

Netzstudien im Zeitbereich für elektrische Netze

Sind sie für den Betrieb, Planung oder Entwurf von elektrischen Energienetzen verantwortlich und befinden sich derzeit in der Planungsphase zur Erweiterung oder Umbau Ihres Netzes? Dann ist eine Verifikation der transienten Beanspruchung des Netzes eine sinnvolle Maßnahme, um mögliche negative Auswirkungen frühzeitig zu erkennen.

Beschäftigt Sie gerade die Auswertung einer Störung, bei der transiente Vorgänge als Ursache in Verdacht stehen? Anhand einer Zeitbereichssimulation kann die Ursache von Störungen geortet und verstanden werden, sodass sinnvolle Abhilfemaßnahmen abgeleitet werden können.

Motivation

Im Kontext der Energiewende und dem stetigen Zubau von erneuerbaren Energien findet sowohl auf Verteilnetzebene als auch bei den Übertragungsnetzen eine Umstrukturierung statt. Durch den zunehmenden Anteil an leistungselektronisch geregelten Erzeugungsanlagen auf der Nieder- und Mittelspannungsebene finden bidirektionale Energieflüsse statt, die es zuvor in dem Ausmaße nicht gegeben hat.

Ebenso haben sich die Erzeugungszentren verlagert, was dazu führt, dass ein Ausbau der Übertragungsleitungen notwendig ist. Dies soll in erster Priorität mit Hochspannungskabelsystemen erfolgen, die sich jedoch in den elektrischen Eigenschaften im Vergleich zu Freileitungen erheblich unterscheiden. Insbesondere die Leiter-Erde-Kapazitäten von Hochspannungskabeln sind wesentlich größer als die von Freileitungen, was spürbare Auswirkungen auf das transiente Verhalten (z.B. Zuschaltung eines Kabels) eines Versorgungsnetzes haben kann.

Darüber hinaus sind viele 110 kV Verteilnetze als sogenannte „gelöschte Netze“ ausgeführt, was bedeutet, dass die Sternpunkte der Transformatoren über eine Spule (Petersen-Spule) geerdet sind, mit dem Zweck bei einphasigen Erdschlüssen, den fehlerbehafteten Netzabschnitt nicht unmittelbar trennen zu müssen. Dadurch wird die Versorgungssicherheit solcher Netze erhöht. Mit dem Ausbau von Kabelsystemen verändert sich die netzseitige Kapazität erheblich, was eine erneute Untersuchung der Sternpunktbehandlung notwendig macht. Mit Hilfe einer Zeitbereichssimulation können solche Untersuchungen erfolgen.

Was ist eine Zeitbereichssimulation?

Bei einer Zeitbereichssimulation handelt es sich um eine Netzberechnung, bei der die Augenblickswerte der Verläufe von Spannungen und Ströme an verschiedene Knoten eines Netzes über einen bestimmten Zeitraum (z.B. 2 Sekunden) berechnet werden. Diese Art von Netzberechnung ist in der Messtechnik mit einem Oszilloskop zu vergleichen. Das bedeutet, dass bei einer derartigen Netzberechnung eine sehr hohe Anzahl von Berechnungspunkten notwendig ist, um den tatsächlichen Kurvenverlauf einer Spannung oder eines Stroms darstellen zu können. Aufgrund des hohen Rechenaufwands, den eine Zeitbereichssimulation mit sich bringt, werden in der Regel nur kleine Ausschnitte des betrachteten Netzes nachgebildet. Ebenfalls ist die Simulationszeit in der Regel kleiner als eine Sekunde.

Eine Zeitbereichssimulation kann grundsätzlich in zwei Gruppen unterteilt werden: In eine Simulation im stationären Zustand und eine Simulation von transienten Vorgängen (EMT-Simulation). Die Simulation im stationären Zustand wird weiter in eine Einzelfrequenz- und eine Mehrfachfrequenz-Simulation unterteilt.

Die Abbildung 1 (a) zeigt beispielhaft den Kurvenverlauf eines Einzelfrequenzsignals, während in der Abbildung 1 (b) ein Beispiel eines Mehrfachfrequenzsignals dargestellt ist. Periodische Signale, die mehrere Frequenzen beinhalten, werden vor allem im Bereich der Netzqualität bewertet, um die Oberschwingungssituation eines Netzes zu beurteilen.

Ein Beispiel eines transienten Signals (EMT) ist in der Abbildung 1 (c) dargestellt. Die Art von Signalen stellt die Hauptanwendung einer Zeitbereichssimulation in der elektrischen Energieversorgung dar. Aufgrund der Wichtigkeit der EMT-Simulation wird dieses Thema im weiteren Verlauf dieses Dokumentes näher beschrieben.

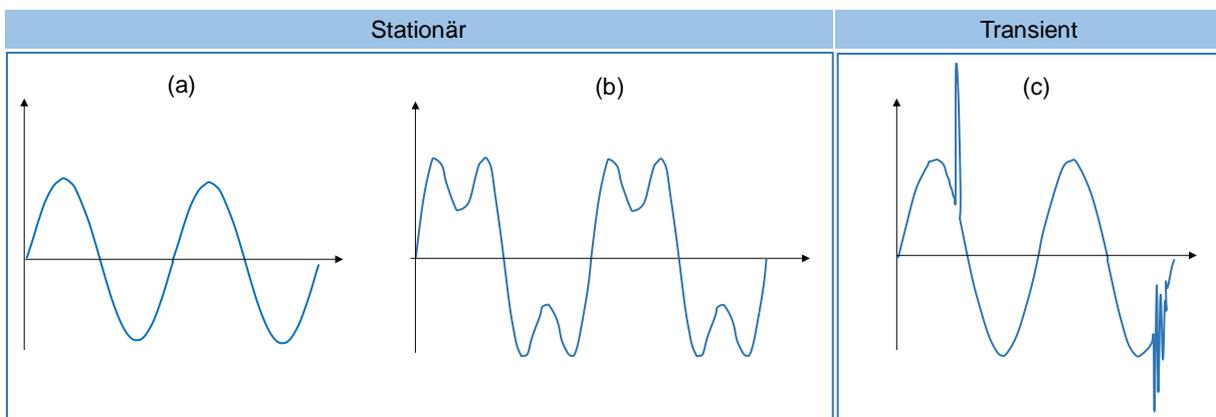


Abbildung 1. Übersicht über die Arten von Zeitverläufe, die unter einer Zeitbereichssimulation betrachtet werden

Einführung in die EMT-Simulation

Elektromagnetische Vorgänge, häufig abgekürzt mit EMT (Electro-Magnetic-Transients), beschreiben Ausgleichsvorgänge, die auf die im System gespeicherte Energie in Form von magnetischen und elektrischen Feldern zurückzuführen sind. Treten plötzliche Veränderungen in einem elektrischen System auf, z.B. in Form einer Schalthandlung, können sich die Spannung und der Strom aufgrund der gespeicherten Energie nur stetig (nicht sprunghaft) ändern. Ein Übergangsvorgang (transienter Vorgang) kann beobachtet werden, bis sich nachfolgend ein neuer stabiler Zustand einstellt.

