# مقایسه TransformerCard board T7 و Transformer board T3 با بررسی انواع عایقهای الکتریکی پرس برد و پرس پیپر

عاطفه شاقلی[1]، پرویز تیموری[2]
[1]شرکت عایق های الکتریکی پارس، a.shagholi@alumni.znu.ac.ir
[2]شرکت عایق های الکتریکی پارس، P.teymouri@Pei-Co.com

چکیده –از پرکاربردترین مواد اولیه عایقی در تولید عایق‌های الکتریکی ترانسفورماتور، پرس برد و پرس پیپرها می‌باشند که به علت کاربردهای گسترده در تولید انواع عایق ترانسفورماتور، از تنوع بالایی برخوردارند و باتوجه به استاندارد IEC مقادیر پارامترهای مختلف در آزمونهای فیزیکی، مکانیکی و الکتریکی، برای هر نوع از این مواد اولیه متفاوت است. لذا در پژوهش پیش رو به بیان اصول نامگذاری، کاربرد و مقایسه مقادیر پارامترهای مختلف آزمونها برای پرس برد و پرس پیپرها می‌پردازیم. از طرفی با توجه به اعلام شرکت Weidmann مبنی بر تولید پرسبرد جدید تحت عنوان Transfomercardboard T7 و لزوم جایگزینی این نوع از پرسبرد با پرسبرد Transformerboard T3 –تولید سابق شرکت مذکور- در این تحقیق به مقایسه و بررسی تفاوتها و کاربردهای این دو محصول خواهیم پرداخت تا ضمن بررسی اصول عملکردشان، از صحت جایگزینی محصول جدید اطمینان یابیم.

***کلید واژه***- *استاندارد IEC 60641، پرس برد، پرس پیپر، مواد عایقی ترانسفورماتور*

## 1- مقدمه

با علم به شاخصهای اصلی در ساخت ترانسفورماتور، یکی از چالش های اصلی در تولید آن، انتخاب عایق الکتریکی مناسب می-باشد. در سالهای منتهی به قرن نوزدهم، از پنبه نسوز و پرس بردهای[1] نامرغوب در هوا، به عنوان اولین عایق در ساخت ترانسفورماتور استفاده شد. در میانه قرن نوزدهم پس از آن به تدریج از کاغذ اشباع شده با لاک[2] در ترانسفورماتورهای روغنی استفاده شد که پاسخگوی نیازهای حرارتی این نوع ترانسفورماتور نبود. در اوایل قرن بیستم کمپانی Haefely در شهر بازن سوییس توانست یک نوع عایق از کاغذ اشباع شده با رزین فنول فرمالدهید تولید کند که طی دهه های متمادی پاسخگوی نیازهای بخش عایقی ترانس می‌باشد. در اواخر سالهای 1920"Hans Tschudi-Faude" رئیس جدید شرکت "H.Weidmann limited" درگیر ساخت نوع خاصی از پرسبرد شد که تلاشهای او منجر به تولید عایقی تحت عنوان بین المللی ترانسفوربرد[3] گردید که از سلولز سولفاته مرغوب تهیه می‌شد. طی دهه 1930، ساخت قطعات جدید هم چون انگل رینگ، کپ ها[4]، پوشش ها[5] و غیر رول شروع شد و با گذشت زمان با استفاده از ریخته گری و قالب زنی تولید ابعاد مختلف از این عایق امکان پذیر گردید[1]. ترانسفورمربرد نوع خاصی از پرس برد است که با گذشت زمان همچنان تحت عنوان پرس برد شناخته شده است.

در حال حاضر شرکت Weidmann یکی از شرکتهای معتبر در زمینه تولید انواع پرس برد و پرس پیپرهای[6] عایقی می‌باشد که محصولات این شرکت جزء مواد پرکاربرد در تولید قطعات عایقی ترانسفورماتور در شرکت عایق الکتریکی پارس[7] محسوب می-شوند[2].(شکل1، 2 و 3)

