

Vorwort

Transformatoren sind Bestandteil aller elektrotechnischen Studiengänge und werden im Allgemeinen den Lehrausführungen zu Wechselstrommaschinen vorangestellt, gewissermaßen als Einführung zu den Maschinen-Grundlagen. Wird die Sekundärwicklung eines Transformators beweglich gelagert, so hat man im Prinzip einen Wechselstrom-Motor. Leider gibt es nicht allzu viel Literatur nur zu Transformatoren. Der Transformator ist eine von vielen Komponenten in der Energieverteilung, ähnlich wie Kabel und Leitungen, Kondensatoren und Schaltgeräte.

Seit der Entdeckung des Transformatorprinzips 1831 durch Michael Faraday vergingen ca. 50 Jahre bis die ersten Transformatoren in der Energieverteilung eingesetzt wurden. Am Prinzip hat sich bis heute nichts geändert, einzig die Qualität und Eigenschaften der verwendeten Materialien haben sich im Laufe der Zeit erheblich verbessert. Transformatoren werden sowohl in der Nachrichtentechnik, als auch in der Energietechnik eingesetzt, wobei in der Nachrichtentechnik nicht Leistung und Effizienz im Vordergrund stehen, sondern mehr Eigenschaften wie beispielsweise als Impedanz-Wandler.

Dieses Handbuch beschäftigt sich mit den Transformatoren in der Energietechnik, insbesondere mit den Leistungs-Transformatoren, die in der Energieverteilung eingesetzt werden, und hier speziell mit den Verteil-Transformatoren von etwa 50 kVA bis 2500 kVA und Oberspannungen bis 36 kV.

Dieses Buch soll eine Lücke schließen und als Nachschlagewerk oder ergänzendes praktisches Lehrbuch Studierenden und praktizierenden Fachkräften bei der Auswahl und Beurteilung von Transformatoren helfen, insbesondere aber auch Ingenieurbüros, die Transformatoren spezifizieren, d. h. in Pflichtenheften detailliert festlegen müssen, und in Ausschreibungen bzw. in Angeboten zu vergleichen und zu beurteilen haben.

Prefix

Transformers are part of all curriculums in respect to electrical engineering, in general they serve as introduction to the knowledge of AC-machines. If the secondary winding of a transformer can move freely, e.g. by a suitable design and providing bearings to the assembly, we have an AC-motor.

There is not much literature available dealing with transformers only. The transformer is just one of the many components applied in electrical distribution systems, besides cables, capacitors or switching devices a.s.o.

Since the transformer principle had been discovered by Michael Faraday in 1831, it took about 50 years until transformers were applied in electrical energy distribution systems. The principle remains the same, just the quality and properties of the applied materials could be improved significantly during time.

Transformers are being used in communication as well as in power engineering, although the application in communication is more towards impedance converting than power and efficiency.

This booklet deals with transformers in electrical power engineering, especially with power transformers used for power distribution systems, and here with focus on distribution transformers from about 50 kVA until 2500 kVA and high voltages up to 36 kV.

This book shall close a gap and can serve as reference guide or practical study aid for students and professionals and assist them in selection and evaluation of transformers, but as well as for consultants, which have to specify and assess transformers, e.g. for contract specifications, and to evaluate them in specifications and bids.

Hier und da haben sich sicherlich noch Fehler eingeschlichen, und ich bin für jede Anregung und jeden Verbesserungshinweis dankbar. Für Interessierte, die tiefer in die Materie einsteigen möchten, sollte das angehängte Quellenverzeichnis auch als Empfehlungsliste für weiterführende Literatur dienen.

Der Verfasser übernimmt keinerlei Garantie für die Ausführungen aus rechtlichen Gründen, verbindlich können hier nur die Handbücher und Vorschriften der jeweiligen Hersteller sein, die im Zweifelsfall mit Vorrang zu berücksichtigen und mit den betreffenden Herstellern abzuklären sind.

Über viele Jahre habe ich Transformatoren von der Anwenderseite her betreut, habe sie spezifiziert und inspiziert, und war auch einige Jahre mit der Herstellung von Verteil-Transformatoren beschäftigt.

Zeigerdiagramme oder andere elektrotechnische Grundlagen zum Transformator sind nicht aufgenommen worden. Derart grundsätzliche Dinge finden sich zuhauf in der einschlägigen Fachliteratur. Was sich dort aber nicht findet, sind vielfach Dinge, die in erster Linie den im Beruf stehenden Praktiker interessieren. Einige Passagen tauchen wiederholt auf. Das liegt daran, dass die Kapitel in sich abgeschlossen sind und einige Erläuterungen themenübergreifend sind.

In den Jahren 2004 und 2005 sind die Materialpreise besonders stark gestiegen, das gilt für Kernbleche, Stahlteile, Kupfer und auch Öl, also die Grundmaterialien, die im Trafobau benötigt werden. Das schlägt natürlich auf die Herstellungskosten durch und hat leicht Preiserhöhungen von 30 % bis 40 % zur Folge. Bei Budgetkalkulationen sollten also möglichst zeitnah die aktuellen Materialpreise abgefragt werden.

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei Herrn Krudewig von RWE Power, Herrn Schultz vom Hüthig Verlag und nicht zuletzt bei meiner Frau Sri und meiner Tochter Zuzanne für ihre aufgebrachte Geduld und die mentale Unterstützung.

