

Grundprinzipien von Generatoren für die Informationstechnik

Von Robert Wolfgang

**White paper /
technische
Dokumentation
Nr. 93**

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Zusammenfassung

Jeder IT-Profi, der für den Betrieb von Datenverarbeitungsgeräten verantwortlich ist, muss sicherstellen, dass das Datacenter oder der Netzwerkraum auf längere Stromausfälle vorbereitet ist. Mit der Kenntnis der Grundfunktionen und -konzepte von Notstromgeneratorsystemen besitzen IT-Profis eine solide Grundlage für die erfolgreiche Spezifikation betriebskritischer Anlagen sowie für deren Installation und Einsatz. Dieses Papier ist eine Einführung in Notstromgeneratoren und Subsysteme, die bei Ausfall der Netzstromversorgung die kritischen elektrischen Lasten einer Anlage versorgen.

Einführung

Ein Notstromgeneratorsystem umfasst zwei Subsysteme: (1) den Generator, der aus dem Antriebsaggregat, der Wechselstrommaschine und dem Leistungsregler besteht, sowie (2) das Verteilersystem, das den Automatic Transfer Switch (ATS) sowie die zugehörige Schaltvorrichtung und Unterverteilung enthält.

Abbildung 1 zeigt einen typischen Notstromgenerator. In diesem Papier werden die Haupt subsysteme und deren Grundfunktionen erläutert. Es handelt sich jedoch um eine Einführung, die zu einer Reihe entsprechender APC-Papiere gehört, in denen Generatorsysteme detaillierter behandelt werden. Leser, die an einer umfassenderen Darstellung des Themas interessiert sind, finden hier Verweise auf weiterführende Literatur.

Abbildung 1 – Notstromgenerator



Wenn Investitionen in ein Generatorsystem getätigt werden, sollten die technischen Vorteile moderner Systeme und die bedeutenden Fortschritte in Bezug auf Zuverlässigkeit und Funktionalität bekannt sein, die in den letzten 10 bis 15 Jahren stattgefunden haben. Ältere Generatorsysteme können häufig nachträglich modernisiert werden, sodass sie den aktuellen Anforderungen entsprechen. Weitere Erläuterungen zu wichtigen Anforderungen an Generatorsysteme für moderne einsatzkritische Anlagen finden Sie im APC White paper Nr. 90, „Notwendige Generator-Systemanforderungen für die neue Generation von Datacentern“.

Das Antriebsaggregat: Verbrennungsmotor

Was ist ein Verbrennungsmotor? Vermutlich wird der Wagen, den Sie fahren, von einem Verbrennungsmotor angetrieben. Der Verbrennungsmotor ist das angesehene Arbeitstier der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und erfüllt diese Funktion auch noch im neuen Jahrtausend. Einfach ausgedrückt, ein Verbrennungsmotor wandelt den Treibstoffvorrat über seine internen beweglichen Teile in mechanische Bewegung um. Wenn sich die Umgebungsluft im Motor mit dem Brennstoff vermischt, zünden diese beweglichen Teile das Luft-Brennstoff-Gemisch und erzeugen in Hohlräumen, den Zylindern, eine kontrollierte interne Explosion (Verbrennung). Es gibt zahlreiche Varianten von Verbrennungsmotoren, bei Notstromgeneratorsystemen wird jedoch am häufigsten der Viertaktmotor verwendet. Diese Bezeichnung beruht auf den vier verschiedenen Phasen des Verbrennungszyklus. Hierzu gehören das Ansaugen des Luft-Treibstoff-Gemisches, die Kompression dieses Gemisches, die Verbrennung oder Explosion und der Abzug der Abgase. Bei Generatoren wird der Motor im Allgemeinen als Antriebsaggregat bezeichnet. Nachfolgend werden die wichtigsten Eigenschaften des Antriebsaggregats beschrieben.

