Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 24

Artikel: Die Entwicklung vom Pressspan zum Transformerboard

Autor: Moser, H. P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915093

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
de l'Association Suisse des Electriciens
des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke
de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité

Elektrotechnik – Electrotechnique

Die Entwicklung vom Preßspan zum Transformerboard

Von H. P. Moser

621.315.614;

Der Rückblick auf die Entwicklungsgeschichte der Transformatorenisolation führt von den ersten Versuchen mit Kartonisolation zum modernen hochwertigen Transformerboard, das heute auch in komplizierten Formen hergestellt wird. [1])

Historique du développement de l'isolation des transformateurs à partir des premiers essais avec du carton, pour aboutir au transformerboard moderne de haute qualité, qui est maintenant fabriqué également en formes compliquées. [1])

1. Einleitung

Die Bedeutung einer einwandfreien Versorgung mit elektrischer Energie braucht nicht mehr besonders betont zu werden. Unser heutiges Wirtschaftsleben ist ohne Elektrizität kaum vorstellbar. Aber auch unsere Lebensgewohnheiten hängen mehr und mehr davon ab, dass uns dieser Energieträger zuverlässig und jederzeit zur Verfügung steht. Ein Zusammenbruch der Elektrizitätsversorgung in Großstädten kann, wie das Beispiel in New York zeigte, zu ausserordentlich kritischen Situationen führen.

2. Die Bedeutung der inneren Transformatorenisolation

Die Transformatoren gehören mit den Generatoren und Schaltern zu den Hauptelementen elektrischer Anlagen. An ihre Betriebssicherheit werden daher höchste Anforderungen gestellt. Die ständig zunehmende Grenzleistung von zurzeit 1500 MVA bedingt, dass Defekte praktisch ausgeschlossen sein müssen. Zu den unangenehmsten und meist kostspieligsten Zwischenfällen gehört das Versagen der inneren Isolation. Bei der immer intensiveren Vermaschung der Netze stehen derart grosse Kurzschlussleistungen zur Verfügung, dass Durchschläge in der inneren Isolation grosse Zerstörungen zur Folge haben können. Sehr häufig übersteigen aber die Folgeschäden, wie Lahmlegung ganzer Kraftwerksteile, die direkten Schäden am Transformator um ein Mehrfaches.

Dem war während der Entwicklungsgeschichte des Transformators nicht immer so. Bei den ersten Transformatoren genügten einfache Asbest- und Kartonisolationen in Luft, wie sie *Weidmann* seit 1877 herstellte. Die Einführung von mit Schellack zusammengeklebten Papierlagen brachte um die Jahrhundertwende eine grosse Verbesserung. Bald aber entsprach auch das Schellackpapier den thermischen Beanspruchungen der in der Zwischenzeit entwickelten Öltransformatoren nicht mehr. Die mechanische Festigkeit der Zylinder und anderer Isolierteile aus Schellackpapier wurde bei höheren Temperaturen ungenügend.

Die Firma *Emil Haefely* unternahm in den Jahren 1912 bis 1915 grosse Anstrengungen, das eben vom Chemiker Bakeland entdeckte Phenol-Formaldehydharz zur Herstellung von Hartpapier heranzuziehen. Die von Erfolg gekrönten Arbeiten ermöglichten den Konstrukteuren von Transformatoren, einen Isolierstoff einzusetzen, der allen damaligen Anforderungen entsprach. Unter den verschiedenen Isolierteilen, welche aus dem neuartigen Material hergestellt wurden, erfreute sich vor allem der Hartpapierzylinder bis in die Gegenwart grosser Beliebtheit. Als Tragzylinder hat Hartpapier seiner mechanischen Eigenschaften wegen während über dreier Jahrzehnte vorzügliche Dienste geleistet (Fig. 1).

Der steigende Bedarf an elektrischer Energie zwang aber bald zu immer höheren Übertragungsspannungen. So zeigten sich die technischen Grenzen des Hartpapierzylinders, in dem elektrische Entladungen zur Zerstörung führten. In den 30er Jahren wurden die sich neu stellenden Isolationsprobleme auf zwei prinzipiell verschiedene Arten zu lösen versucht.

