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: 81 (1990)

Heft: 19

Artikel: Praxisorientierte Planung elektrischer Netze : Datenerfassung und Berechnung

Autor: Busarello, Luigi

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903168

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. Siehe Rechtliche Hinweise.

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. Voir Informations légales.

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. See Legal notice.

Download PDF: 13.05.2025

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

Praxisorientierte Planung elektrischer Netze – Datenerfassung und Berechnung

Luigi Busarello

Für die Lösung von Planungs- und Betriebsaufgaben werden heute in Energieversorgungsunternehmen immer häufiger EDV-Programme eingesetzt. Ein Berechnungs- oder Planungssystem kann aber nur dann optimal eingesetzt werden, wenn die Daten und die Kenngrössen des Netzes bekannt sind. Diese Arbeit soll zeigen, welche Daten für allgemeine Netzberechnungen benötigt werden, wie man sie beschafft, eingibt und sinnvoll speichert. Ausgewählte Berechnungen mit einem leistungsstarken Programmsystem werden gezeigt.

Des logiciels sont utilisés de manière accrue dans les compagnies électriques pour résoudre des tâches de planification et d'exploitation. Un système de planification ou de calcul ne peut cependant être utilisé de manière optimale que si les données et caractéristiques du réseau sont connues. Cet article veut montrer les données qui sont généralement nécessaires aux calculs de réseaux, comment on se les procure, et comment on les entre et les mémorise de manière rationnelle. On montre des calculs sélectionnés exécutés à l'aide d'un système de programmes très performant.

Adresse des Autors
Dr. *Luigi Busarello*, Dipl. El.-Ing. ETH, Busarello & Cott AG, 8703 Erlenbach

Der Einsatz von Netzberechnungsprogrammen zur Lösung von Aufgaben in der elektrischen Energieversorgung wird wegen der zunehmenden Komplexität der Probleme unerlässlich. Die heutigen Personal Computer (PC) bieten dem Ingenieur wegen ihrer Leistungsfähigkeit die Möglichkeit, Netzuntersuchungen am Arbeitsplatz schnell und rationell durchzuführen. Leistungsstarke und vor allem bedienerfreundliche Netzberechnungsprogramme für Personal Computer sind heute auf dem Markt allgemein erhältlich. Für nahezu jede Art Netzproblem existieren Programm-Module, die den Planungs- und Betriebsingenieur bei der Lösung der Aufgaben unterstützen, so z.B. Programm-Module für:

- Spannungsabfalls- und Lastflussberechnung
- Kurzschlussberechnung
- Oberschwingungs- und Tonfrequenzanalyse
- Auslegung von Schutzgeräten
- Simulation von Motor-Hochläufen
- Beeinflussung von Oberschwingungen und Spannungsänderungen
- Freileitungsparameter-Berechnung
- grafische Darstellung des Netzplanes
- Auslegung von Erdungsanlagen
- Kabeldimensionierung

Moderne Berechnungsprogramme arbeiten interaktiv und grafisch orientiert und sind auf den Prozess «Netzberechnung» abgestimmt. Variantenrechnungen, sei es mit geänderten Berechnungsparametern oder geänderter Netzkonfiguration, lassen sich in Sekundenschnelle durchführen. Die Berechnungen werden exakt durchgeführt, da die Modelle für die Nachbildung des Netzes und die optimalen Algorithmen zur Lösung der Netzgleichungen bekannt sind [1]. Die exakte Modellierung des Netzes genügt aber nicht, um richtige, praxisgerechte Ergebnisse zu erhalten. Die Ergebnisse sind nur dann verwendbar, wenn die Kenndaten der Netzelemente, d.h. die Impedanzen, Bemessungsgrössen usw., die zur Bestimmung der Modellgrössen nötig sind, in genügender Genauigkeit eingegeben wurden. Häufig liegen aber die Netzdaten nicht explizit vor. In den nächstfolgenden Abschnitten wird angegeben, welche Daten für welche Berechnungsarten erforderlich sind und wie man die Daten beschafft. Die Art der Speicherung und Verwaltung der Daten ist im Hinblick auf ihre zukünftige Verwendung von tragender Bedeutung. Auch auf diese Problematik wird eingegangen.