Treibstoff

In Verbrennungsmotoren kommen im Wesentlichen vier Treibstoffe zum Einsatz. Diesel, Erdgas, Flüssiggas und Benzin. Die Wahl des Treibstofftyps richtet sich nach Variablen wie Lagerung, Kosten und Verfügbarkeit.

Auspuff, Emissionen und Geräuschentwicklung

Der Auspuff des Generatorsystems spielt bei Luftverschmutzung und Lärmbelästigung eine wichtige Rolle. Während Geräuschdämpfung und die Führung der Abgase technisch einfach zu lösen sind, gilt dies nicht für die Umweltschutzaspekte und gesetzlichen Fragen. EGSA (Electrical Generating Systems Association) ist eine internationale Organisation, die reichhaltige Informationen über Emissionen und andere Aspekte von Notstromgeneratoren bietet. Umweltschutzgesetze, Baugenehmigungen und die Dauer des Generatoreinsatzes variieren je nach Region beträchtlich. Das Umweltbundesamt der USA (United States Federal Environmental Protection Agency, EPA) beispielsweise hat jedem Bundestaat die juristische Autorität und Entscheidungsgewalt darüber überlassen, wie die auf nationaler Ebene festgelegten Ziele für die Luftqualität zu erreichen seien. In anderen Ländern gibt es vergleichbare Kontrollbehörden, die Grenzwerte für Generatoremissionen festlegen. Im Vereinigten Königreich z. B. legt das Ministerium für Umwelt, Nahrung und Landwirtschaft (Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra) Richtlinien für den Umweltschutz fest. In Indien übernimmt das Umwelt- und Forstministerium (Ministry of Environment and Forest, MoEF) diese Funktion. Wenn sich die Anlage in einem Gebiet befindet, für das strenge Vorschriften gelten, müssen die Angaben zu den Emissionen des Generatorsystems bei der Beantragung von Genehmigungen eingereicht werden. Branchenprofis besitzen in der Regel Erfahrungen mit dem Genehmigungsverfahren an den Standorten, an denen sie arbeiten.

Die Lärmbelastigung unterliegt ebenfalls der Genehmigung durch die Rechtsbehörden. In lokalen Verordnungen wird die Lärmbelastigung normalerweise durch einen Vergleich mit dem innerhalb von 24 Stunden stärksten erfassbaren Hintergrundlärm definiert. Auspuffschalldämpfer fallen im Allgemeinen unter die Kategorien „für Industriegebiete geeignet“, „für Wohngebiete geeignet“ oder „für kritische Gebiete geeignet“. Dämpfer der letztgenannten Kategorie haben die stärkste Lautstärkereduzierung. Um die Ausgaben für eine Modernisierung zu schonen, sollte man vor dem Kauf die Lärmabgabe des Systems berücksichtigen und diese Werte in der Planungsphase von der Baubehörde bewerten lassen. Mechanische Vibrationen tragen ebenfalls zum allgemeinen Lärmpegel und zur Wahrnehmung von Lärm durch die Bewohner in der Umgebung bei. Es gibt Montage- und Isolierungsverfahren, mit denen sich dieses Problem minimieren lässt.

Ein dritter Punkt, der zu erwähnen ist, ist die äußere Gestaltung, da Generatoren eventuell von den örtlichen Gemeinden genehmigt werden müssen. In manchen Gemeinden gibt es Vorschriften für die Aufstellung von Generatoren. Beispielsweise müssen sie in einem festen Gebäude aus Beton oder Mauerwerk aufgestellt werden, das zum Erscheinungsbild des Hauptgebäudes passt. So fällt der Generator weniger auf und passt sich neutral den benachbarten Gebäuden an.

Einlass der Verbrennungsluft

Vorrichtungen, die die Zufuhr kühler, sauberer Luft zum Motor gewährleisten, müssen in die Konstruktion des Raums integriert werden. Zudem sollte reichlich kühle Frischluft für das Personal zugeführt werden. Häufig sind hierzu große Lüftungskanäle und eventuell zusätzliche Gebläse erforderlich. Ebenso sind Vorkehrungen zu treffen, dass Regen, Schnee und Schmutz vom System ferngehalten werden.