Betriebsmittel wie Kabel, Freileitungen, Transformatoren, Schalter, Wandler etc. verhalten sich in einem elektrischen Energieversorgungsnetz wie eine Verschaltung aus Induktivitäten, Kapazitäten und Widerständen und stellen somit genau genommen Energiespeicher dar. Dadurch finden bei einer Veränderung im Netz (Schalthandlung, Netzfehler, Leitungszuschaltung, etc.) transiente Vorgänge statt. Diese transienten Vorgänge sind häufig mit temporären Überspannungen und/oder Überströmen verbunden, die je nach Ausprägung die Bemessungswerte einzelner Betriebsmittel überschreiten können.

Mit der Simulation von elektromagnetischen Vorgängen werden im Gegensatz zu einer klassischen Effektivwert bzw. RMS-Simulation, transiente Vorgänge untersucht, um eine detaillierte Beurteilung der auftretenden Spannungen und Ströme durchführen zu können. Eine RMS-Simulation, die ebenfalls über die Zeit durchgeführt werden kann, liefert eine erste Indikation über die Verläufe von Spannung und Strom beim Eintritt von Ereignissen. Aber aufgrund der Tatsache, dass nur die Effektivwerte dargestellt werden, gehen sehr wichtige Informationen wie z.B. die höchste auftretende Überspannung an einem bestimmten Knoten verloren.

Die drei unten stehenden Beispiele illustrieren den Unterschied zwischen einem Zeitbereichsverlauf basierend auf Effektivwerte (RMS-Simulation) und einem Zeitbereichsverlauf basierend auf Augenblickswerte (EMT-Simulation). Das Beispiel in Abbildung 2 zeigt die Stromverläufe eines Störschriebs während eines zweipoligen Kurzschlusses. Das Beispiel in Abbildung 3 illustriert die Stromverläufe eines Störschriebs bei einer Schalthandlung im Netz. Das Beispiel in Abbildung 4 zeigt einen Einschaltvorgang. Besonders interessant bei dem letzten Beispiel ist, dass unmittelbar nach dem Einschaltvorgang hohe transiente Überspannungen auftreten, welche die Integrität der Isolation von Betriebsmitteln belasten kann. Diese Überspannungen sind bei der RMS-Darstellung kaum sichtbar.

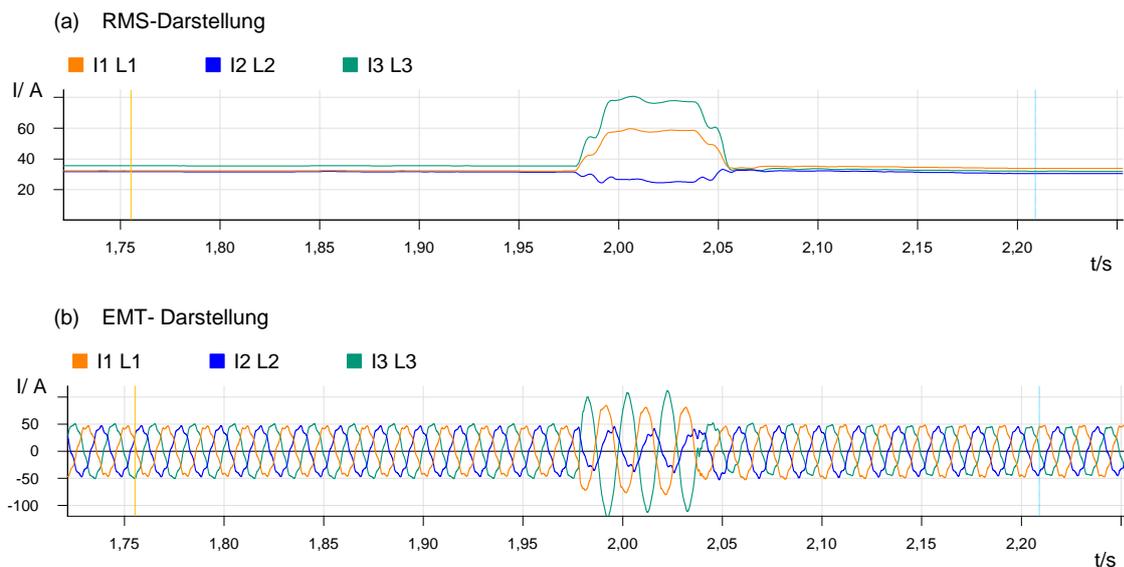
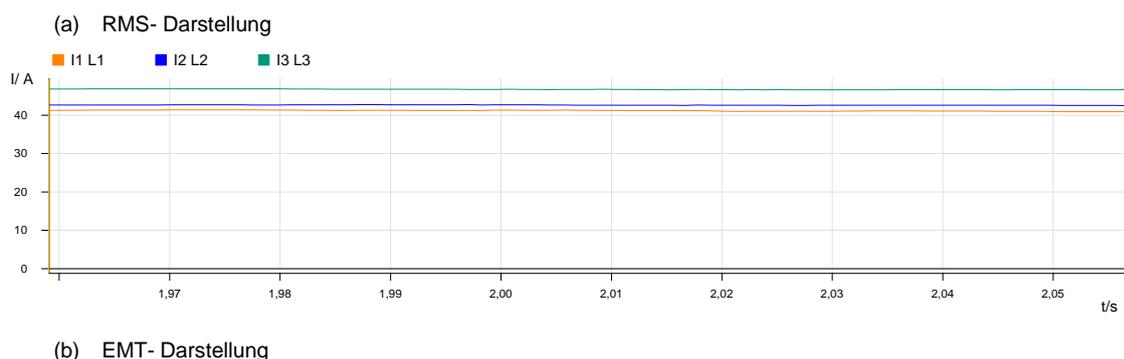