Die Daten für die Netzberechnung

Ein elektrisches Netz besteht aus Verbindungselementen (z.B. Leitungen, Transformatoren) und den Knotenelementen (z.B. Lasten, Generatoren, Motoren, Netzeinspeisungen). Um eine Netzberechnung durchführen zu können, müssen diese Netzelemente durch Modelle nachgebildet werden. Die für die Modellbildung und für eine schematische Netz-Darstellung erforderlichen Daten kann man grundsätzlich in vier verschiedene Arten einteilen (siehe Bild 1):

- topologische Daten: Knoten- und Elementnamen (Verknüpfungsdaten)
- elektrische Daten: Widerstände, Reaktanzen (Netzkonstanten, Kenngrössen)
- Knotendaten: Spannungen, Ströme, Wirk- und Blindleistungen, Störgrössen (Betriebsdaten)
- Grafische Daten: Koordinaten $P(x,y)$, Symbole (Netzplandaten)

Die topologischen Daten werden willkürlich durch die Bezeichnung der Knoten und Elemente festgelegt. Mit den grafischen Daten wird der Netzplan beschrieben, der ebenfalls willkürlich festgelegt wird. Hingegen werden die Knotendaten gemessen oder abhängig von der Art, Bemessung und dem Betriebszustand des Knotenelementes angenommen.

Die elektrischen Daten sind von dem nachzubildenden Element und vom zu untersuchenden physikalischen Vorgang abhängig und werden im Komponentensystem (Mit-, Gegen- und Nullsystem) angegeben. Für die Nachbildung von physikalischen Vorgängen im Netz hat es sich als zweckmässig erwiesen, das Dreileiter-Drehstromnetz mit seinen induktiven und kapazitiven Kopplungen zwischen den drei Leitern unter Einbeziehung des Erdreiches und geerdeter Leiter in drei voneinander unabhängige einpolige Systeme, nämlich das Mit-, Gegen- und Nullsystem, zu zerlegen. Das Drehstrom-Netz R, S, T wird in ein in bezug auf die Phasenfolge mitläufiges, gegenläufiges und gleichphasiges System zerlegt; dabei werden sämtliche Phasengrössen (Spannungen, Ströme, Impedanzen) in einen Bildbereich transformiert [2,3]:

Bild 1
Datentypen für die Netzberechnung

Die topologischen Daten geben an, wie die Elemente miteinander verknüpft sind. Jedem Verbindungselement muss ein Anfangs- und Endknoten definiert werden. Verbindungselemente mit mindestens einem gemeinsamen Knoten sind miteinander verbunden. Ein Knotenelement wird nur durch einen Anfangsknoten definiert. Diese Daten können willkürlich festgelegt werden.

Die elektrischen Daten beschreiben die Eigenschaften der Elemente. Es werden damit die Modellgrössen eines Elementes bestimmt. Da die Modelle und somit die Modellgrössen von dem zu untersuchenden physikalischen Vorgang im Netz abhängig sind, müssen je nach Art der Berechnung verschiedene Konstanten angegeben werden.

Knotendaten beschreiben den Betriebszustand des Netzes. Im Gegensatz zu den elektrischen Daten, die als gegeben und konstant zu betrachten sind, können die Knotendaten in einem grösseren Bereich variieren.

Die grafischen Daten beschreiben den Netzplan. Sie bestehen im wesentlichen aus den Koordinatenpaaren, welche die grafische Darstellung der Knoten und Elemente definieren. Die Auslegung des Netzplanes ist willkürlich.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{bmatrix} = \mathbf{S} \cdot \begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} \quad ; \quad \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_0 \end{bmatrix} = \mathbf{S} \cdot \begin{bmatrix} U_R \\ U_S \\ U_T \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_0 \end{bmatrix} = \mathbf{S} \cdot \begin{bmatrix} Z_{RR} & Z_{RS} & Z_{RT} \\ Z_{SR} & Z_{SS} & Z_{ST} \\ Z_{TR} & Z_{TS} & Z_{TT} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{S}^{-1}$$

$$\text{mit} \quad \mathbf{S} = \tfrac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{als Symmetrierungsmatrix}$$

$$a = -0{,}5 + j \cdot \sqrt{3}/2 \qquad (j : \text{imaginäre Einheit})$$

In Bild 2 (Abkürzungen siehe Bild 3) sind die für ein Element erforderlichen Daten im Mit-, Gegen- und Nullsystem gegeben, wobei in der Regel die Impedanzen des Gegensystems gleich den Impedanzen des Mitsystems gesetzt werden dürfen. Die einzige Ausnahme stellt die Synchronmaschine dar. Der Bedarf an Daten ist abhängig von dem zu untersuchenden physikalischen Vorgang. Unsymmetrische Vorgänge benötigen mehr Daten, da das Netz im Mit-, Gegen- und Nullsystem nachgebildet werden muss. Bei symmetrischen Vorgängen wird nur mit dem Mitsystem gerechnet. Unter der Annahme, das ein Netz symmetrisch aufgebaut ist, treten Unsymmetrien nur dann auf, wenn ein Verbraucher unsymmetrisch angeschlossen wird oder ein unsymmetrischer Fehler berechnet wird. Bild 4 gibt an, mit welchen Berechnungssystemen im Normalfall unsymmetrische Vorgänge berechnet werden können.