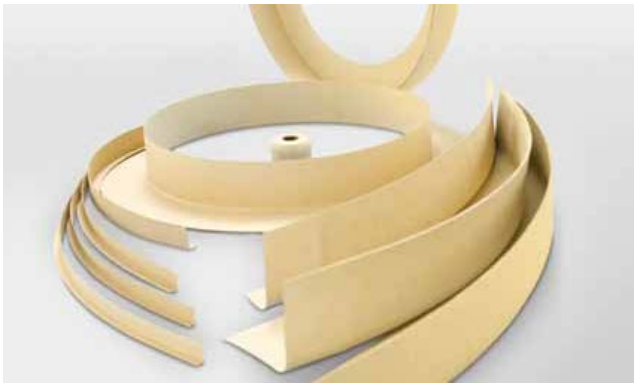
استاندارد بین المللی IEC 60641 در زمینه بکارگیری پرس برد و پرس پیپرها به منظور اهداف الکتریکی می‌باشد که معیار و ملاک کاربرد و اجرای الزامات آزمونهای مختلف فیزیکی، الکتریکی و مکانیکی در زمینه این دو ماده عایقی است [3].

هدف از این مقاله بررسی انواع متنوع پرس برد و پرس پیپرهای کاربردی در تولید عایق‌های الکتریکی ترانسفورماتور و گردآوری اصول اولیه در انتخاب انواع این مواد می‌باشد. علاوه بر این در تحقیق پیش رو با بررسی کاتالوگهای شرکت Weidmann و کتاب آبی و زرد وایدمن، راجع به محصول جدید شرکت مذکور تحت عنوان ترانسفورمرکارد برد[8] T7 اطلاعاتی را جمع آوری نمودیم تا صحت عملکرد جایگزینی این محصول با تولید قبلی شرکت تحت عنوان ترانسفورمر برد T3 اطمینان حاصل نماییم.

[1] Press board
[2] shellac paper layers
[3] TransformerBoard
[4] Caps
[5] Covers
[6] Press paper
[7] Pars Electrical Insulation Co
[8] TransformerCard board

شکل 1: پرس پیپر

شکل 2: یک پالت از پرس پیپر ها



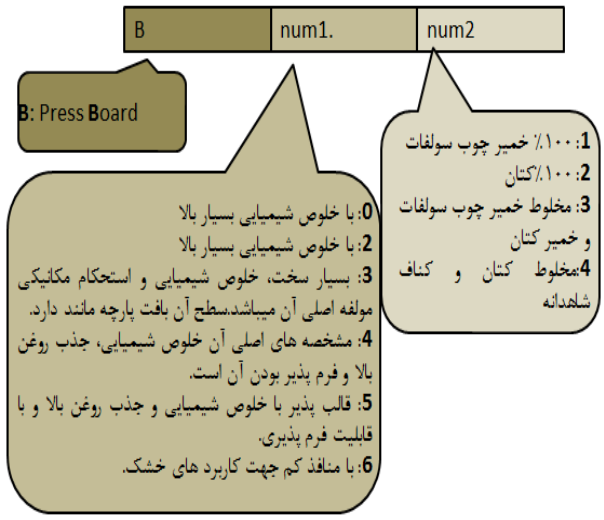
شکل 3: نمونه ای از عایقهای تولیدی از پرس پیپر ها

## 2- روش تحقیق

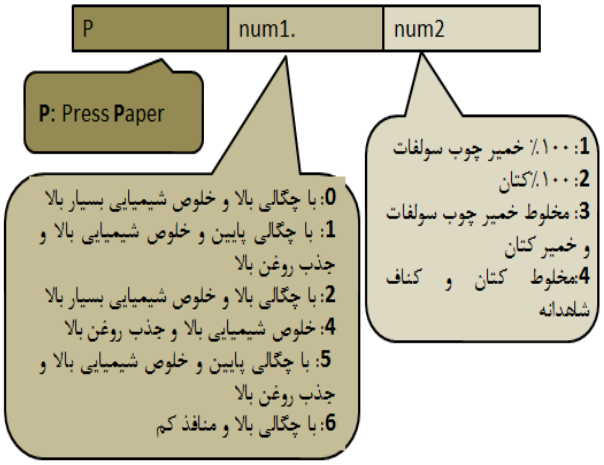
در این بخش ابتدا جزئیات نحوه نامگذاری انواع پرس برد و پرس پیپرها را بیان می‌نماییم. سپس به شرح چگونگی انتخاب مواد اولیه خواهیم پرداخت. در ادامه دسته بندی و نامگذاری مواد اولیه طبق استانداردهای بین المللی IEC, DIN در مقایسه با شرکت Weidmannمطرح می‌شود.