Abbildung 2. Beispiel: Zweipoliger Kurzschluss



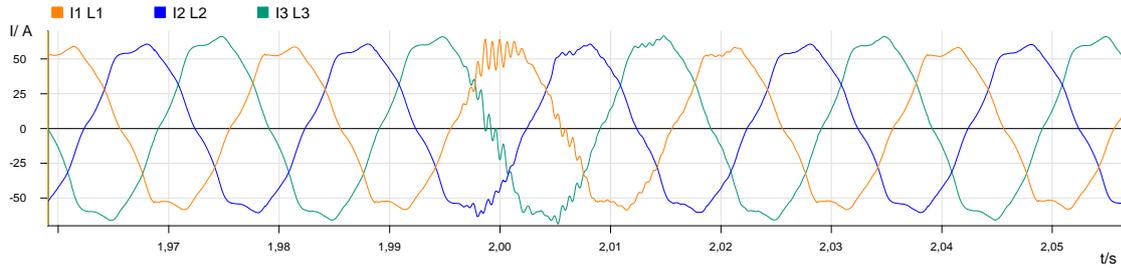


Abbildung 3. Beispiel: Schalthandlung im Netz

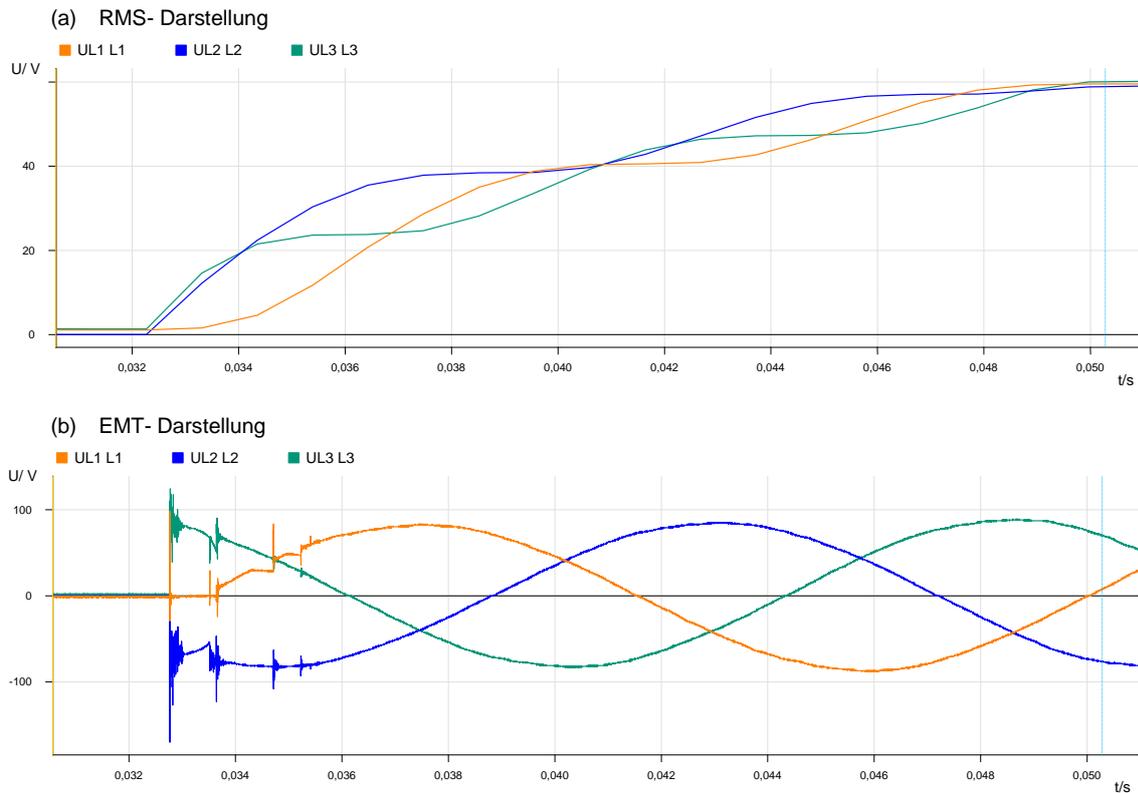


Abbildung 4. Beispiel: Einschaltvorgang im Netz

Die Tabelle 1 zeigt eine Einteilung verschiedener Ursachen von elektromagnetischen Vorgängen in ihre Frequenzbereiche. Elektromagnetische Vorgänge können in einem sehr breiten Frequenzbereich (0,1 Hz – 2 MHz) auftreten.

Tabelle 1: Ursachen elektromagnetischer Vorgänge mit üblichen Frequenzbereichen

Vorgang	Frequenzbereich
Transformatorzuschaltung/Ferroresonanz	0,1 Hz – 1 kHz
Lastabwurf	0,1 Hz – 3 kHz
Fehlereintritt	50 Hz – 20 kHz
Fehlerklärung	50 Hz – 3 kHz
Leitungszuschaltung	50 Hz – 20 kHz
Transiente Wiederkehrende Spannungen (TRV)	50 Hz – 100 kHz
Blitzeinschlag	10 kHz – 2 MHz

Welche Auswirkungen können elektromagnetische Vorgänge hervorrufen?

Aufgrund von elektromagnetischen Vorgängen sind die Betriebsmittel erhöhten elektrischen, mechanischen und thermischen Beanspruchungen ausgesetzt, die zu einem kostenintensiven, unerwarteten und vorzeitigen Ausfall führen können. Darüber hinaus können Schutz- und Regelungssysteme Fehlfunktionen aufweisen, die auf EMT-Vorgänge zurückzuführen sind.

Typische Auswirkungen von elektromagnetischen Vorgänge sind:

- Versagen der Isolation von Betriebsmitteln aufgrund von Überspannungen. Sobald die Isolationsfestigkeit eines Betriebsmittels überschritten wird, entsteht ein Lichtbogen, der das Betriebsmittel zerstören kann. Als Konsequenz können z.B. Kurzschlüsse zwischen Windungen (Windungsschlüsse) an einem Transformator entstehen.
- Mechanische Verformungen am Aktivteil eines Transformators aufgrund von Überströmen
- Thermische Zerstörung von Spannungswandlern aufgrund von Ferroresonanzen (Kippschwingungen)
- Thermische Zerstörung von Überspannungsableitern
- Schaden an Kabelabschirmungen wegen thermischer Überlastung
- Verzögerte Löschung eines Lichtbogens mit anschließender Rückzündung in Leistungsschaltern
- Fehlfunktion von Schutzsystemen: Das Auftreten von Transienten kann dazu führen, dass sich die Algorithmen von Schutzsystemen fehlerhaft verhalten (z.B. eine Fehlauflösung). Ein Beispiel dazu sind die sogenannten sympathisierenden Einschaltströme von Transformatoren.
- Fehlfunktion von Geräte zum gesteuerten Schalten von Leistungsschaltern: Hochfrequente Anteile, die bei transienten Vorgängen vorhanden sein können, können dazu führen, dass die Nulldurchgänge der Spannung nicht ordnungsgemäß erkannt werden. Eine Fehlfunktion des gesteuertes Schalten kann die Konsequenz sein.
- Fehlfunktion von Regelungssystemen: Hochfrequente Anteile von transienten Vorgänge können Regelungssysteme beeinträchtigen. Je nachdem wie die Übertragungsfunktion der Regelung aussieht, kann die Impedanz eines Umrichters für bestimmte Frequenzen niederohmig wirken. Das bedeutet, dass diese Frequenzanteile durch den Umrichter fließen können. Eine ungeplante Abschaltung des Umrichters kann die Konsequenz sein.