Datenbeschaffung

Die in Bild 2 aufgeführten Daten erhält man prinzipiell vom Komponentenhersteller in Form von Datenblättern oder Prüfprotokollen. In der Vergangenheit wurden den Komponentendaten wenig Beachtung geschenkt, da keine Netzberechnungen im Betrieb durchgeführt wurden oder wenn, dann von den Komponenten-Herstellern selbst. Zudem liegen häufig die Inbetriebsetzungen der Komponenten bereits längere Zeit zurück. Somit ist die Datenbeschaffung mit viel Aufwand verbunden. Die Praxis zeigt, dass die Kenndaten von Transformatoren und Generatoren in Form von Prüfprotokollen vorhanden sind. Hingegen sind Daten von Kabeln und Freileitungen nur sehr schwierig zu eruieren. Oft sind nur der Kabeltyp oder das Mastkopfbild der Leitung bekannt. Insbesondere sind Nullsystem-Daten der Kabel, die z.B. für Nullungsberechnungen sehr wichtig sind, unbekannt, da sie sowohl vom Aufbau des Kabels als auch von der Verlegung der Kabel und der Erdung abhängig sind. Zur Ermittlung der unbekannten Daten drängt sich eine Messung der Kabel auf. Bild 5 zeigt die Messanordnung für die Ermittlung der Impedanzen einer Leitung im Mit- und Nullsystem. Die Impedanzen errechnen sich durch:

$$Z_1 = U_1 / I_1$$
$$Z_0 = U_0 / I_0$$

Zu beachten ist, dass die Impedanz im Nullsystem mit Hilfe einer Wechselspannungsquelle bestimmt wird.

Vielfach können keine Messungen durchgeführt werden, da die Leitung aus Kostengründen nicht ausgeschaltet werden kann. Es ist dann sinnvoll, Richtwerte einzusetzen. Netzberechnungsprogramme müssen Kabelbibliotheken enthalten, in denen die Daten von Standardkabeln gespeichert sind und auf die man bei der Netzein-

Element	symmetrische Vorgänge	unsymmetrische Vorgänge
Leitung	R(1), X(1), C(1) Ir, zT, f	R(0), X(0), C(0)
Drossel	Ur, Ir, uRr(1), ukr(1), f	-
Transformator	Ur_1, Ur_2, uRr(1), ukr(1), I0, f	Schaltgruppe, uRr(0), ukr(0), ZE_1, ZE_2
Dreiwicklungs-transformator	Ur_1, Ur_2, Ur_3, Sr_{12}, Sr_{23}, Sr_{31}, $uRr(1)_{12}$, $uRr(1)_{23}$, $uRr(1)_{31}$, $ukr(1)_{12}$, $ukr(1)_{23}$, $ukr(1)_{31}$, f	$ukr(0)_{12}$, $ukr(0)_{23}$, $ukr(0)_{13}$, ZE_1, ZE_2, ZE_3
Lastelement	P(1), Q(1), f	P(0), Q(0)
Netzeinspeisung	Sk", R(1)/X(1), C_N, f	Z(0)/Z(1)
Synchronmaschine	Ur, Sr, xd", $xd_{ges.}$, Ufmax/Ufr, cos(phi), Art, f	x(2), x(0), ZE
Asynchronmaschine	Ur, Pr, Ir, Iar/Ir, Pp, Ma/Mr, J, sr, $cos(phi)_{an}$, Anfv., t_{um}, M0, M1, M2, f	-
Filterelemente, Reihen-/Parallel-schwingkreise	Ur, R, L, C, f	-

Bild 2 Kenndaten der Netzelemente
Bedeutung der Abkürzungen: siehe Bild 3

gabe zurückgreifen kann. In den Impedanzen des Mit- und Nullsystems sowie im Wert der zulässigen Strombelastbarkeit sollten die Art der Verlegung und der Erdung berücksichtigt sein. Bild 6 zeigt z.B. eine Eingabemaske für Leitungen mit eingeblendetem Inhaltsverzeichnis eines Teiles der in der Bibliothek gespeicherten Kabel.

