

Dipl.-Ing. Manfred Kasper, Berlin

**Die Optimierung  
elektromagnetischer  
Felder mit Hilfe der  
Finiten Elemente Methode  
und deren Anwendung  
auf ein Wirbelstromproblem**

Reihe **21**: Elektrotechnik

Nr. **70**



# Inhalt

|  |    |
|--|----|
| 1. Einleitung  | 1  |
| 2. Optimierungsprobleme  | 5  |
| 2.1 Optimierungsverfahren  | 6  |
| 2.2 Vergleichende Beschreibung einiger<br>Optimierungsverfahren                                    | 9  |
| 2.3 Die Evolutionsstrategie  | 14 |
| 2.4 Anwendung und Untersuchung der Evolutionsstrategie   | 19 |
| 3. Die Methode der Finiten Elemente  | 27 |
| 3.1 Die Behandlung von Feldproblemen   | 29 |
| 3.2 Anwendung der Methode der Finiten Elemente<br>bei Wirbelstromproblemen                         | 33 |
| 3.3 Elementtypen und Aufwand   | 38 |
| 3.4 Anwendung der Methode der Finiten Elemente auf<br>weitere Problemstellungen der Elektrotechnik | 45 |
| 4. Netzgenerierungsverfahren   | 53 |
| 4.1 Eigenschaften von Dreiecksnetzen   | 55 |
| 4.2 Netze und Konvergenz   | 56 |
| 4.3 Vergleich von Verfahren zur Netzgenerierung  | 58 |
| 4.3.1 Geometrisches Verfahren  | 58 |
| 4.3.2 Topologisches Verfahren  | 63 |
| 4.4 Verbesserung von Finite Elemente Netzen  | 68 |
| 5. Berechnung integraler Größen  | 72 |
| 5.1 Sensibilität von Funktionalen gegenüber Störungen<br>der Feldgrößen                            | 73 |
| 5.2 Stationäre Funktionale und Variationsprinzipien  | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| 6. Fehlerbetrachtung                       | 82  |
| 6.1 Fehlerquellen                          | 84  |
| 6.2 Aposteriori Fehlerindikatoren          | 88  |
| 6.3 Adaptive Netzverfeinerung              | 92  |
| 7. Skin und Proximity-Effekt               | 97  |
| 7.1 Berechnungsverfahren                   | 100 |
| 7.2 Formeln zur Verlustleistungsberechnung | 102 |
| 7.3 Genauigkeit der Finite Elemente Lösung | 107 |
| 8. Optimierung von Leitungsquerschnitten   | 112 |
| 8.1 Problemstellung                        | 113 |
| 8.2 Aufbereitung als Optimierungsaufgabe   | 115 |
| 8.3 Test des Optimierungsverfahrens        | 120 |
| 8.4 Symmetrische Doppelleitung             | 123 |
| 9. Zusammenfassung                         | 131 |
| Verzeichnis der Formelzeichen              | 135 |
| Literaturverzeichnis                       | 137 |