Wann sollte eine EMT-Simulation durchgeführt werden?

EMT-Simulationen finden insbesondere dann Anwendung, wenn eine detaillierte Untersuchung über das Verhalten von Spannungen und Strömen erforderlich ist. Wann ist aber eine detaillierte Untersuchung erforderlich? Eine detaillierte Untersuchung kann in den unten beschriebenen Situationen sinnvoll sein.

Auslegung von Betriebsmitteln und der Isolationskoordination

Sowohl bei der Planung einer Neuanlage als auch bei der Planung einer Umbaumaßnahme müssen Betriebsmittel (z.B. Transformatoren, Kabel, Ableiter, etc.) spezifiziert werden. Bei der Spezifikation müssen die Bemessungswerte der Betriebsmitteln, wie zum Beispiel die Blitzstoßfestigkeit (BIL) und die Schaltstoßfestigkeit (SIL), angegeben werden. Obwohl die Bemessungswerte von Hochspannungsbetriebsmitteln normiert sind, stellt sich bei der Planung die Frage, was für ein Pegel gewählt werden muss. Die Abbildung 5 zeigt die normierten Isolationspegel für Durchführungen nach IEC 60137. Für die höchste Spannung für Betriebsmittel (U_m) gibt es in der Regel zwei oder drei Blitzstoßfestigkeitspegel, die spezifiziert werden können. Die Auswahl eines geeigneten Pegel hängt von der Auslegung der Isolationskoordination ab. Daher gehört zur Planung eines Netzes eine Studie der Isolationskoordination, bei der die im Betrieb auftretenden Beanspruchungen der Isolation bewertet werden können.

Table 8 – Standard insulation levels for highest voltage for equipment equal to or greater than 300 kV (see 4.9, 8.2, 8.3 and 9.2)

Highest voltage for equipment U_m kV (r.m.s. value)	Dry and wet switching impulse withstand voltage (SIL) kV (peak value)	Dry lightning impulse withstand voltage (BIL) kV (peak value)
300	750	850 950
300/362	850	950 1 050
362/420	950	1 050 1 175
420/550	1 050	1 175 1 300 1 425
550	1 175	1 300 1 425 1 550
800	1 300	1 425 1 550 1 800
	1 425	1 550 1 800 2 100
	1 550	1 800 1 950 2 400

NOTE 1 The values of highest voltage for equipment are in accordance with IEC 60038, Amendment 2 (1997). The introduction of 550 kV (instead of 525 kV) and 800 kV (instead of 765 kV) in a future edition of IEC 60071-1 is under consideration by TC 28: Insulation co-ordination.

NOTE 2 The values 525 kV and 765 kV are also used.

Abbildung 5. Normierte Isolationspegel für Hochspannungsbetriebsmittel nach IEC 60137

Störungsanalyse

Ferner ist eine EMT-Simulation ein sehr gutes Instrument, um eine Störung im Netz auf den Grund zu gehen. Nach dem Auftreten einer Störung findet in der Regel entweder ein ungeplanter Ausfall oder eine Zerstörung des Betriebsmittels oder beides statt. Fakt ist, dass in den meisten Fällen eine Störungsanalyse durchgeführt wird, um die Ursache der Störung zu eruieren. Zur Störungsanalyse werden in der Regel die von Schutzrelais aufgezeichneten Störschriebe verwendet (wenn vorhanden). In viele Fällen sind die Störschriebe ausreichend, um die Ursachen einer Störung zu ermitteln. Es gibt jedoch auch eine Reihe von Störungen, die nicht ohne Weiteres geklärt werden können, weil die physikalischen Zusammenhänge, die sich hinter der Störung verbergen, zu komplex sind. Genau bei diesen Fällen ist eine EMT-Simulation das geeignete Instrument, um einen komplexen Vorgang zu analysieren.

Verifikation des dynamischen Verhalten von Regelungssystemen

Eine EMT-Simulation soll ebenfalls durchgeführt werden, um das dynamische Verhalten von leistungselektronischen Anlagen (z.B. Windkraftanlagen, Photovoltaikanlagen, STATCOM-Anlagen, HGÜ-Anlagen) zu bewerten. Gemäß technischer Spezifikation bzw. Gridcode müssen leistungselektronische Anlagen bestimmte Anforderungen (z.B. Fault ride-through und dynamische Blindstromstützung) erfüllen. Theoretisch können diese Regelungsfunktionen über eine RMS-Simulation bewertet werden. Nichtsdestotrotz können diese Regelungen in der Praxis von transienten Vorgänge beeinträchtigt werden. Aus diesem Grund empfiehlt sich, zusätzlich zur der klassischen RMS-Simulation eine EMT-Simulation durchzuführen.

Detaillierte Verifikation des Verhaltens von Schutzsystemen

Schutzstudien, wie zum Beispiel die Staffelung von Schutzgeräten, können mit diversen Tools durchgeführt werden, welche nicht auf eine EMT-Simulation zurückgreifen. Für die Staffelung sind die aus einer klassischen Kurzschlussberechnung entstehenden Kurzschlussströme ausreichend. Nichtsdestotrotz kann es Anwendungen geben, bei denen eine detaillierte Verifikation des Schutzsystems erforderlich ist. Ein Beispiel dafür sind die Schutzsysteme, die zur Erkennung von Fehlern in gelöschten Netzen verwendet werden. Es besteht die Möglichkeit, die Schutzalgorithmen in einer EMT-Simulation abzubilden, sodass eine detaillierte Verifikation des Verhaltens der Schutzsysteme möglich ist.