Die Impedanzen von Freileitungen sind häufig auch unbekannt. Diese lassen sich aus dem Mastkopfbild berechnen. In Abhängigkeit der Anzahl Phasensysteme und Erdseile sowie der Art des Leiters (Einzel- oder Bündelleiter) werden aber die Berechnungsformeln sehr komplex. Es ist daher sinnvoll, die Berechnungen mit Hilfe eines EDV-Programmes durchzuführen. Neben der Beschaffung von elektrischen Daten müssen die Knotendaten ermittelt werden. Für die Durchführung von möglichst realistischen Lastflussberechnungen müssen die Verbraucher im Netz möglichst gut nachgebildet werden. Die Modellgrössen können nur aus systematischen Messungen über eine längere Zeitperiode und mit Auswertung der Messergebnisse gewonnen werden [4,5]. Analoges gilt bei einer Oberschwingungsanalyse; hier müssen die Störgrössen (Oberwellenspannungen und -ströme) im Netz gemessen und die Störquellen entsprechend nachgebildet werden. Sind Messungen nicht durchführbar, z.B. in einer Planungsphase, so können aus den Bemessungsgrössen der Erzeuger und Verbraucher die Knotenleistungen und die zu erwartenden Oberschwingungsgrössen berechnet werden.

Um in Ortsnetzen praxisgerechte Lastfluss- und Spannungsabfallsberechnungen durchführen zu können, ist es sinnvoll, Verbraucher zu klassifizieren. Verbrauchern jeder Art werden abhängig von ihrem Elektrifizierungsgrad Lastleistungen zugewiesen, so z.B. für Wohnungseinheiten oder für Industriebetriebe. Bei Vollelektrifizierung können z.B. für eine Wohnungseinheit ungefähr 6kW und für ein Einfamilienhaus ungefähr 10kW eingesetzt werden. Mit Hilfe von Gleichzeitigkeitsfaktoren, die den gleichzeitigen Zustand sämtlicher Lasten eines Types berücksichtigen, lassen sich Gebiete mit gleichen Verbrauchertypen zu einer Punktlast zusammenfassen. Moderne Lastflussprogramme beinhalten Bibliotheken mit Daten von typischen Verbraucherklassen, auf die bei der Knotendateneingabe zugegriffen werden kann.

Ur : Bemessungsspannung
Sr,Pr : Bemessungsschein-, Bemessungswirkleistung
P,Q : Wirk- und Blindleistung
uRr : Kupferverluste
zT : zulässige Temperatur
xd" : subtransiente Reaktanz
Ufmax/Ufr: Verhältnis der max. Erregerspannung zu Bemessungsspannung
ZE : komplexe Erdungsimpedanz
Pp : Polpaarzahl
f : Typ der Frequenzabhängigkeit
Ma/Mr : Verhältnis Anfahr- zu Bemessungsmoment
Anfv. : Anfahrvorrichtung
C_N : Netzkapazität

Ir : Bemessungsstrom
R,X,C : Widerstands-, Reaktanz-, Kapazitätsbelag
sr : Bemessungsschlupf
ukr : Kurzschlussspannung
I0 : Leerlaufstrom
$xd_{ges.}$: gesättigte Reaktanz
M0,M1,M2: Parameter der Lastmoment-Kurve
Sk" : Kurzschluss-Leistung
J : Trägheitsmoment
x : Reaktanz
Z : Impedanz
Ia/Ir : Verhältnis Anfahr- zu Bemessungsstrom
t_{um} : Umschaltzeit der Anfahrvorrichtung
Art : Art der Synchronmaschine

Kleinbuchstaben : Wert in Prozent
Grossbuchstaben : Wert in physikalischen Grössen
Zahl in Klammer : Wert des Mit- (1), Null- (0) oder Gegensystems (2)
Tiefliegende Zahlen : 1: Primärseite; 2: Sekundärseite; 3: Tertiärseite

Bild 3 Abkürzungen für die Kenndaten der Netzelemente

Dateneingabe und -speicherung

Die topologischen und elektrischen Daten sowie die Knotendaten werden heute in der Regel mit Hilfe von Masken eingegeben und während der Eingabe auf Plausibilität überprüft. Zur Unterstützung der Netzdateneingabe müssen Bibliotheken für Kabel, Freileitungen, Transformatoren, Generatoren, Motoren, Netzeinspeisungen und Verbraucher zur Verfügung stehen. Ein Modul für die Eingabe und Verwaltung von z.B. betriebseigenen oder von Herstellern bezogenen Bibliotheken muss in einem Netzberechnungssystem enthalten sein. Die Eingabe der grafischen Daten und des Netzplanes soll interaktiv am hochauflösenden Bildschirm mit Hilfe der Maus möglich sein.