### 2-1- نامگذاری انواع پرس برد و پرس پیپرها

طبق پارت اول آخرین ویرایش استاندارد بین المللی IEC 60641-1 نامگذاری پرس برد به صورت یک حرف B و دو عدد در مقابل آن است که اصول انتخاب این اعداد براساس شکل 4 می‌باشد. به طور مشابه برای نامگذاری پرس پیپر به صورت یک حرف P و دو عدد در مقابل آن است که اصول انتخاب این اعداد براساس شکل 5 می‌باشد.




شکل 4: نحوه نامگذاری پرس پیپر ها




شکل5 : نحوه نامگذاری پرس بردها

برای نمونه پرس بردهای B4.1 و B5.3 بنا بر روش نامگذاری مطرح شده در شکل 4 و پرس پیپر P4.1 بنا بر روش شکل 5، ویژگی ها و مواد اولیه به ترتیب زیر را دارا هستند:

**B4.1**: پرسبرد تولید شده از 100٪ خمیر چوب سولفات، که مشخصه اصلی آن خلوص شیمیایی، جذب روغن بالا و فرم پذیر بودن آن است.

**B5.3**: پرسبرد تولید شده از مخلوط خمیر چوب سولفات و خمیر کتان، که قالب پذیر با خلوص شیمیایی و جذب روغن بالا و با قابلیت فرم پذیری است.

P4.1: پرس پیپر تولید شده از 100٪ خمیر چوب سولفات، که مشخصه اصلی آن خلوص شیمیایی بالا و جذب روغن بالا است.

### 2-2- انتخاب مواد اولیه

یکی از نکاتی که در نامگذاری پرس برد و پرس پیپرها مطرح است عدد دوم (گِرید) می‌باشد که در این بخش به شرح نحوه

انتخاب این مواد اولیه در ساخت پرس برد و پرس پیپرها می‌پردازیم و بیان می‌کنیم که هر عدد معرف چه نوع مواد مصرفی در تولید عایق است.

### 2-2-1- 100٪ خمیر چوب سولفات

پرسبرد و پرس پیپرها در این گرید از 100٪ خمیر چوب سولفات ساخته شده اند که دارای درجه خلوص بالا هستند، خلوص بالا تنها به معنی عدم حضور مواد متفرقه در خمیر نیست، بلکه هر ماده ای از ملحقات چوب، به غیر از سلولز (از جمله لیگنین، موم و ...) نیز جزء ناخالصی خمیر محسوب می‌شوند. در این ماده اولیه، در زمان تولید با مشخصات کیفی بسیار دقیق و سخت گیرانه ای ارزیابی می‌شوند و باید در زمان عرضه نیز این مشخصات حفظ گردند. پرسبردها و پرس پیپرهای ساخته شده با این روش همیشه در بالاترین سطح مشخصات کیفی و عالی ترین سطح ویژگی الکتریکی قرار دارند، به نحوی که می‌توان مقادیر مشخصاتشان را با دقت و اطمینان پیش بینی نمود.

### 2-2-2- 100٪کتان

پرسبرد و پرس پیپرها در این گرید از 100٪ کتان ساخته شده اند. فیبرهای کتان دارای مشخصاتی یکسان با خمیر چوب سولفاته هستند ولی درجه پلیمریزاسیون آنها بسیار بالاتر است. ولی به دلیل قیمت بسایر بالایشان، استفاده از آنها مقرون به صرفه نیست.

### 2-2-3- مخلوط خمیر چوب سولفات و خمیر کتان

پرسبرد و پرس پیپرها در این گرید از 50٪ خمیر چوب سولفاته و 50٪ کتان ساخته شده اند. ترانسفورمربرد تولیدی از این روش قالب پذیر (molded) و دارای قابلیت ارتجاعی بالا ( elasticity )و انعطاف پذیر ( flexible) هستند. در این گرید یک وضعیت بهینه و مصالحه بین پارامترهای الکتریکی و مکانیکی برقرار شده است تا این دو ویژگی توام با هم در بهترین مقدار باشند. علاوه بر این طراحی به گونه ای است که زمان خشک کاری حداقل میزان ممکن و پارامتر پیری ( aging) و جذب روغن ماکزیمم باشد.