Kühlung

Die meisten Antriebsaggregate für Generatoren werden mit einem Radiatorkühlsystem gekühlt, das weitgehend dem Kühlsystem in einem Auto entspricht. Mit einem Gebläse wird ausreichend Luft über den Kühler geführt, damit der Motor nicht zu heiß wird. Die Abwärme des Kühlers wird über eine Leitung nach außen abgeführt, deren Querschnittsfläche der Größe der Radiatorkühlerfläche entspricht. Die Öffnung für die angesaugte Luft (Belüftungsklappe in den Raum) ist normalerweise 25 bis 50 % größer als diese Leitung. Damit ein zuverlässiger Betrieb gewährleistet ist, muss das Kühlsystem sorgfältig gewartet werden. Kühlmittelschläuche, Kühlmittelpegel, Funktion der Wasserpumpe und Frostschutz sind sorgfältig zu prüfen, um eine akzeptable Leistung zu erzielen.

Schmierung

In modernen Viertaktmotoren werden Vollstromfiltersysteme eingesetzt, die das Schmieröl durch extern angebrachte Filter pumpen, damit die beweglichen Teile oder Lager nicht durch schädliche Partikel und Schadstoffe beschädigt werden. Ausgleichsölbehälter sorgen für den richtigen Ölstand, externe Ölkühler verhindern ein Aussetzen der Schmierung aufgrund hoher Temperaturen.

Filter: Luft- und Treibstoff

Luft und Treibstoff sind wichtige Elemente für den zuverlässigen Betrieb des Antriebsaggregats. Es ist unerlässlich, die vorgeschriebenen Wartungen durchzuführen. Ein System mit redundanten Treibstoffleitungen und Filtern ist ein wichtiger Vorteil bei einsatzkritischen Anwendungen, bei denen lange Laufzeiten möglich sein müssen. Nur so können Treibstoffleitungen und Filter isoliert und bei laufendem Aggregat ausgetauscht werden. Fehlen Ersatzteile für Filter und anderes „Verbrauchsmaterial“, so kann dies zu Ausfallzeiten führen.

Diese Filter können mithilfe von Differenzialdruckmessern vorausschauend überwacht werden. Sie zeigen während des Motorbetriebs den Druckunterschied für einen Filter oder zwischen zwei Treibstoffleitungen an. Wenn diese Überwachungsgeräte auf Luftfilter angewandt werden, bezeichnet man sie als Luftzufuhreinschränkungsindikatoren. Sie zeigen während des Betriebs des Generators an, ob ein Trockenansaugfilter ersetzt werden muss.

Anlasser

Das Startsystem ist besonders wichtig für den erfolgreichen Einsatz des Generators. Da einsatzkritische Lasten häufig an USV-Systeme mit wenigen Minuten Akkulaufzeit angeschlossen sind, kommt es auf einen schnellen Start an. Die Zeit zum Erkennen des Stromversorgungsproblems, zum Starten des Antriebsaggregats, zum Herstellen einer stabilen Ausgabefrequenz und -spannung sowie zur Verbindung mit den Lasten beträgt in der Regel mindestens 10 bis 15 Sekunden. Viele Systeme, die heute in Gebrauch sind, arbeiten jedoch nicht so zuverlässig und schnell, da beispielsweise Akkus nicht geladen sind oder gestohlen wurden. Weitere Gründe sind fehlerhafte Wartung und menschliches Versagen. Gewissenhafte Wartung und Konstruktion sind absolut entscheidend für eine hohe Erfolgsquote beim Start von Generatorsystemen.