Ein weiteres Beispiel ist die Verifikation des Verhaltens von Wanderwellen basierten Schutzfunktionen, wie es beispielhaft beim Freileitungsschutz von HGÜ-Verbindungen der Fall ist.

Verhalten des Netzes beim Netzwideraufbau

Eine weitere Anwendung, die besonders empfindlich auf elektromagnetische Vorgänge reagiert, ist ein Netzwideraufbau. Bei einem Netzwideraufbau herrschen ungewöhnliche Netzbedingungen (sehr geringe Kurzschlussleistung), die zu besonders ausgeprägten transienten Vorgängen führen. Demensprechend ist im Rahmen des Entwurfs eines Netzwideraufbaukonzeptes eine detaillierte Untersuchung der transienten Vorgänge empfehlenswert.

Bewertung von Einkopplungen zwischen Systeme

Die EMT-Simulation kann ebenfalls eingesetzt werden, um Einkopplungen zwischen Systemen zu untersuchen. Ein klassisches Beispiel ist die Einkopplung zwischen zwei Stromkreisen, die auf einem gemeinsamen Gestänge geführt sind. Es stellt sich die Frage, inwiefern sich die transienten Vorgänge eines Systems auf das benachbarte System übertragen. Für diese Art von Fragestellungen eignet sich eine EMT-Simulation.

Analyse des Lichtbogenverhaltens auf Freileitungen

Wenn ein Fehler auf einer Freileitung auftritt (vor allem bei vorübergehenden einpoligen Kurzschlüsse), entsteht in der Regel ein Lichtbogen, welcher eine gewisse Zeit benötigt, bis dieser erlischt. Diese Zeit ist abhängig davon, wie schnell der Fehler durch das Schutzsystem geklärt wird. Hinzu kommt noch der sogenannte „Sekundärlichtbogen“, der zu einer verzögerten Löschung des Lichtbogens führen kann. Wenn ein Fehler durch die entsprechenden Leistungsschalter geklärt wird, ist sichergestellt, dass der sogenannte „Primärlichtbogen“ erlischt. Bei Strommasten, wo mehrere Stromkreise vorhanden sind, kann es allerdings vorkommen, dass anhand von den Kopplungen zwischen den Stromkreisen weitere Energie in die Fehlerstelle eingespeist wird. Als Konsequenz entsteht ein „Sekundärlichtbogen“, welcher die vollständige Löschung des Lichtbogens an der Fehlerstelle verzögert.

Eine Bewertung des Lichtbogenverhaltens ist wichtig, wenn automatische Wiedereinschaltungen (AWE) eingestellt werden. Vor einer AWE muss sichergestellt sein, dass der Lichtbogen vollständig erlischt ist. In der Praxis werden im Rahmen einer AWE ausreichende und konservative Pausenzeiten zwischen AWE-Vorgängen (z.B. 1 Sekunde) eingestellt, sodass bei der AWE mit hoher Wahrscheinlichkeit der Lichtbogen vollständig erlischt ist. Aus diesem Grund werden nicht immer bei der Auslegung einer AWE eine detaillierte Untersuchung mit EMT-Simulation durchgeführt. Nichtsdestotrotz, kann es Situationen geben (z.B. wenn der Verdacht besteht, dass die AWE nicht richtig eingestellt ist oder wenn eine Störung bei der Durchführung einer AWE entsteht), bei denen eine EMT-Simulation-basierte Analyse sinnvoll ist.

Analyse des Lichtbogenverhaltens in Leistungsschaltern und Ermittlung der transienten widerkehrenden Spannung (TRV)

Beim Öffnen eines Leistungsschalters entsteht ein Lichtbogen zwischen den Kontakten des Schalters. Das Verhalten des Lichtbogens ist stark von dem Verfahren zur Lichtbogenlöschung (Druckluft, SF₆, Öl oder Vakuum) abhängig. Fakt ist, dass beim Öffnen eines Schalters ein Spannungsabfall über die Kontakte des Schalters entsteht, der möglicherweise zur Zerstörung des Schalters oder zu einer ungewünschten Rückzündung führen kann. Die resultierende Spannung über den Schalterkontakt wird als transiente widerkehrende Spannung (TRV: Transient Recovery Voltage) bezeichnet. Diese Situation ist schematisch in der Abbildung 6 dargestellt.

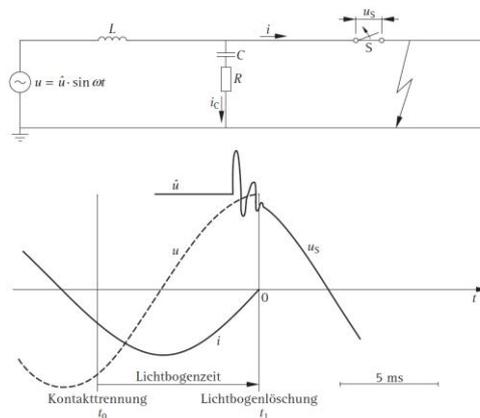


Abbildung 6. Schematische Darstellung der transienten widerkehrenden Spannung eines Leistungsschalters

Vor allem bei Vakuumschaltern in der Mittelspannung ist bekannt, dass Rückzündungen auftreten können. Darüber hinaus kann es beim Abschalten zu hohen transienten Überspannungen kommen, die die Isolation von Betriebsmitteln beanspruchen. Aus diesem Grund wird häufig im Rahmen der Planung, bzw. als Bestandteil einer Isolationskoordinationsstudie eine EMT-Berechnung durchgeführt, um einerseits sicher zu stellen, dass der Leistungsschalter richtig ausgelegt wird und andererseits um sicher zu stellen, dass die Betätigung des Schalters keine Gefährdung der Betriebsmittel im Hinblick auf Überspannungen darstellt.

Bewertung von Ferroresonanzen im Netz

Kippschwingungen können auftreten, wenn eine ungünstige Parallel- oder Reihenschaltung von Kapazitäten und nichtlinearen Induktivitäten im Netz entsteht. Am häufigsten treten diese Effekte bei Spannungswandlern auf.

Bei Einschaltvorgängen oder verlöschenden Erdschlüssen in Verbindung mit einpoligen Spannungswandlern können Kippschwingungen auftreten, wenn gleichzeitig folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Das Netz ist ungelöscht und ungeerdet.
- Es sind einpolig isolierte Spannungswandler eingebaut, deren Nenninduktivität größer als ein bestimmter Wert (z.B. 0,4 T) ist. Dieser ist rechnerisch zu ermitteln.
- Die Leiter-Erde Kapazitäten C_E liegen in einem bestimmten Bereich. Diese sind rechnerisch zu ermitteln.

