

Dipl.-Ing. Rolf Apel, Dillenburg

Ein Programmsystem für Unsymmetrie- und Ober- schwingungslasten

Reihe **21**: Elektrotechnik

Nr. **199**

Inhalt

1. Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Gliederung der Arbeit	1
2. Das Newton-Raphson-Verfahren für spärlich besetzte Matrizen	3
2.1 Knotennumerierung und Aufbau der Admittanzmatrix	3
2.2 Die Leistungsflußiteration mit dem Newton-Raphson-Verfahren	8
2.3 Aufbau einer schmalbandigen Jacobi-Matrix	11
2.4 Lösungsverfahren für spärlich besetzte Gleichungssysteme	12
3. Das Newton-Raphson Verfahren dreiphasig in R, S, T	16
3.1 Verbindungszweige	17
3.1.1 Drehstromleitungen	18
3.1.2 Impedanzmatrizen eines Drehstromtransformators	19
3.1.3 Dreipolige Längsimpedanzen	24
3.2 Einspeisungen	24
3.2.1 Darstellung der Synchronmaschine in R, S, T	24
3.2.2 Nachbildung von Netzeinspeisungen in R, S, T	29
3.3 Konstante Lasten	30
3.3.1 Nachbildung von dreiphasigen Lasten	30
3.3.2 Nachbildung von zweiphasigen Lasten	31
3.4 Querimpedanzen	34
3.4.1 Motoren in Stern- und in Dreieckschaltung	34
3.4.2 Dreipolige Querimpedanzen mit Sternpunktimpedanz	35
3.4.3 Zweipolige Querimpedanzen	36
4. Divergenzkontrolle mit Hilfe der Summe der Fehlerquadrate	38
4.1 Mathematische Grundlagen	38
4.2 Änderungen für die Lastflußrechnung	44
5. Rechenergebnisse der dreipoligen Leistungsflußrechnung	45
5.1 Überprüfung des mathematischen Modells der Synchronmaschine	45
5.2 Berechnungen an einem Beispielnetz	49
6. Änderung der Darstellung der Betriebsmittel bei Oberschwingungsberechnungen	58
6.1 Nachbildung von Verbindungszweigen	58
6.2 Verbraucher und Generatoren	59
7. Das Verhalten von Stromrichtern bei überschwingungsbehafteter Einspeisung	61
7.1 Unterschied im Antwortverhalten von linearen Betriebsmitteln und Stromrichtern	61
7.2 Bestimmung des Antwortverhaltens von Stromrichterschaltungen	61
7.3 Verhalten der M3-Schaltung bei Oberschwingungen	63
7.3.1 Berücksichtigung einer Gegenspannung auf der Gleichspannungsseite	68
7.3.2 Berücksichtigung eines Steuerwinkels α des Stromrichters	69
7.3.3 Berücksichtigung von Kommutierungszeiten des Stromrichters	70
7.4 Das Verhalten der B6-Schaltung bei Oberschwingungen	73
7.5 Das Verhalten der B2-Schaltung bei Oberschwingungen	75
8. Die Berücksichtigung von Stromrichtern bei der Oberschwingungsberechnung	98

9. Rechenergebnisse der Oberschwingungsrechnung	102
9.1 Die Nachbildung von Stromrichtern	102
9.1.1 Die M3-Stromrichterschaltung	102
9.1.2 Die B2-Stromrichterschaltung	111
9.2 Übertragung von Oberschwingungsströmen durch Transformatoren	114
10. Schnelle Berechnung der Impedanzverläufe mit der Matrixinversion nach Takahashi	116
10.1 Spärliche Matrixinversion nach Takahashi	117
10.2 Anpassung des Algorithmus an die spärliche Speicherung aus Kapitel 2	117
10.2.1 Zerlegung der Admittanzmatrix \underline{Y} in die Matrizen \underline{L} , \underline{D} , \underline{R}	118
10.2.2 Aufbau einer Multiplikationstabelle wegen der wiederholten Berechnung für alle Frequenzen	119
10.2.3 Matrixinversion mit Verwendung der Multiplikationstabelle	121
11. Ergebnisse der Impedanzkurvenberechnung	123
12. Zusammenfassung	131
13. Anhang	133
A1. Oberschwingungskoeffizienten bei trapezförmigen Stromimpulsen	133
A2. Matrixinvertierung nach dem Takahashi-Verfahren am Beispiel	138
14. Literaturverzeichnis	142