In den meisten Generatorsystemen wird ebenso wie in Autos ein akkubetriebener Anlasser verwendet, obwohl es für sehr schwere Antriebsaggregate auch pneumatische oder hydraulische Alternativen gibt. Das wichtigste Element bei einem konventionellen Anlasser ist sicherlich das Akkusystem. Die für das Laden des Akkus vorgesehene Wechselstrommaschine, die in einigen Aggregaten vorhanden ist, verhindert beispielsweise nicht das Entladen des Akkus in den nutzungsfreien Zeiten. Empfehlenswert ist daher die Bereitstellung eines separaten automatischen Ladesystems mit Fernalarm. Entscheidend ist auch, dass der Akku warm bleibt und nicht korrodiert.

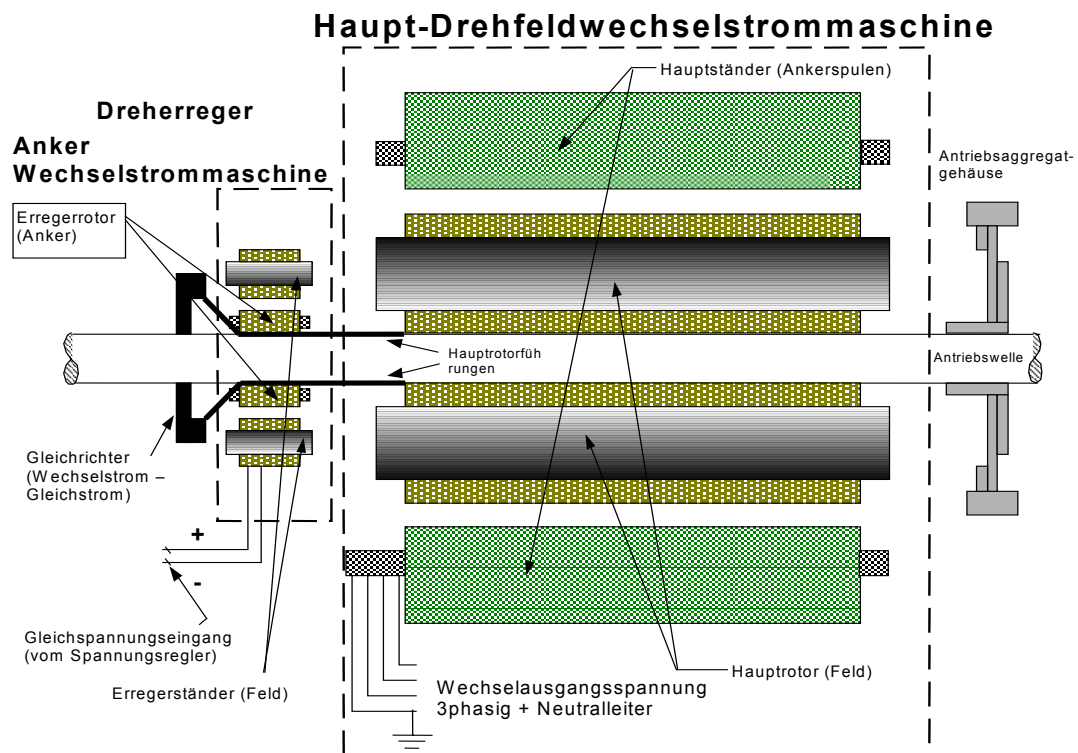
Das Wärmen des Akkus erfolgt mithilfe eines Heizgeräts, das die Elektrolyttemperatur des gekapselten Bleigelakkus aufrechterhält. In einer kalten Umgebung wird zum Ankurbeln des Motors ein sehr hoher Anlasserstrom benötigt. Die Akkuleistung wird in CCA (Cold Cranking Amperes, Kaltstartstromstärke) gemessen. Damit wird die Stromstärke angegeben, die bei $-17,8\text{ °C}$ für 30 Sekunden zur Verfügung steht. Bei Temperaturen unter $-17,8\text{ °C}$ und über $26,7\text{ °C}$ ist die Zuverlässigkeit sehr gering.

Motorblockheizgeräte verbessern ebenfalls das Startverhalten, da die Reibungskräfte reduziert werden, gegen die der Anlasser arbeiten muss. In zahlreichen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Startfehler die Hauptursache für den Ausfall von Generatorsystemen sind.