Bergheim/Erft, im Jahre 2006

Hermann J. Abts

Mistakes cannot be excluded, and I appreciate all kind of hints and suggestions for improvement or correction. For interested persons, who like to deepen their knowledge further, the attached List of References shall serve also as a recommendation guide for some suitable literature available on the market.

For legal reasons the author cannot be taken liable and cannot take any guarantees or warranties, only the manuals and descriptions or guidelines of the respective manufacturers can be taken as binding and have to be discussed or verified with the manufacturers in case of doubt.

For several years I was dealing with transformers on the user side, specified and inspected them, but for some years I was involved as well in the manufacturing of distribution transformers.

Vector diagrams or other electrical basics being essential for transformers are not covered. Such basic knowledge is covered by a lot of literature dealing with electrical engineering basics. What mostly is not available there, are items of interest for professionals, being important for their daily work. Some terms and explanations are repeated in different chapters. The particular chapters shall cover all related criteria; due to this some criteria are mentioned in a different context in different chapters.

In 2004 and 2005 the material prices increased tremendously, in particular for silicon steel sheets, mild steel, copper, and oil, hence for almost all basic materials needed for transformer manufacturing. Certainly this caused an increase of manufacturing costs in an estimated range of 30 % to 40 %. In case of budget-calculations it is recommended to check the actual prices in due time and to observe the markets.

I like to take this opportunity to thank Mr. Krudewig of RWE Power, Mr. Schultz of Hüthig, and last, but not least, I like to thank my wife Sri and my daughter Zuzanne for their patience and mental support.

Bergheim/Erft, in the year 2006

Hermann J. Abts

Vorwort zur 2. Auflage

In den letzten 10 Jahren hat eine Entwicklung stattgefunden, die mich dazu veranlasst hat, ein weiteres Kapitel hinzuzufügen. Hierbei handelt es sich um den ständig zunehmenden Einsatz von regelbaren Ortsnetz-Transformatoren in den bestehenden Verteilnetzen. Außerdem wurde auf europäischer Ebene eine Verordnung zur Standardisierung und stufenweisen Reduzierung (gültig ab 01.07.2015 und ab 01.07.2021) der Leerlauf- und Lastverluste von Verteil- und Leistungs-Transformatoren verabschiedet.

Ich habe auch die Gelegenheit genutzt einige Korrekturen durchzuführen, auf die mich aufmerksame und hilfsbereite Leser hingewiesen haben. Dankend erwähnen möchte ich hierfür die Herren Marijan Mihaljevic von KONCAR und Walter Castor sowie Christoph Kaub von RWE Power.

Bedanken möchte ich mich auch bei der Maschinenfabrik Reinhausen (MR) für umfangreiche Informationen zu deren GridCon-Transformatoren, eine bereits vielfach eingesetzte Lösung für regelbare Ortsnetz-Transformatoren (RONT). Dem interessierten Leser kann ich nur empfehlen, sich im Internet über die vielfältigen Lösungen der etablierten Transformatoren-Hersteller zu informieren. Das würde den Rahmen dieses Buchs sprengen.

In den letzten Jahren haben die Informationen zu Transformatoren im Internet erheblich an Umfang zugenommen. Es gibt also vielfältige Möglichkeiten sich eingehend zu informieren. Ich habe versucht, das Wesentliche komprimiert hier aus meiner Sicht darzustellen.

Und nochmals der Hinweis: Die Kosten für die Hauptmaterialien zur Herstellung von Transformatoren waren und sind immer erheblichen Schwankungen unterworfen, das gilt für Kupfer und Stahl und in besonderem Maße für Öl und Kernbleche. Bei Kostenkalkulationen empfiehlt sich also nach wie vor eine zeitnahe Recherche. In den letzten 10 Jahren schwankten die Kosten für mittelgroße Verteil-Transformatoren grob etwa zwischen 12 Euro/kVA und 18 Euro/kVA.

Bergheim/Erft, im Jahre 2017

Hermann J. Abts

Prefix 2nd Edition

The development within the last 10 years called for an additional chapter to this booklet. Reason is the increasing amount of Grid-Control Distribution-Transformers (GCDT) applied and put into operation in existing distribution grids. Besides that the European Union established a regulation for standardization and stepwise reduction (valid from 01.07.2015 onwards and from 01.07.2021 onwards) of no-load and load losses of distribution and power transformers.

I took also the opportunity to place some corrections, which have been indicated to me by some attentive and helpful readers. I like to express my thanks in this context to Messrs. Marijan Milhajevic of KONCAR, Walter Castor, as well as Christoph Kaub of RWE Power.

I like to express my thanks as well to Maschinenfabrik Reinhausen (MR) for their extensive information related to their GridCon-transformers, a solution for Grid-Control Distribution Transformers (GCDT), which are widely in operation already. I like to recommend to interested readers to surf in the Internet to find out more about the multiple solutions provided by well-established transformer manufacturers. That would be beyond the scope of this booklet.

During recent years the information available in the Internet related to transformers increased significantly. There are multiple possibilities to get further detailed information and knowledge. I have tried to compress here the essentials from my point of view.

And again this hint: The costs for the main materials needed for manufacturing of transformers were and still are very volatile, this refers to copper and steel, but especially to oil and silicon-steel core sheets. For cost- and budget-calculations it is still highly recommended to carry out up-to-date investigations. A review of the last 10 years shows roughly cost fluctuations in a range between about 12 Euro/kVA and 18 Euro/kVA for medium size distribution-transformers.

Bergheim/Erft, in the year 2017

Hermann J. Abts