### 2-2-4- مخلوط کتان و کناف شاهدانه

پرسبرد و پرس پیپرها در این گرید از 50٪ کناف شاهدانه و 50٪ کتان ساخته شده اند.

## 2-3- استانداردهای بین المللی IEC, DIN

طبق جدول 1 در هر سطر نامگذاری مواد اولیه به ترتیب طبق Weidmann، IEC 60641-3-1 و DIN 7733 آورده شده است که هر ستون معرف یک نوع ماده است.

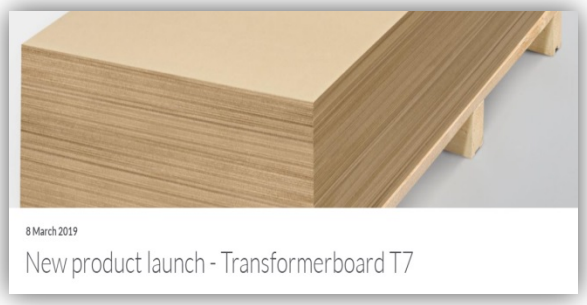
جدول 1: مقایسه نامگذاری پرس برد در استانداردها

| Weidmann name | Transformer board T I | Transformer board T III | Transformer board T IV | Transformer cardboard T7 |
|---|---|---|---|---|
| IEC 60641-3-1 type | B 2.1 | B 4.1 | B 3.1 | B 5.3 |
| DIN 7733 Type | PSP 3050 | PSP 3051 | PSP 3052 | - |

برای مثال طبق ستون اول از سمت چپ، ترانسفورمر برد T1 تولیدی شرکت وایدمن، که IEC 60641-3-1 آن را B2.1 نامگذاری کرده است، همان PSP 3050 نامگذاری شده توسط DIN 7733 است. همینطور طبق ستون آخر سمت راست، ترانسفورمر برد T7 که محصول جدید وایدمن می‌باشد طبق IEC همان B 5.3 است که در نامگذاری DIN 7733 معادلی ندارد.

## 2-4- بررسی ترانسفورمربرد T7

شرکت weidmannدر مورخه 8 march 2019 از راه اندازی ترانسفورمربرد جدید با نام T7 خبر داد. این کالای جدید به ترانسفورماتور بردهای باکیفیت Weidmann می‌پیوندد که با استفاده از آخرین فن آوری و دانش فنی برای تولید موادی که قابلیت اطمینان، کارایی و ایمنی را تقویت می‌کند، تولید می‌شود. این ترانسفورمربرد برای فرآیندهای تولیدی که نیاز به انعطاف پذیری بالایی از مواد دارند، مانند خم شدن در اطراف شعاع محکم، طراحی شده است. این تولید، جایگزین TIIIکه قبلاً ساخته شده است، می-باشد[4].




شکل 6: پرس برد T7

در مقایسه با چگالی بالا T4، T7 از چگالی پایین تر و افزایش خاصیت ارتجاعی برخوردار است. در ابعاد بسیار بزرگتر 3.2 متر با قالب 6.4 متر و در ضخامت 1.0 تا 6.0 میلی متر در دسترس

است. مانند همه مواد تولید شده توسط گروه وایدمن، T7برای ریزترین ذرات آن توسط یک فلزیاب با وضوح بالا مورد آزمایش قرار می‌گیرد. این فرایند تضمین می‌کند که کلیه مواد با بالاترین خلوص تهیه و در اختیار مشتریان قرار می‌گیرد. علاوه بر خلوص مواد، یک سری خصوصیات دیگر نیز اندازه گیری می‌شود. شرکت وایدمن معتقد است که ترانسفورمر برد T7در انتقال ایده های بخش های طراحی تولید کنندگان ترانسفورماتور به واقعیت قطعات عایق کمک می‌کند[4].