Die eine bestand darin, dass die Hartpapierisolation durch die der Kabeltechnik entnommene Weichpapierisolation nach *Meierhans* (BBC Baden) ersetzt wurde (Fig. 2). Diese wurde ursprünglich als feste Isolation ausgeführt, die den ganzen Zwischenraum zwischen Ober- und Unterspannung ausfüllte. Leider zeigten sich aber nach einiger Zeit unerwartete Schwierigkeiten, indem es zu lokalen Überhitzungen und in der Folge zu Durchschlägen kam. Die Weichpapierisola-

[1]) Dieser Rückblick auf ein spezielles technisches Gebiet ist gleichzeitig auch ein Teil der Firmengeschichte der *H. Weidmann AG*, 8640 Rapperswil, die 1977 ihr 100jähriges Jubiläum feiert. (Red.)

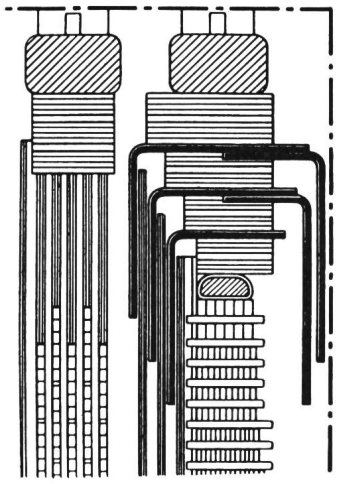


Fig. 1 Barrieren-Isolation mit Zylindern und Winkelringen aus Hartpapier

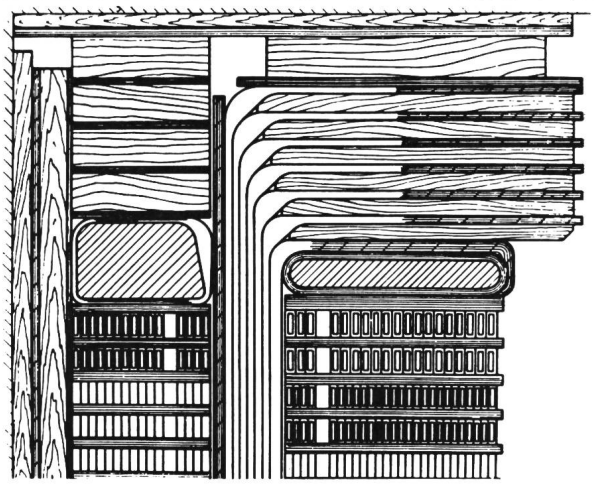


Fig. 2 Spreizflansch

tion lässt sich daher in Leistungstransformatoren nur mit innerhalb des Papierwickels angebrachten Ölkanälen ausführen. Damit entfallen aber die wesentlichen Vorteile der festen Isolation.

3. Die Entstehung von Transformerboard

Daher kam der ebenfalls in den frühen 30er Jahren durch *H. Tschudi-Faude* begonnenen Entwicklung eines speziell auf die Bedürfnisse des Grosstransformatorenbaues zugeschnittenen Preßspanes immer grössere Bedeutung zu. Das Ergebnis war ein Isoliermaterial, das nicht wie üblich aus Altpapier oder Baumwollabfällen, sondern aus hochwertiger Sulfatzellulose hergestellt wurde. Das unter dem Namen Transformerboard bekannt gewordene Spezialmaterial wird somit aus dem gleichen Rohstoff hergestellt, der auch für die Herstellung von Hochspannungskabel- oder Kondensatorpapier Verwendung findet. Es besteht ausschliesslich aus reinen Zellulosefasern ohne jedes Bindemittel. Daher lässt es sich vollständig trocknen, entgasen und mit Öl imprägnieren.

Nachdem ein derart erstklassiges Grundmaterial zur Verfügung stand, wurde versucht, dem ursprünglich nur in Tafeln oder Rollen lieferbaren Material neue Formen, wie Winkelringe, Kappen, Hauben und ähnliches, zu geben. Im Laufe der Jahre wurde es möglich, Formstücke aus Transformerboard in Abmessungen herzustellen, welche man früher nicht für möglich gehalten hätte. Dies beweist Fig. 3, welche einer Publikation von *Tschudi* aus dem Jahre 1938 entnommen wurde [1] [1]). Winkelringe und ähnliche Formstücke aus Transformerboard vereinigen in glücklicher Weise die elektrischen Vorteile von Weichpapier mit den mechanischen Vorzügen von Hartpapier, ohne deren Nachteile aufzuweisen.