Die Wechselstrommaschine: die Stromgeneratorkomponente

Die Wechselstrommaschine hat die Funktion, die mechanische Energie des Antriebsaggregats in Wechselstrom zu wandeln. Dies entspricht der Funktion der Lichtmaschine in einem Auto; dort wird sie in der Regel durch einen Riemen angetrieben, in einem Generator dagegen von der Hauptantriebswelle des Antriebsaggregats. Eine sehr einfache Wechselstrommaschine kann aus einer Drahtspule und einem Magneten bestehen. Elektrizität wird erzeugt, wenn sich die Drahtspule durch das Magnetfeld bewegt, das durch den positiven und negativen Pol des Magneten erzeugt wird. Es wäre auch möglich, das Magnetfeld zu bewegen, während der Draht an Ort und Stelle bleibt. Eine Wechselstrommaschine dieses Typs würde natürlich sehr wenig Elektrizität erzeugen, sie beruht jedoch auf den gleichen elektrischen Prinzipien wie große Wechselstrommaschinen in Generatoren. Im Laufe der Jahre wurden bestimmte Eigenschaften von Wechselstrommaschinenkomponenten verbessert, um die Effizienz, Kapazität und Zuverlässigkeit der Wechselstrommaschine zu erhöhen. Diese Eigenschaften werden unten erläutert. **Abbildung 2** zeigt die Hauptkomponenten einer typischen Wechselstrommaschine in einem Generatorsystem.

Abbildung 2 – Querschnitt: selbststartende, extern geregelte, bürstenlose Wechselstrommaschine



Bürstenlos

Bürstenlos heißt, dass bei dieser Konstruktion keine Kontakte gegen rotierende Teile drücken, um elektrische Energie zu oder von den Komponenten zu übertragen. Bürsten eignen sich eventuell für den Einsatz in Motoren und sehr kleinen Generatoren. Die Bürsten nutzen sich jedoch ab und können kaum vorausschauend überprüft werden. Ein größerer Generator mit Bürsten entspricht nicht den aktuellen Zuverlässigkeitsstandards, die für einen einsatzkritischen Betrieb benötigt werden.

Selbststartend

Im obigen Beispiel wurde ein Magnetfeld mithilfe eines Magneten erzeugt. Bei großen Wechselstrommaschinen wird ein wesentlich stärkeres Magnetfeld benötigt, um große Mengen Elektrizität erzeugen zu können. Auf einem Schrottplatz wäre es z. B. mit einem einfachen Magneten auch nicht möglich, große Metallteile zu bewegen. Stattdessen wird ein an einem Kran hängender Elektromagnet verwendet. Ein Elektromagnet ist ein mit Strom gespeister Magnet, und bei modernen Wechselstrommaschinen ist dieser Magnet „selbststartend“. Selbststartend bedeutet, dass die zum Erzeugen des elektromagnetischen Feldes verwendete Elektrizität in der Wechselstrommaschine selbst erzeugt wird. Dadurch kann die Wechselstrommaschine große Mengen Elektrizität ausschließlich mit der Energie erzeugen, die durch das Antriebsaggregat bereitgestellt wird.

Das Haupteisen oder die Ankerspule

Das Haupteisen oder die Ankerspulen sind die stationären Drahtspulen, in denen die Elektrizität für die kritischen Lasten induziert wird. Die Eigenschaften des erzeugten Wechselstroms hängen von der Menge und Geometrie der Spulenwicklungen ab. Es gibt eine große Anzahl von Konfigurationen, die verschiedene Kombinationen zulässiger Stromstärke und erforderlicher Spannung liefern.