Die eingegebenen Daten sollten in eine für sämtliche Berechnungssyste-

Berechnungssystem	symmetrische Vorgänge	unsymmetrische Vorgänge
Kurzschluss	Ja 3poliger KS	Ja 1poliger, 2poliger KS
Lastfluss	Ja	Nein
Oberschwingungs-/ Tonfrequenzanalyse	Ja	Nein
Auslegung von Überstrom-Schutzgeräte	Ja 3poliger KS	Ja 1poliger, 2poliger KS
Simulation von Motor-Hochläufe	Ja	Nein
Auslegung von Erdungsanlagen	-	Ja 1poliger, 2poliger KS
Kabeldimensionierung	Ja	Ja 1poliger KS
Beeinflussung von Oberschwingungen und Spannungsänderungen nach SEV3600.1987	Ja 3poliger Anschluss der Verbraucher	Ja 1poliger, 2poliger Anschluss der Verbraucher

Bild 4
Berechenbare physikalische Vorgänge in Abhängigkeit des Berechnungssystems

me gemeinsame Datenbank gespeichert werden, so dass keine redundanten Daten entstehen. Einzig bei der Aufnahme der Netzpläne sollte die Möglichkeit gegeben sein, dass zu einem Netz mehrere verschiedene Pläne erstellt werden können, so z.B. je ein Teilplan für die Hoch-, Mittel- und Niederspannung oder ortsabhängige Teilpläne. Die Datenbank soll einfach strukturiert und offen sein, so dass das Netzberechnungssystem mit einem beliebigen Netzinformationssystem kommunizieren kann. Es ist denkbar, dass die topologischen, elektrischen und grafischen Daten in einer umfassenden Datenbank eines raumbezogenen Informationssystems oder Netzleitsystems zusammen mit technischen (Sachdaten) und geographischen Daten (Geometriedaten) an zentraler Stelle gespeichert werden. Dann muss die Möglichkeit bestehen, mit Hilfe eines Interface-Moduls die Daten aus der umfassenden Datenbank in die Datenbank für die Netzberechnung zu transportieren. Wichtig ist auch der Austausch von grafischen Informationen zwischen dem Berechnungssystem und einem CAD-System. Durch diese Möglichkeit kann der mit dem Netzberechnungssystem erstellte und mit den Berechnungsergebnissen versehene Netzplan weiterverarbeitet werden.

Falls Netzberechnungen auf vernetzten Computern durchgeführt werden, ist es sinnvoll, die Daten zentral, z.B. auf dem Server, zu speichern und zu verwalten. Aus sicherheitstechnischen Gründen kann die Betreuung der Daten einer Person übertragen werden. Dies kann durch die Vergabe von Zugriffsberechtigungen gelöst werden. Projektbezogene Datensätze können dann vom Server extrahiert und auf eine Arbeitsstation transferiert werden. Das Extrakt kann anschliessend projektbezogen modifiziert werden, ohne die aktuelle Datenbank zu verändern.

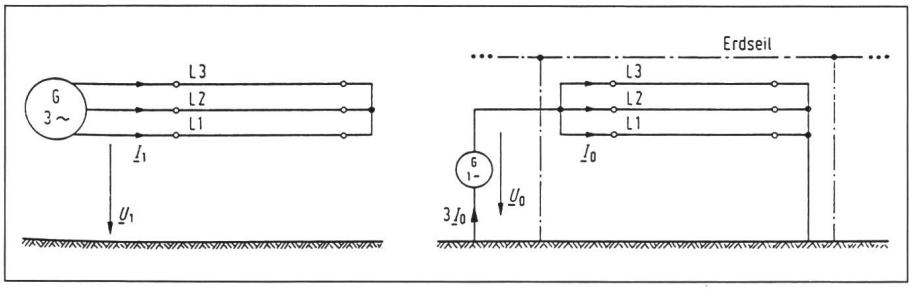


Bild 5 Mit- und Nullimpedanzmessung einer symmetrischen Leitung (z.B. Freileitung)
links Mitimpedanz $Z_1 = U_1 / I_1$
rechts Nullimpedanz $Z_0 = U_0 / I_0$