Die Netzbetreiber haben in der Regel dank langjähriger Erfahrung mit bestimmten konstruktiven Ausführungen von Wandlern und unter Kenntnis von den typischen Kapazitäten zur Erde des Netzes einige Richtwerte ermittelt, unter denen das Risiko des Auftretens einer Kippschwingung bewertet werden kann. Beispiel: Wenn die Nenninduktivität des Wandlers zwischen 0,7 T und 0,95 T liegt und wenn die Kapazität zur Erde im Bereich von 0,1 μF und 1,2 μF liegt, ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Kippschwingung als hoch einzustufen. Es können trotzdem neue Netzkonfigurationen oder neue Wandlertechnologien eine detaillierte Untersuchung der Ferroresonanz fordern.

Es soll auch berücksichtigt werden, dass bei den technischen Anschlussrichtlinien der Verteilnetzbetreiber für den Anschluss von Kundenanlagen häufig gefordert wird, dass Spannungswandler so ausgelegt werden müssen, dass Kippschwingungen vermieden werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden entweder kippschwingungsarme Wandler eingesetzt (Hierbei handelt es sich um speziell berechnete Wandler, die insbesondere wegen ihrer besonderen Magnetisierungskennlinie nicht zu Kippschwingungen neigen.) oder Kippschwingungsdämpfungen (Beschaltung der im offenen Dreieck geschalteten e-n-Wicklung) integriert.

Eine EMT-Simulation, eignet sich besonders gut, um eine Wandlerauslegung im Hinblick auf mögliche Ferroresonanzen zu bewerten.

Bewertung von Netzqualitätsphänomene

Unter dem Begriff Netzqualität (Power Quality) werden eine Reihe von Netzqualitätsmerkmalen (Oberschwingungen, Zwischenharmonische, Flicker, Spannungsänderungen, etc.) bewertet. In der Planung werden diese Phänomene teilweise rechnerisch bewertet, um einschätzen zu können, ob schon in der Planung Abhilfemaßnahmen (z.B. Filteranlagen) einzuplanen sind. Bei Netzqualitätsberechnungen wird schwerpunktmäßig das Oberschwingungsverhalten im Netz bewertet. Dafür werden hauptsächlich Simulationen im Frequenzbereich durchgeführt. Obwohl eine Simulation im Frequenzbereich das richtige Instrument für eine netzübergreifende Berechnung von Oberschwingungen wäre, kann bei manchen Situationen eine detaillierte Analyse der Oberschwingungssituation anhand von einer EMT-Simulation sinnvoll sein. Im Gegensatz zu einer Frequenzbereich-Simulation, bei der das nichtlineare Verhalten von Netzelementen (z.B. Hauptinduktivität von Transformatoren) vernachlässigt wird, wird dies bei einer EMT-Simulation berücksichtigt. Dadurch lässt sich mit einer höheren Präzision ermitteln, unter welchen Voraussetzungen bestimmte Netzqualitätsphänomene auftreten.

Auch eine Bewertung der Wirksamkeit von Abhilfemaßnahmen zur Verbesserung der Netzqualität kann ein sinnvoller Anlass zur Durchführung einer EMT-Simulation darstellen.

Bewertung des Anfahrens von großen Motoren

In der Industrie gibt es Prozesse, bei denen große Motoren (mit Nennleistungen größer 2 MW) Anwendung finden. Aufgrund der großen Leistungsaufnahme dieser Art von Verbrauchern kann es vorkommen, dass vor allem beim Anfahren der Motoren Netzurückwirkungen (Spannungseinbrüche) entstehen, die den Betrieb anderer angeschlossener Lasten beeinträchtigen. Sinnvoll ist es somit, in der Planungsphase zu bewerten, inwiefern eine Abhilfemaßnahme (z.B. eine dynamische Blindleistungskompensation) eingeplant werden muss. Hierfür dient eine EMT-Simulation zur zuverlässigen und präzisen Beurteilung von möglichen Netzurückwirkungen, die beim Anfahren von Motoren entstehen können.

Unser Dienstleistungskonzept

Je nach Fragestellung bieten wir in enger Abstimmung mit dem Kunden maßgeschneiderte Dienstleistungen für Zeitbereichsuntersuchungen an. Das allgemeine Vorgehen ist in der Abbildung 7 dargestellt.

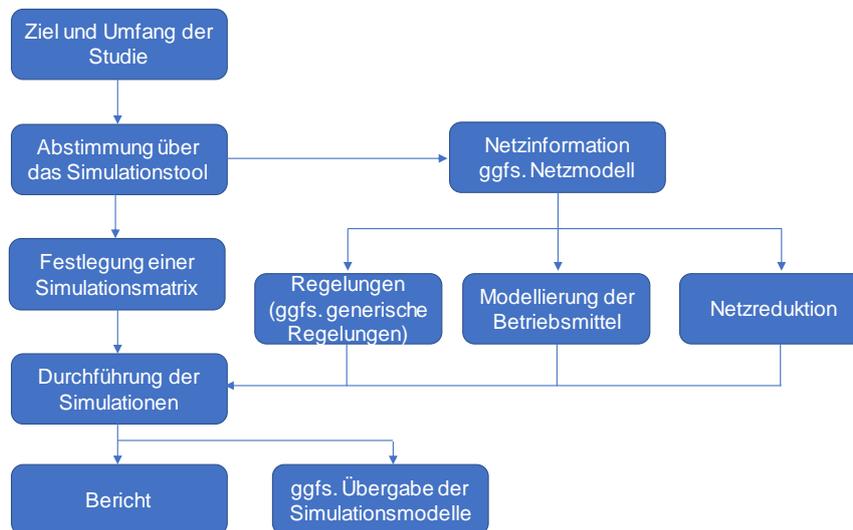


Abbildung 7. Vorgehensweise zur Durchführung einer EMT-Simulation

Als ersten Schritt findet eine Abstimmung mit dem Kunden über die Ziele und den Umfang der Untersuchung statt. Ferner wird die zur Anwendung kommende Simulationssoftware mit dem Kunden abgesprochen. Standardmäßig werden je nach Kundenpräferenz und Eignung die folgende Simulationstools verwendet: DigSilent PowerFactory, PSCAD-EMTDC, ATP-EMTP.