4. Der Spaltzylinder

Die Entwicklung des Spaltzylinders mit angeschärften Überlappungen (Fig. 4) war der Beginn der eigentlichen Transformerboard-Isolation von Grosstransformatoren. Allerdings mussten anfänglich grosse Zylinder mit Rücksicht auf das beschränkte Tafelformat umständlich aus mehreren Stücken zusammengesetzt werden. Dazu kam, dass bei der damals allgemein gebräuchlichen Herstellungsweise von Preßspan innere Spannungen in den Tafeln unvermeidlich waren. Sie hatten zur Folge, dass die Zylinder im warmen Öl die Neigung zeigten, sich zu verwerfen, was die Kühlung beeinträchtigen konnte. Zudem genügten die mechanischen Eigenschaften den steigenden Anforderungen nicht mehr. Da man auch an die Druckfestigkeit der Spulendistanzierungen und Abstützungen aus Preßspan mit Rücksicht auf die immer grösser werdenden Kurzschlusskräfte erhöhte Anforderungen stellte, wurde bei *Weidmann* ein neuartiges Verfahren für die Herstellungen von Transformerboard entwikkelt. Es weicht in verschiedenen Beziehungen grundlegend von den üblichen Methoden der Preßspanfabrikation ab.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

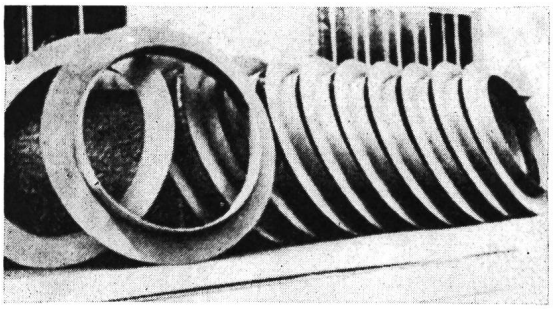


Fig. 3 Grosse Winkelringe aus dem Jahr 1938 [1]

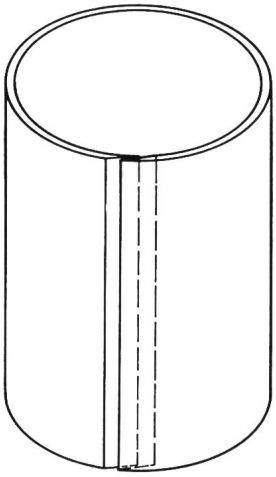


Fig. 4 Spaltzylinder

5. Modernes Transformerboard

Das neue Transformerboard wird seit 1952 in Tafeln von über 3 × 4 m, seit 1961 sogar im Format von über 3 × 6 m hergestellt. Die Fertigung grosser Zylinder wurde dadurch wesentlich vereinfacht.

Das Transformerboard wird heute auch stärker verdichtet, als dies ursprünglich der Fall war. Flächenbeständigkeit, Druckfestigkeit, aber auch Zug- und Biegefestigkeit weisen gegenüber früher nie erreichte Werte auf.

Dank der starken Pressung und anderen Vorkehrungen bei der Herstellung konnte die Schrumpfung innerhalb der Fläche einer Tafel vermindert und der Unterschied zwischen minimalem und maximalem Wert herabgesetzt werden. Die geringere und sich gleichmässiger auswirkende Schrumpfung hat zur Folge, dass die Tafeln im Gebrauch flacher liegen bleiben und die daraus gefertigten Zylinder sich nicht mehr verwerfen.

Die im Jahre 1952 erstmals gebaute und 1961 ergänzte Anlage war ein voller Erfolg. Sie wurde daher im Laufe der letzten Jahre ohne wesentliche Änderungen in Frankreich, Grossbritannien, USA, Japan und Schweden nachgebaut.

In der Zwischenzeit zeigte sich aber mehr und mehr, dass das bisher angewandte Prinzip den gestiegenen Anforderungen an die Qualität nicht mehr genügte. Dies und das Alter der Anlage waren der Anlass zum Bau einer nach grundsätzlich anderen Prinzipien ausgelegten neuen Anlage, auf der seit einiger Zeit nun das neue, nochmals verbesserte Transformerboard hergestellt wird. Diese Anlage vermeidet u. a. eine ungleichmässige mechanische Beanspruchung der noch nicht heissgepressten Tafel und ermöglicht eine wesentlich gleichmässigere Struktur des Materials (Fig. 5).