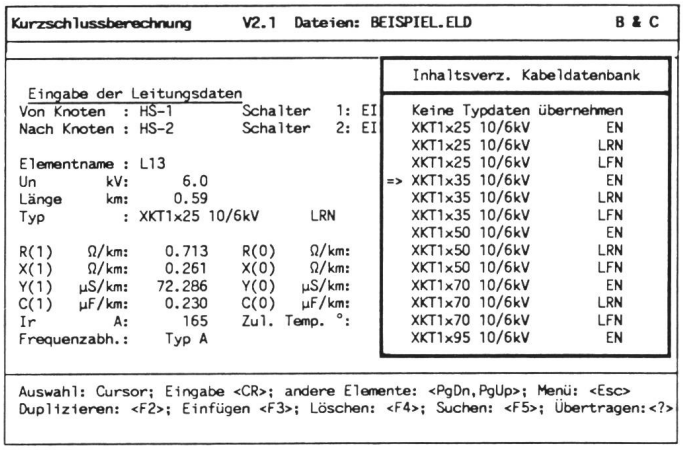


Bild 6
Maske zur Eingabe von Leitungen
eingeblendet: Inhaltsverzeichnis der Kabel-Bibliothek

Berechnung und Auswertung mit dem Planungssystem Neplan 2000

Aufgrund der in Bild 2 aufgeführten Daten lassen sich mit dem Planungssystem Neplan 2000 sämtliche in Bild 4 aufgelisteten Berechnungsarten durchführen. Mit diesen Berechnungsmodulen kann ein sehr grosser Teil der Netzprobleme sowohl in der Planung als auch im Betrieb gelöst werden. Die Bilder 7, 8 und 9 zeigen typische Ausgaben der Module Netzplan-Grafik, Auslegung von Schutzgeräten und Oberschwingungsanalyse. Die Berechnungen und Auswertungen wurden mit Hilfe des modular aufgebauten, menügeführten und grafikunterstützten Planungssystems Neplan 2000 erstellt. Bild 7 stellt einen Netzplan mit automatisch eingetragenen Resultaten von Kurzschlussberechnungen dar. Der Netzplan wurde mit Hilfe der Maus und am hochauflösenden Bild-

schirm erstellt. Dieser Netzplan kann mit dem PC-Standard-CAD-System Autocad weiterverarbeitet werden. Das Bild 8 zeigt ein Selektivitätsdiagramm von vier Überstrom-Relais. Die selektive Einstellung der Schutzgeräte, z.B. auch von Sicherungen, kann über mehrere Spannungsebenen erfolgen. Eine Datenbank mit den meistverbreiteten Schutzgeräten steht bei der Eingabe der Daten zur Verfü-