Der für die Untersuchung relevante Netzabschnitt wird zunächst topologisch nachgebildet und die Betriebsmittelmmodelle mit Hilfe von Kundendaten und ggf. durch ergänzende Messdaten parametrisiert. Hierfür wird das Netz auf einen kleinen Netzausschnitt reduziert. Das übrige Netz wird durch geeignete Netzeinspeisungen dargestellt. Die Betriebsmittel werden durch geeignete Modelle nachgebildet. Sollte es für die Studie notwendig sein, Regelungen zu implementieren, besteht die Möglichkeit kundenspezifische Regelungen einzufügen. Alternativ können gekapselte Regelungen in die Simulationsumgebung eingebunden werden. Eine weitere Möglichkeit ist, eine generische Regelung aus der Bibliothek der Simulationssoftware zu verwenden.

Anschließend wird nach Rücksprache mit dem Kunden eine Simulationsmatrix erstellt, bei der alle relevanten Einflussparameter (z.B. Kurzschlussleistungen, Fehlereintrittszeiten, etc.) berücksichtigt werden. In einem weiteren Schritt werden die Simulationen durchgeführt. Alle Studien, die unter dem Abschnitt „Wann sollte eine EMT-Simulation durchgeführt werden?“ beschrieben sind, gehören zum Angebotsspektrum.

Die Simulationsergebnisse werden abschließend in einem Bericht dokumentiert und ausgewertet. Falls gewünscht, werden die Simulationsdateien dem Kunden übergeben. Im Rahmen einer Schulung kann ein Know-how-Transfer erfolgen.

Zusätzlich könnten unsere folgenden Produkte für Sie relevant sein:

Beschreibung
Aufzeichnung von stationären und transienten Signalen zur Validierung von Simulationsmodellen
Elektrische Vermessung zur Parameterbestimmung von Betriebsmitteln
Vermessungsbasierte Parametrierung von Modellen für die EMT-Simulation
Eignungsprüfung eines Betriebsmittelmodells für die EMT-Simulation
Entwurf von Betriebsmittelmodellen

Anwendungsbeispiel

Im Rahmen einer geplanten Netzerweiterung eines Industrienetzes um eine Blindleistungskompensationsanlage war vom Kunden eine Untersuchung des Einschaltvorgangs der Kompensation 1 gewünscht. Die Kompensation 1 ist eine verdrosselte Kompensationsanlage und besteht aus einer Reihenschaltung, aus einer Induktivität und einer Kapazität. Es wurde eine EMT-Simulation durchgeführt, bei der die transiente Spannung an der 30 kV UV 1 und der Laststrom an der Kompensation 1 dreiphasig aufgezeichnet wurde. Abbildung 8 zeigt einen Netzausschnitt mit der Kompensationsanlage.

Es sollte mit der Untersuchung geklärt werden, ob bei der Zuschaltung der Kompensationsanlage das Risiko besteht, dass unzulässige Überspannungen entstehen.

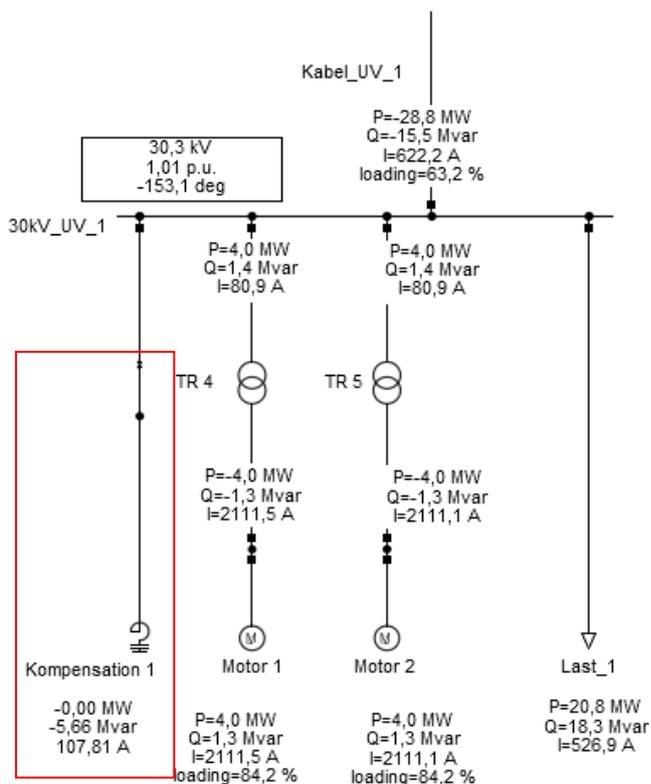


Abbildung 8: Netzausschnitt eines Industrienetzes

Aus der EMT-Simulation, die in Abbildung 9 dargestellt ist, geht hervor, dass im Moment der Zuschaltung hohe Lastströme (Bild oben) zu beobachten sind, die das Sechsfache der Nennströme des Betriebsmittels erreichen. Ebenso ist im Spannungsverlauf (Bild unten) zu sehen, dass abhängig vom Zeitpunkt der Zuschaltung die Spannungen bis zu 50 % höher sind als die Nennspannungen.

Darüber hinaus ist ebenfalls mit Abbildung 10 festzustellen, dass in der Spannung Oberschwingungen enthalten sind, die bei 300 Hz und 2800 Hz stark ausgeprägt sind.

Fazit:

Das Anwendungsbeispiel zeigt, dass bei Schalthandlungen transiente Überspannungen und Überströme auftreten können, die nach Möglichkeit schon in der Planungsphase berücksichtigt werden sollten. Mit Hilfe der durchgeführten Simulation konnte eine Beurteilung der maximal auftretenden Spannungen und Ströme erfolgen. Es wurde bestätigt, dass die Zuschaltung der Kompensationsanlage kein Risiko im Hinblick auf Überspannungen darstellt. Darüber hinaus wurden aus der Simulation Stromverläufe ermittelt, die für die Auslegung des Kurzschlusschutzes der Kompensationsanlage erforderlich sind. Es konnte ebenfalls ermittelt werden, dass bei der Zuschaltung der Kompensationsanlage bestimmte Frequenzen angeregt werden, die möglicherweise andere Lasten, die gegenüber diesen Frequenzen empfindlich sind, stören können.