ترانسفورمرکاردبرد T7 از گرید 3 می‌باشد یعنی شامل مخلوط خمیر چوب سولفات و خمیر کتان است مطابق با تحقیقات صورت گرفته از منابع کاتالوگهای شرکت وایدمن، به این نتیجه می‌رسیم که ترانسفورمر برد تولیدی از این روش قالب پذیر (molded) و دارای قابلیت ارتجاعی بالا (elasticity) و انعطاف پذیر (flexible) هستند. نکته مهم دیگر این است که در گرید 1 پارامترهای الکتریکی در سطح عالی و ایده آل قرار گرفته اند این در حالیست که در گرید 3 یک وضعیت بهینه و مصالحه بین پارامترهای الکتریکی و مکانیکی برقرار شده است تا این دو ویژگی توام با هم در بهترین مقدار باشند. علاوه بر این در گرید 3 طراحی به گونه ای است که زمان خشک کاری حداقل میزان ممکن و پارامتر پیری (aging) و جذب روغن ماکزیمم باشد[5, 6].

### 2-5- مقایسه T7و T3

با توجه به ادعای شرکت Weidmann مبنی بر جایگزینی T7 و T3 دراین بخش به بررسی تفاوتها و شباهتهای میان این دو ترانسفورمربرد می‌پردازیم.

مطابق با نامگذاری IEC، ترانسفورمر برد T7 همان B5.3 است و ترانسفوربرد T3 همان B4.1 می‌باشد. لذا تفاوتها و شباهت میان ویژگی های این دو ماده با درج جداول ویژگی های مکانیکی، الکتریکی و فیزیکی قابل بررسی می‌باشد[5, 6].

طبق آنچه در جدول 2 آورده شده است مقایسه مقدار استقامت الکتریکی برای T3 و T7 طبق مقادیر IEC و کاتالوگ شرکت Weidmann، نشان می‌دهد که میزان استقامت الکتریکی در T3 بیشتر از T7 است که بنابر آنچه در بخش 2 گفته شد و طبق گرید T3چنین مسئله ای قابل توجیه است.

بنا بر آنچه در جدول 3 آورده شده است مقایسه مقدار پارامترهای مکانیکی برای T3 و T7 نشان می‌دهد که میزان کشش در T3 بیشتر از T7 است.

در جدول 4 و 5 مقایسه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای پرس برد T3 و T7 آورده شده است، مقادیر جدول بیانگر برابری پارامترهای فیزیکی غیر از جذب روغن برای این دو نوع پرس برد است. میزان جذب روغن در T7 بیشتر از T3 است.

جدول 2: مقایسه مقدار استقامت الکتریکی برای T3 و T7

| property | | electrical strength in oil | |
|---|---|---|---|
| unit | | kV/mm | |
| Range of thickness(mm) | T3 | ≤ 1.6 | >1.6 |
| | T7 | ≤ 1.6 | >1.6 |
| Weidmann value | T3 | 46 | 37 |
| | T7 | ≥30 | ≥25 |
| IEC Value | T3 | ≥35 | ≥30 |
| | T7 | ≥30 | ≥25 |

جدول 3: مقایسه پارامترهای مکانیکی برای T3 و T7

| property | | Tensile strength, MD | Tensile strength, CMD | elongation, MD | elongation, CMD | Ply adhesion |
|---|---|---|---|---|---|---|
| unit | | mPa | mPa | % | % | n/30 mm |
| Range of thickness(mm) | T3 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 |
| | T7 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 |
| Weidmann value | T3 | 76 | 57 | 7.7 | 8.8 | 370 |
| | T7 | 45 | 35 | 3.5 | 3.5 | ≥250 |
| IEC Value | T3 | ≥55 | ≥40 | ≥7 | ≥8 | ≥250 |
| | T7 | ≥45 | ≥35 | ≥7.5 | ≥7.5 | ≥250 |

جدول 4: مقایسه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای T3 و T7(بخش اول)

| property | | apparent density | moisture content | ash content | shrinkage, thickness | Shrinkage, MD | Shrinkage, CMD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| unit | | g/cm³ | % | % | % | % | % |
| Range of thickness(mm) | T3 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 | 0.5-3.0 |
| | T7 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 |
| Weidmann value | T3 | 0.9 | ≤ 8.0 | 0.3 | 3.6 | 0.7 | 0.9 |
| | T7 | 0.8-1 | ≤ 10.0 | ≤ 0.5 | ≤6 | ≤1.0 | ≤1.5 |
| IEC Value | T3 | 0.85-1.1 | ≤ 8.0 | ≤ 0.7 | ≤ 6.0 | ≤ 1 | ≤ 1.5 |
| | T7 | 0.75-0.95 | ≤ 8.0 | ≤ 0.7 | ≤6 | ≤0.8 | ≤1.2 |