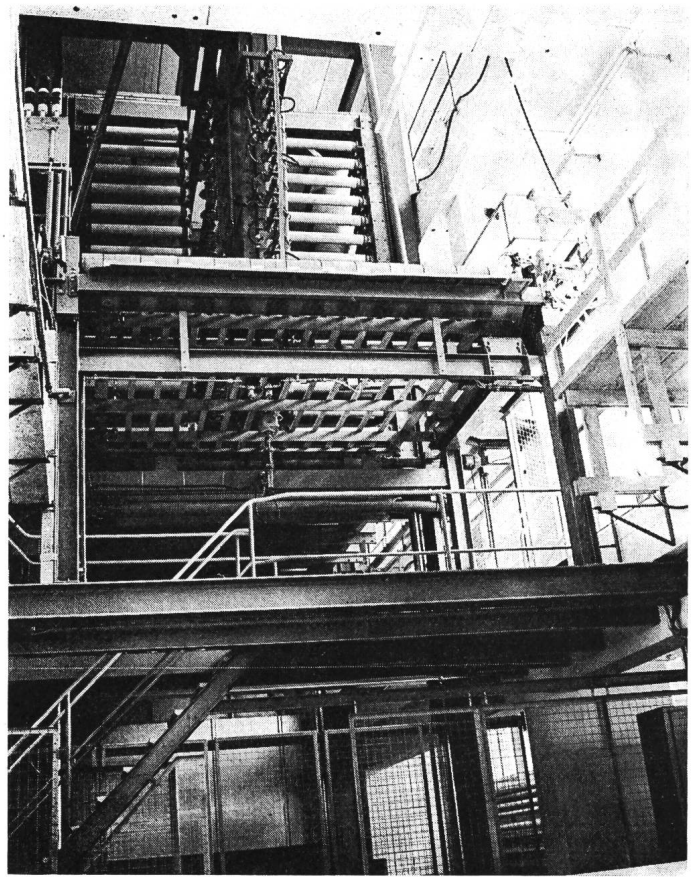


Fig. 5 Anlage zur Herstellung eines verbesserten, heissgepressten Transformerboards

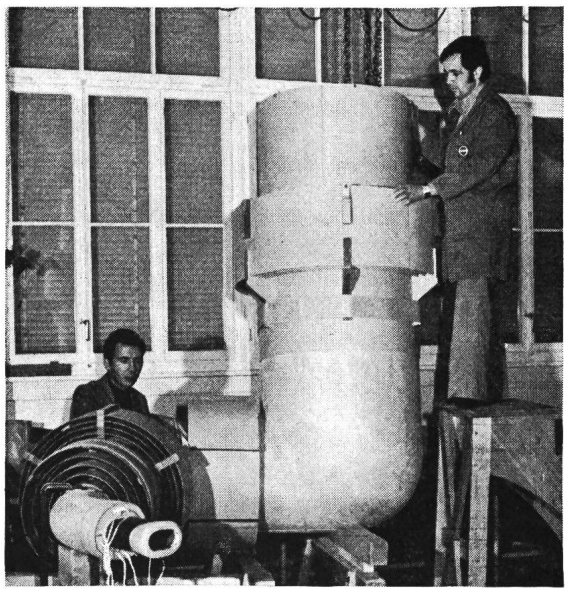


Fig. 6 Einbaufertige Hochspannungsausleitung aus Transformerboard, Reihe 400 kV

6. Die Lösung schwierigster Isolationsprobleme

Der Fortschritt in den Eigenschaften des Transformerboards führte dazu, dass immer mehr Distanzierstücke, Scheiben, Ringe, Trennwände und natürlich auch Zylinder aus dem neuen Material hergestellt wurden und damit das Hartpapier beim Bau von Grosstransformatoren weitgehend verdrängten. Modernes Transformerboard erlaubt es, auch die schwierigsten Isolationsprobleme zu lösen [2; 3; 4; 5]. Die in den letzten Jahren entwickelten Spezialisolierteile, wie tropfdichte Abschlüsse, Faltenbälge, komplette Höchstspannungsausleitungen (Fig. 6), Schirmringe, elektrische Abschirmungen, spezielle Trennwände und anderes mehr, ermöglichten den Bau von Transformatoren höherer Leistung und Spannung. So wurde kürzlich die gesamte Isolation des ersten Leistungstransformators für 1 MV abgeliefert.