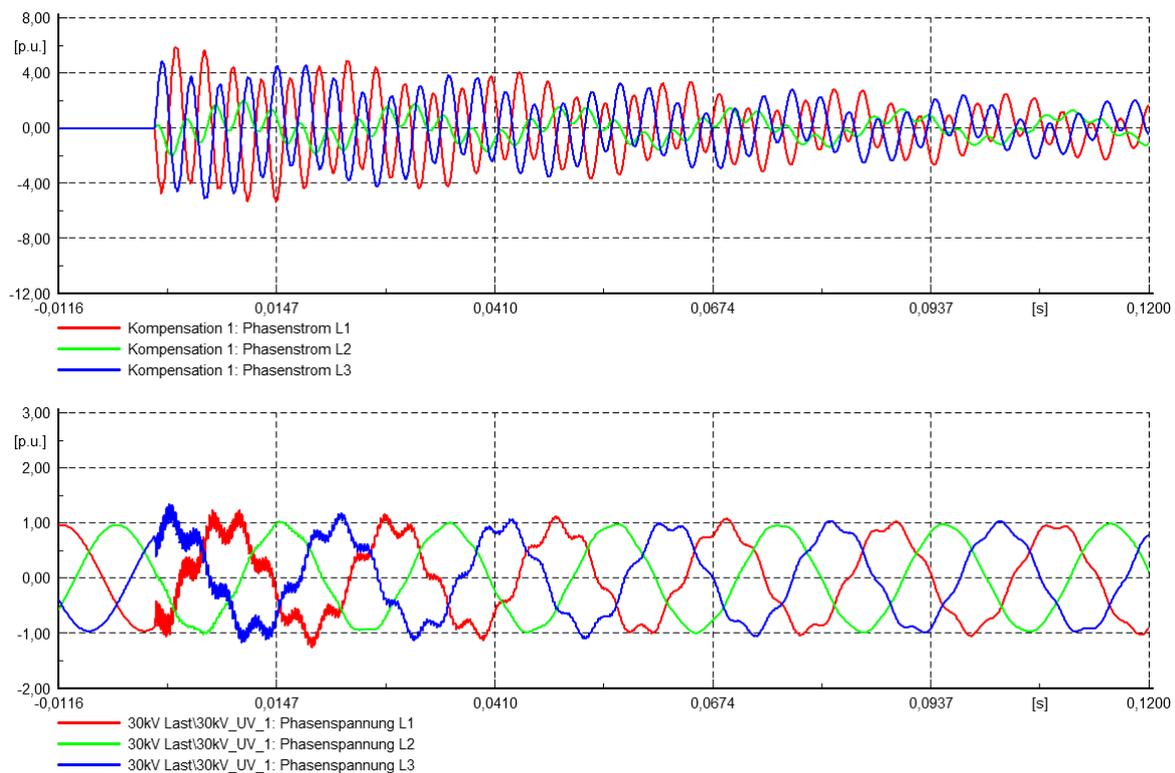


Abbildung 9: Simulationsverlauf der Einschaltströme und Spannungen an einer Kompensationsanlage

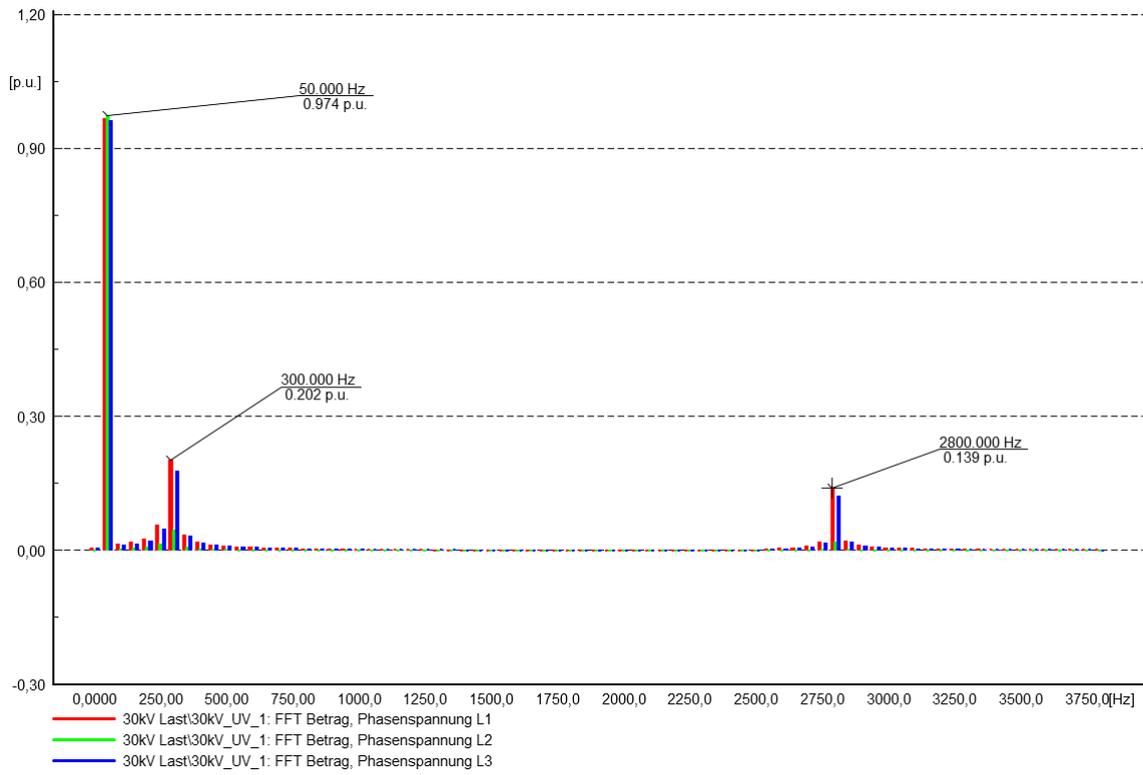


Abbildung 10: Oberschwingungsgehalt der transienten Spannung



Ihre Vorteile

- ✓ Know-how in den Bereichen Betriebsmittel, Modellierung und Simulation aus einer Hand
- ✓ Flexibler Ansatz aufgrund der Verwendung verschiedener Simulationstools
- ✓ Neutral und herstellerunabhängige Studie
- ✓ Aufschlussreiche Störfallanalyse zur Identifizierung von Störungsursachen, die für eine Wiederholung einer Störung essentiell ist
- ✓ Frühzeitige Aufdeckung von Schwachstellen im Netz in der Planungsphase von Anlagen. Somit können schon in der Planung potenziell Abhilfemaßnahme identifiziert und bewertet werden.

Gerne beraten wir Sie bei Ihrer Fragestellung hinsichtlich einer EMT-Simulation. Nehmen Sie einfach Kontakt mit uns auf!



Ihr Ansprechpartner:

Christoph Kath
Tel. +49 2383 6189-695
Mobil +49 173 60 92 205
c.kath@hgmes.de

Hubert Göbel GmbH
Siemensstraße 42
D-59199 Bönen
www.hgmes.de