Dreiphasenwicklungen sind drei separate Spulen, die in einem Winkel von 120 Grad auf dem Rotationskreis angeordnet sind. Wenn das Magnetfeld der Wechselstrommaschine nur über ein Nordpol-Südpol-Paar verfügt, wird bei jeder Umdrehung des Antriebsaggregats ein Takt Wechselstrom pro Phase erzeugt. Um also einen Wechselstrom mit 60 Hz zu erzeugen, muss das Antriebsaggregat die Wechselstrommaschine mit 3600 U/min drehen. Dies ist ein mittlerer Umdrehungswert für Dieselgeneratoren, die dadurch etwa doppelt so schnell verschleifen wie ein Motor mit 1800 U/min. Wenn das Magnetfeld der Wechselstrommaschine mit vier Polen konstruiert wird, lässt sich die Drehzahl des Antriebsaggregats auf 1800 U/min begrenzen, um eine Ausgangsspannung mit 60 Hz zu erzielen. Es gibt auch Generatorsysteme mit noch niedrigeren Drehzahlen, die Wechselstrommaschinen mit sechs oder acht Polen (1200 bzw. 900 U/min) enthalten.

Erdung

Die Erdung des Generatorsystems und der Massekontakt des Neutralleiters sind entscheidende Details. Sowohl für die Fehlerbehebung als auch für die Stromqualität muss das Erdungsverfahren den elektrischen Vorschriften für die jeweilige Region entsprechen. In den USA wird z. B. der National Electric Code (NEC), Paragraph 250 Ref. 4 verwendet (oder weitere in dem jeweiligen Verwaltungsbezirk geltende Normen).

Die Erdung wird in Anlagen jeder Größe wahrscheinlich am häufigsten nicht richtig verstanden und falsch ausgeführt. Einschlägige Informationen sind in der IEEE¹-Norm 446-1995, IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications (Orange Book) enthalten. Bei der Stromversorgung empfindlicher elektronischer Lasten sollten die Empfehlungen der IEEE-Norm 1100-1999, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (Emerald Book), ebenfalls sorgfältig beachtet werden.

Neutemperatur

Die Neutemperatur der Wechselstrommaschinenwicklungen ist eine weitere wichtige technische Kennziffer, insbesondere bei Anwendungen unter speziellen Umgebungsbedingungen wie extreme Höhe, extreme Umgebungstemperaturen oder schwierige Lüftung.

Um die Wicklungstemperaturen niedrig zu halten, wird gelegentlich ein übergroßer Generator eingesetzt. Möglich ist aber auch der Einsatz einer speziellen Isolierung, die höheren Temperaturen standhält. Die jeweilige Betriebsumgebung stellt unter Umständen aufgrund von Feuchtigkeit, Temperatur, Schimmel, Ungeziefer usw. besondere Anforderungen an den Betrieb. Es gibt spezielle Konstruktionen und Isolierungen für Umgebungsbedrohungen, die dafür sorgen, dass die Wicklungen trocken bleiben und die Isolierung nicht nachlässt.

Der Leistungsregler: Frequenz und Regelung der Wechselstromausgangsspannung

Der Leistungsregler sorgt unter verschiedensten Bedingungen für eine konstante Drehzahl des Antriebsaggregats, indem er die Treibstoffmenge für das Antriebsaggregat regelt. Eine stabile Wechselstromfrequenz wird benötigt. Diese hängt direkt von der Genauigkeit und Antwortzeit des Leistungsreglers ab. Dieses Element ist eine zentrale Komponente zur Bestimmung der Qualität der Wechselstromausgangsspannung.

Wenn die Benutzer an ein stabiles Versorgungsnetz angeschlossen sind, darf ihre Arbeit nicht durch Frequenzschwankungen und deren Auswirkungen auf die Stromqualität beeinträchtigt werden. Empfindliche Elektronik neigt zu Störungen, wenn sich die Frequenz unter dem Einfluss der Generatorleistung abrupt ändert. Die Fähigkeit des Generators, eine konstante Frequenz zu erzeugen, hängt direkt mit der durch den Leistungsregler geregelten Drehzahl des Antriebsaggregats zusammen. In zahlreichen Systemen, seien es einfache Konstruktionen mit Federn oder komplexe Hydraulik- und Elektroniksysteme, wird die Treibstoffdrosselklappe dynamisch gesteuert, damit die Drehzahl des Aggregats konstant bleibt. Schon das Hinzufügen oder Wegnehmen von Lasten oder deren Ein- und Ausschalten erzeugt Zustände, auf die der Leistungsregler reagieren muss.