Der Erfolg der Transformerboardisolationen ist eine direkte Folge unablässig geförderten Qualitätsstrebens – vom Einsatz erstklassiger Rohstoffe über die Bereitstellung zweckmässiger Gebäulichkeiten und Maschinen bis zum Willen der Mitarbeiter, ihr Bestes zu leisten – und der zielstrebigen Förderung der Entwicklung neuer Produkte.

Neben dem chemisch-physikalischen Labor wurde deshalb vor 15 Jahren eine elektrotechnische Entwicklungsab-

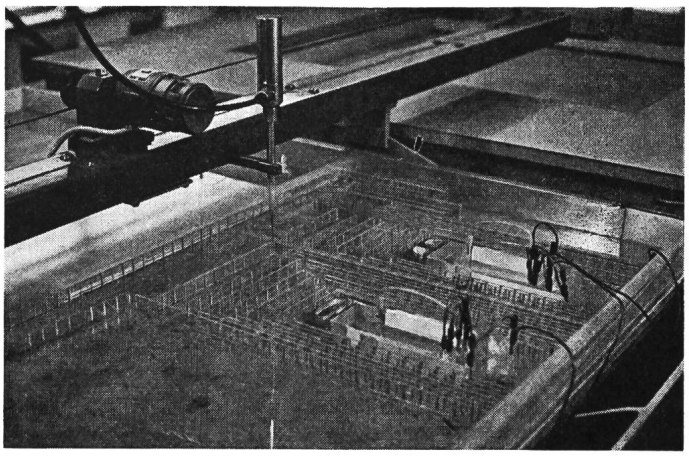


Fig. 7 Feldbild für die Dimensionierung einer Gleichspannungsisolation +/— 500 kV (USA)

teilung gegründet. Obwohl im bescheidenen Rahmen gehalten, verfügt das Labor über spezifische Messgeräte und Einrichtungen, wie sie selbst in Grossfirmen nicht üblich sind. Es werden daher regelmässig Spezialuntersuchungen für eine weltweite Kundschaft durchgeführt (Fig. 7). Diese umfassen einerseits grundlegende Untersuchungen, dienen aber anderseits auch der Entwicklung von Spezialteilen und von ganzen Isolationssystemen. Die Entwicklung immer grösserer Bauelemente für höhere Spannungen bedingt zudem Versuche in Hochspannungslaboratorien, so z. B. am Technikum Rapperswil, und vor allem bei zahlreichen Herstellern von Grosstransformatoren.

Literatur

[1] *H. Tschudi:* Die Entwicklung der Herstellung von Preßspan. Bull. SEV 29 (1938)7, S. 144...147.

[2] *H.-P. Moser:* Heutiger Stand der Anwendung von Transformerboard in Leistungstransformatoren höchster Spannung. Symposium Elektrische Isolationstechnik, 16./17. November 1972. Zürich, SEV, 1972; Bericht E-5.

[3] *H.-P. Moser:* Present state of the use of transformerboard for EHV power transformers. Contribution at the 2nd BEAMA International Electrical Insulation Conference and Exhibition, Brighton/GB, 7th...9th may 1974.

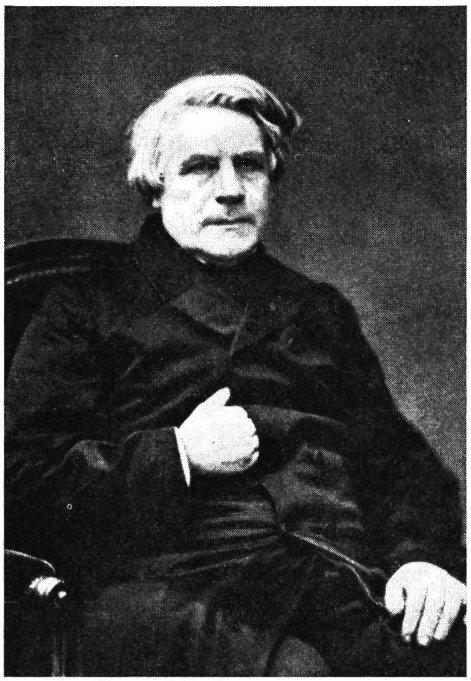
[4] *K. Lennarz:* Facts about transformerboard. Contribution at the 2nd BEAMA International Insulation Conference and Exhibition, Brighton/GB, 7th...9th may 1974.

[5] *H.-P. Moser:* The use of hot pressed stabilized transformerboard in high power transformers. Report at the World Electrotechnical Congress, june 21...25, 1977, Moscow.