جدول 5: مقایسه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای T3 و T7(بخش دوم)

| property | | Conductivity | pH | oil absorption |
|---|---|---|---|---|
| unit | | ms/m | - | % |
| Range of thickness(mm) | T3 | 0.5 – 3.0 | 0.5 – 3.0 | 0.5 – 3.0 |
| | T7 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 | 0.8-6.0 |
| Weidmann value | T3 | 2.3 | 7.0 | 30 |
| | T7 | ≤7.0 | 7 | ≥25 |
| IEC Value | T3 | ≤ 8.0 | 6-9 | ≥20 |
| | T7 | ≤7.0 | 6-9 | ≥25 |

## 3- نتیجه گیری و جمع بندی

در این تحقیق ابتدا اصول اولیه در نامگذاری و ساخت پرس برد و پرس پیپرهای تولیدی شرکت Weidmann، براساس استانداردهای بین المللی IEC و DIN را تحلیل و بیان نمودیم. سپس به مقایسه پارامترهای آزمون های الکتریکی، مکانیکی و فیزیکی، شیمیایی در این مواد براساس مقادیر اعلامی Weidmann و IEC پرداختیم.

این تحقیق نشان داد که محصول جدید تحت عنوان ترانسفورمرکاردبرد T7 معادل با نامگذاری IEC، همان B5.3 است که معرف یک پرسبرد قالب پذیر با خلوص شیمیایی و جذب روغن بالا و با قابلیت فرم پذیری است که از مخلوط خمیر چوب سولفات و خمیر کتان، تولید می‌شود. بنابر ادعای این شرکت جایگزین T3 است که همان B4.1 است که معرف پرسبرد تولید شده از 100٪ خمیر چوب سولفات، که مشخصه اصلی آن خلوص شیمیایی، جذب روغن بالا و فرم پذیر بودن آن است. جداول آورده شده در بخش 2-5- نشان داد که میزان استقامت الکتریکی برای T7 حدود 5kv/mm کمتر از T3 است، میزان کشش برای T7 در جهت ماشین کاری و خلاف ماشین کاری به ترتیب 10 mPa و 5 mPa و حدود 1.5% کمتر از T3 می‌باشد و میزان جذب روغن برای T7 5 درصد بیشتر از T3 است و سایر پارامترهای فیزیکی، شیمیایی نیز تقریباً برابرند.

بنابراین به این نتیجه می‌رسیم که با توجه به گرید 3 بودن این محصول جدید، ادعای شرکت Weidmann مبنی قالب پذیری، پذیرفته است چون بنابر کتاب آبی، این نوع پرس برد molded و به اصطلاح قالب پذیر است. نکته مهم دیگر این است که محصول قبلی (T3) از گرید 1 بوده و از لحاظ پارامترهای الکتریکی در سطح عالی و ایده آل قرار گرفته اند این در حالیست که در گرید 3 یک وضعیت بهینه و مصالحه بین پارامترهای الکتریکی و مکانیکی برقرار شده است و به همین دلیل است که محصول جدید 5kv/mm کمتر از محصول قبل استقامت الکتریکی دارد. علاوه بر این با توجه به جدول 5 و بیان کاتالوگ شرکت مبنی بر حداقل بودن زمان خشک کاری و ماکزیمم بودن و پارامتر پیری (aging) و جذب روغن، کاملاً صحیح و پذیرفته شده است.

## مراجع


[1] Moser, H.P, “Transformer Board”, 5 April 1979.
[2] pei-co.com
[3] IEC 60641 Pressboard and presspaper for electrical purposes –Part 1: Definitions and general requirements, *Edition 2.0, 2008.*
[4] From www.weidmann-electrical.com/new-product-launch-transformerboard-t7.
[5] “Transformerboard Cellulosic insulation of unsurpassed quality” Weidmann catalogue.
[6] “Presspaper multi-ply electrical insulating presspapers” Weidmann catalogue.