¹ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ist eine führende Behörde auf vielen technischen Gebieten einschließlich Elektrizität. Es ist ein gemeinnützlicher technischer Fachverband mit mehr als 360.000 einzelnen Mitgliedern in etwa 175 Ländern. www.ieee.org

Ein isochroner Leistungsregler sorgt unabhängig vom Lastpegel für eine stets konstante Geschwindigkeit. Dennoch schwankt die Geschwindigkeit des Antriebsaggregats geringfügig, und das Ausmaß dieser Schwankungen ist ein Maß für die Stabilität des Leistungsreglers. Es gibt heutzutage Leistungsregler, die die Frequenz mit einer Genauigkeit von $\pm 0,25$ % regeln und in 1 bis 3 Sekunden auf Lastwechsel reagieren. Die heutigen elektronischen Festkörperkonstruktionen regeln die für empfindliche Lasten benötigte Frequenz sehr zuverlässig.

Wenn zwei oder mehr Generatoren parallel geschaltet werden, um die Kapazität zu erhöhen oder Redundanz zu gewährleisten, müssen sie sämtlich auf die gleiche Geschwindigkeit geregelt werden, wobei entweder das Stromnetz oder ein anderer Generator als Frequenzreferenz verwendet wird. Sind die beiden Quellen nämlich nicht mehr synchron, übernimmt eine der Quellen einen größeren Teil der Last, was eine Korrektur erforderlich macht.

In jüngster Zeit wurden ausgefeilte elektronische Leistungsreglersysteme für den Parallelbetrieb entwickelt, die unter verschiedenen Bedingungen eine überragende Koordination und Frequenzstabilität gewährleisten. Diese Fortschritte sind eine willkommene Verbesserung der Hochverfügbarkeitsanforderungen moderner Datacenter, denn sie bedeuten mehr Zuverlässigkeit sowie geringeren Wartungs- und Koordinierungsaufwand.

Die Auswahl des Leistungsreglers hängt vom Treibstofftyp des Generators sowie von der Größenordnung potenzieller Laststufenänderungen ab. Da diese beiden Faktoren die Genauigkeit und Stabilität der Geschwindigkeit des Antriebsaggregats beeinflussen, sind sie im Gesamtkonzept zu berücksichtigen.

Spannungsregelung

Die Grundfunktion eines Spannungsreglers besteht darin, die Ausgangsspannung der Wechselstrommaschine zu regeln. Der Betrieb des Spannungsreglers ist von entscheidender Bedeutung für kritische Lasten, die von der Stromversorgung des Computersystems abhängen. Ziel ist es, ein System mit einer entsprechenden Reaktionszeit zu konfigurieren, um Unter- und Überspannungen zu minimieren, die bei Lastwechseln auftreten. Ein weiteres zu beachtendes Problem ist das Verhalten des Reglers bei nichtlinearen Lasten wie älteren Schaltnetzteilen. Nichtlineare Lasten verbrauchen Strom eventuell auf eine Weise, die der Spannungswellenform nicht entspricht, während Widerstandslasten (wie Lampen) Strom synchron zur Spannungswellenform verbrauchen. Nichtlineare Lasten können die Leistung eines Generatorsystems beeinträchtigen und damit die Verfügbarkeit der kritischen Last während des Bereitschaftsbetriebs gefährden.

