO varistors are semiconductor ceramics. They have non-linear electrical properties of grain boundaries and microstructure of the varistor. In this paper, we study the effect sintering direction difference on the electrical properties of zinc oxide varistor. Change to sintering direction causes to change the internal cavities and density of donors in grain boundaries, which improves the electrical and mechanical properties of zinc oxide varistor at the bottom of it. Performance reliability of zinc oxide varistor is highly dependent on the ability to absorb energy. By changing the direction of the varistor sintering, greatly increase their energy absorb ability. After measuring the electrical characteristics can be seen best electrical properties varistor is the sintering with horizontal direction because the varistor in this state during sintering have the lowest contacts level with its holder.

**Keywords:** ZnO varistor, energy absorption capability, saggar, sintering direction.