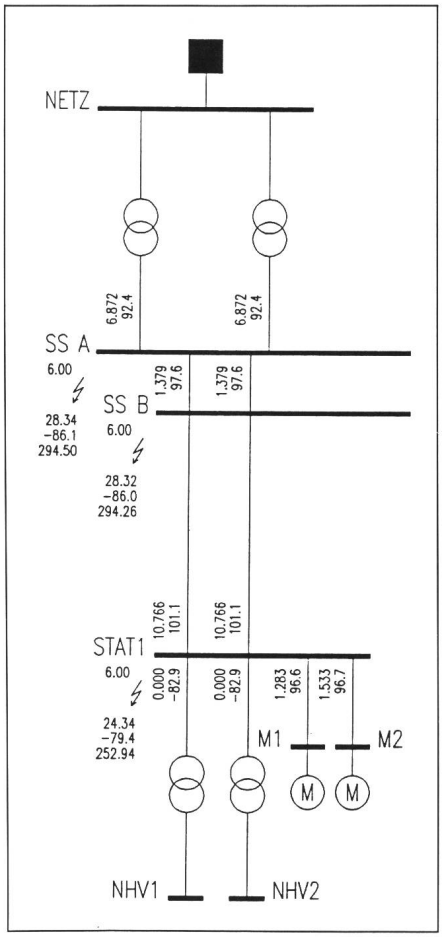


Bild 7 Ausgabe eines Netzplanes mit Kurzschlussberechnungsergebnissen

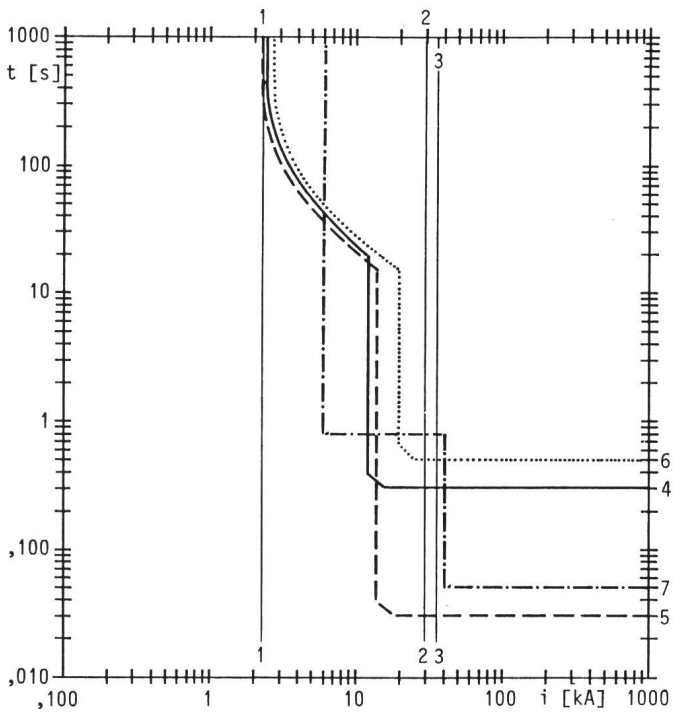
Das Bild zeigt einen Ausschnitt aus einer grösseren Netzplanausgabe

gung. Im Bild 9 sind die Oberschwingungsspannungen in Prozent, bezogen auf Knotennennspannung, dargestellt. In das Diagramm sind auch die Grenzen für die maximal zulässigen Oberschwingungsspannungen nach SEV 3600-1.1987 eingegeben. Überschreitungen der Grenzen sind nach der 25. Harmonischen sichtbar.

Netzberechnung in der Praxis: Zeitaufwand

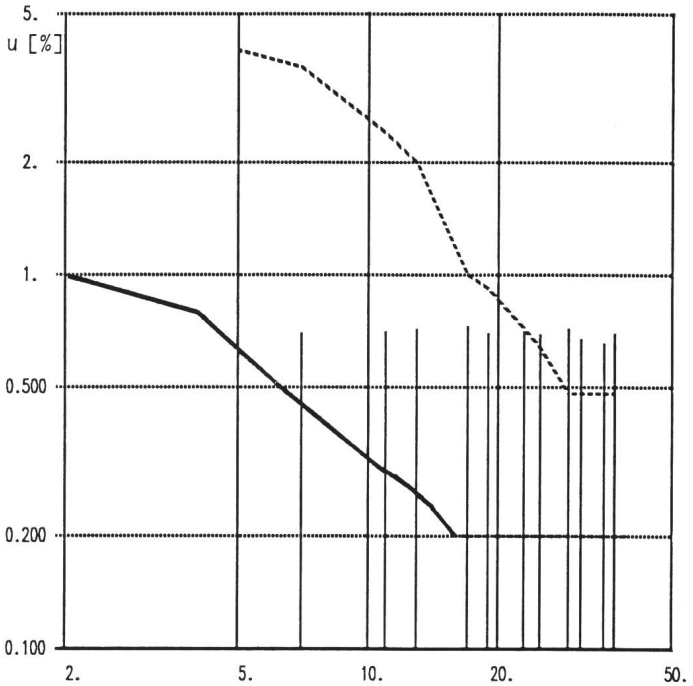
Der Prozess Netzplanung kann in vier Arbeitsgänge unterteilt werden:

Bild 8 Ausgabe eines Selektivitätsdiagramms für Überstrom-Schutzgeräte



1 0,046 kA bei 20,0 kV: Nennstrom Trafo 1
2 29,810 kA bei 0,4 kV: Min. Strom in Knoten NN 713,1
3 36,330 kA bei 0,4 kV: Max. Strom in Knoten NN 713,1
4 NN 713,1-EN 713,1: Netzkupplung NN-EN
5 NN 713,1-NN 536,E: Abgang Bau 536
6 NN 713,1-Bau 713: NS-Hauptschalter Trafo 1
7 Bau 713-NN 713,1: MS-Anlage Trafo 1 1600 kVA
t Zeit
i Strom, bezogen auf 0,400 kV

Bild 9 Ausgabe einer Spannungspegel-Berechnung



u Oberschwingungspegel in einem Netzknoten, bezogen auf die Knotennennspannung

Balken: berechnete Spannungspegel in Funktion der Oberschwingungsfrequenz (Ordnungsnummern) (Klirrfaktor: 2,52%)