Adressse des Autors

H. P. Moser, dipl. El.-Ing. ETH, Direktor Geschäftsbereich Transformerboard, H. Weidmann AG, 8640 Rapperswil.

Heinrich Daniel Rühmkorff 1803–1877



Deutsches Museum München

Vier Söhne und sechs Töchter hatte Postschirrmeister Rühmkorff in Hannover. Heinrich Daniel wurde am 15. Januar 1803 geboren. Er machte eine Drechslerlehre und ging 1821 auf Wanderschaft. In Stuttgart arbeitete er bei einem Mechaniker und erlernte auch diesen Beruf. Dann zog er nach Paris, wo er bei einem Physikprofessor als Gehilfe eintrat und dabei Gelegenheit erhielt, Vorlesungen anzuhören. Als einmal ein teurer, englischer Apparat beschädigt wurde, baute er diesen nach dem Gedächtnis nach. Um den Apparatebau besser kennenzulernen, weilte er einige Jahre in England und kehrte darauf für kurze Zeit nach Deutschland zurück. Dann zog es ihn wieder nach Paris. Von 1828 bis 1839 war er bei einem berühmten Instrumentenmacher in Stellung, der unter anderem auch für Ampère Geräte anfertigte. 1840 richtete er in seinem Zimmer eine Werkstätte ein und begann auf eigene Rechnung zu arbeiten. Bald zählten Becquerel und Biot zu seinen Kunden. Schon 1842 wurden seine Geräte in den Sitzungen der Académie des Sciences lobend erwähnt, und zwei Jahre darauf erhielt er an der französischen Industrieausstellung eine Silbermedaille. Ein gleicher Preis wurde ihm 1849 zuerkannt für ein Instrument, mit dem nachgewiesen werden konnte, dass Magnetfelder eine Drehung der Polarisationsebene des Lichtes bewirken. Er baute hervorragende Präzisionsgalvanometer und gilt als Erfinder des Kommutators.

Berühmt wurde Rühmkorff durch seinen Funkeninduktor, der sich durch sorgfältige Arbeit und zweckmässige Materialwahl auszeichnete. Den einer 15-V-Batterie entnommenen Gleichstrom zerhackte er mit einem Wagnerschen Hammer und führte ihn der Primärwicklung zu. In dieser steckte ein Eisenkern, zusammengesetzt aus mit Schellack isolierten Blechen. Ein Glaszylinder diente als Isolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung. Letztere bestand aus sehr dünnem, isoliertem Draht von vielen Kilometern Länge, an deren Klemmen eine Spannung von nahezu 100 kV entstand. Parallel zum Unterbrecher ordnete er einen Kondensator an, ein Seidenband mit beidseitig aufgeklebtem Staniol. Sein grösster Induktor war 52 cm lang und erzeugte bei 150 Unterbrechungen pro s 40 cm lange Funken, von denen es hiess, sie seien wie Blitze anzuschauen.

An der Weltausstellung von 1855 wurde der Rühmkorffsche Induktor ausgezeichnet und im Jahre 1864 seinem Konstrukteur der anno 1852 von Napoleon III. gestiftete «Voltapreis» in der Höhe von 50000 Franc zugesprochen. Zu Lebzeiten Rühmkorffs fand der Funkeninduktor Anwendung für die Zündung von Sprengladungen und natürlich als beliebtes Demonstrationsobjekt.

1870 erkrankte Rühmkorff schwer. Mitten im deutsch-französischen Krieg musste eine seiner Schwestern nach Paris kommen, um ihn zu pflegen. Weil die Franzosen befürchteten, Rühmkorff könnte den Induktor für Minensprengungen zugunsten der Deutschen einsetzen, wurde er streng bewacht. Die amerikanische Gesandtschaft war dann seiner Schwester behilflich, den Kranken nach Hannover zu bringen. Nach seiner Genesung kehrte er nach Paris zurück.

Der sehr bescheidene und uneigennützige Rühmkorff verschenkte viel und war recht arm, als er am 20. Dezember 1877 starb. Zu seinen Ehren tragen in Paris und in Hannover Strassen seinen Namen. Sein Induktor, gewissermassen der Vorläufer des Transformators, fand im Verlauf der Jahre vielseitige Anwendung als Hochspannungsquelle, als Zündapparat, zur Ozonerzeugung, für die Speisung der ersten Geissler-Röhren und später sogar für die Funkentelegrafie.

H. Wüger