Kurven: Grenzen nach SEV 3600-1.1987 für 1...36kV

gestrichelt: ungerade Oberschwingungen, ohne jene mit durch 3 teilbaren Ordnungsnummern

ausgezogen: gerade Oberschwingungen

Abszisse: Ordnungsnummern der Oberschwingungen

	Beispiel 1	Beispiel 2
Netz	Mittelspannung: 1000 Knoten und 1600 Elementen	Hoch- und Mittelspannung: 50 Knoten und 70 Elementen
Applikation	Lastflussberechnung	Lastfluss-, Kurzschlussberechnung, Netzplan-Grafik
Rechenanlage	Personal Computer mit DOS, 640 kB RAM, 20 MB Harddisk	Personal Computer mit DOS, 640 kB RAM, 70 MB Harddisk
Einarbeitungszeit in Applikation	ca. 3 - 4 Wochen	ca. 3 - 4 Wochen
Zeitaufwand für Datenerfassung	9 Mannmonate	1 Mannmonat
Datenumfang	ca. 2 MB	ca. 0.3 MB
Personal	3 Personen	2 Personen

Bild 10
Netzberechnung im Betrieb: Zeitaufwand

- Beschaffung der Netzdaten
- Eingabe der Netzdaten
- Durchführung der Berechnung
- Ingenieurmässige Auswertung

Bezüglich Zeitaufwand können die beiden mittleren Arbeitsgänge gegenüber den anderen vernachlässigt werden, vorausgesetzt, dass interaktive, menügeführte Programme eingesetzt werden. Den grössten Zeitaufwand beansprucht in der Regel die Beschaffung der Daten.

Bild 10 zeigt den Zeitaufwand in zwei Energieversorgungsunternehmen für die Erfassung der Daten für verschiedene Applikationen. Beim Beispiel 1 mussten sämtliche Daten beschafft werden, hingegen lagen die Daten beim Beispiel 2 zu einem grossen Teil vor. Die Datenerfassung beim Beispiel 1 erstreckte sich über mehrere Jahre, da das Netz in Teilschritten, abhängig von den anstehenden Problemen, aufgenommen wurde. Die Lastflussergebnisse stimmen mit den gemessenen Werten auf ungefähr 7% überein.

Zusammenfassung und Ausblick

Heute werden immer häufiger Netzberechnungsprogramme zur Lösung von Planungs- und Betriebsaufgaben in Energieversorgungsunternehmen verwendet. Durch die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Module kann ein grosser Teil der Netzprobleme EDV-mässig untersucht werden. Gleichzeitig steigt aber die Menge der erforderlichen Daten, die zur Modellbildung des Netzes gebraucht werden. Oft sind aber die Daten der Elemente unvollständig oder nicht bekannt. Es ist darum wichtig, dass der Ingenieur Bibliotheken mit Daten von Standard-Elementtypen zur Verfügung hat, die ihm die Eingaben des Netzes wesentlich erleichtern. Die eingegebenen Daten sollen in einer einheitlichen und offenen Datenbank gespeichert werden, so dass das Netzberechnungssystem später auch mit einer grösseren Datenbank kommunizieren kann. In Zukunft ist eine Verbindung zu raumbezogenen Netzinformationssystemen oder Netzleitsystemen mit integrierter Datenbank unerlässlich. Die Praxis zeigt, dass bei genügend genauer Eingabe der Netzdaten eine Abweichung von höchstens 7% zwischen den gemessenen und berechneten Werten auftritt.

Das hier kurz vorgestellte PC-Programmsystem erfüllt sämtliche Anforderungen an ein zukunftsgerichtetes und ausbaufähiges Netzberechnungssystem. Es eignet sich einerseits zum Einsatz in kleineren EVUs für die meisten EDV-mässigen Netzberechnungen und anderseits in grösseren EVUs mit zentraler Datenverwaltung für Netzberechnungen auf dezentralen Arbeitsstationen.

Literatur

[1] Theorie und Praxis der Analyse und Planung elektrischer Energieversorgungsnetze. Seminar, Buochs, 26. ...29. März 1990. Erlenbach, Busarello & Cott AG, 1990.

[2] *H. Happolt* und *D. Oeding:* Elektrische Kraftwerke und Netze. 5. Auflage. Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1978.

[3] *F.W. Kloeppel* und *H. Fiedler:* Kurzschluss in Elektroenergiesystemen. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1969.

[4] *E. Handschin:* Integrierte Messwerterfassung und Auswertung in elektrischen Verteilungsnetzen mit einem Mikrorechnersystem. Elektrizitätswirtschaft 84(1985)8, S. 270...273.

[5] *C. Dörnemann, H. Freund* und *E. Handschin:* Netzberechnung in Mittel- und Niederspannungsnetzen mit Hilfe einer betriebsmittelbezogenen Lastmodellierung. Vortrag anlässlich des 9. ETG-Fachforums im Rahmen des VDE-Kongresses 1990 in Essen, 8.10. 1990. ETG-Fachberichte 1990.