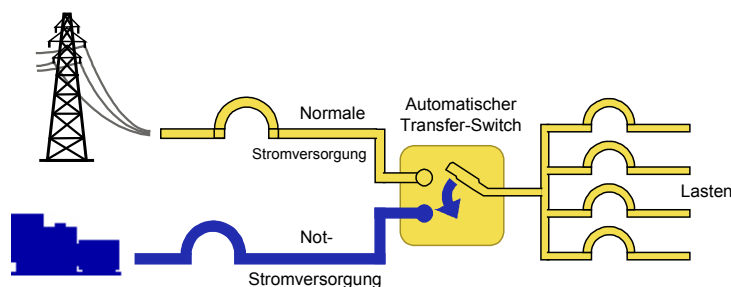
In EGSA 101E Abschnitt 5 wird der Parameter Spannungsregelung als „Differenz zwischen der Dauerspannung ohne Last und der Volllastspannung ausgedrückt als Prozentsatz der Volllastspannung“ definiert. Drei Aspekte der Wechselstrommaschine bestimmen die Spannung: die Stärke des Magnetfeldes, die Geschwindigkeit, mit der das Magnetfeld durchfahren wird und die Anzahl der Wicklungen auf der Spule. Die beiden letztgenannten Faktoren sind in diesem Fall konstant. Die Spannungsregelung ist somit eine Funktion der Magnetfeldänderung; von dieser hängt das gewünschte Ergebnis ab.

Es gibt zahlreiche Techniken zur Überwachung der Ausgangsspannung, die zum Ziel haben, eine möglichst geeignete Stromqualität für Datencenter bereitzustellen. Unabhängig von der Konstruktion des Reglers sollte die Anlage so konstruiert sein, dass selbst im „ungünstigsten Fall“ die maximal zulässige Spannungsschwankung unterschritten wird. Die Faktoren, durch die der ungünstigste Fall herbeigeführt werden kann, sind eine niedrige Spannung aufgrund einer zu hohen Wicklungstemperatur oder ein hoher Anteil nichtlinearer Lasten. In den heutigen Datencentern gibt es sehr wenige nichtlineare Lasten, da hier Netzteile mit Leistungsfaktorkorrektur überwiegen. Wenn der Generator jedoch als Reserve für andere Gebäudesysteme dient, muss festgestellt werden, welche nichtlinearen Lasten vorhanden sind, damit das richtige Generatorsystem ausgewählt wird.

Schaltvorrichtung und Unterverteilung

Die Unterverteilung des Generatorausgangsstroms an die kritischen Lasten ist ein weiterer für die Systemkonzeption sehr wichtiger Bereich. Das IEEE Emerald Book (IEEE-Norm 1100-1999) gilt als maßgeblich für die Stromversorgung empfindlicher Geräte. Es ist zu empfehlen, das System nach dem IEEE Orange Book (IEEE-Norm 446-1995) zu konzipieren. Das IEEE Orange Book enthält Richtlinien für automatische Systeme, die die Stromversorgungsquelle überwachen und den Start des Motors sowie die Übertragung der Last auf den Generator auslösen, sobald dieser verfügbar ist und stabil arbeitet. Die Richtlinien gelten ebenso für die erneute Übertragung der Last an die Netzversorgung, wenn diese wieder normal funktioniert. In der Regel sind diese Funktionen in einen so genannten automatischen Transfer-Switch (ATS) integriert. Weitere übliche Funktionen sind die automatische Planung von Generatortests und ein sehr wichtiger Abkühlungszyklus für den Generator nach der Wiederherstellung der Netzversorgung. Üblicherweise stammt diese Hardware von verschiedenen Herstellern, beispielsweise von Generatorherstellern, Herstellern von Verteilervorrichtungen und Spezialisten für ATS. Es gibt heute jedoch vorgefertigte Systeme, die ohne die Nachteile angepasster Lösungen wie hohe Anschaffungskosten und Komplexität auskommen. Weitere Informationen über ATS-Systeme finden Sie im APC White paper Nr. 94, „Grundprinzipien von Generatoren für die Informationstechnik“. In **Abbildung 3** ist die Position des ATS in der elektrischen Verteilung des Gebäudes dargestellt.

Abbildung 3 – Notstromgeneratorsystem mit automatischem Transfer-Switch

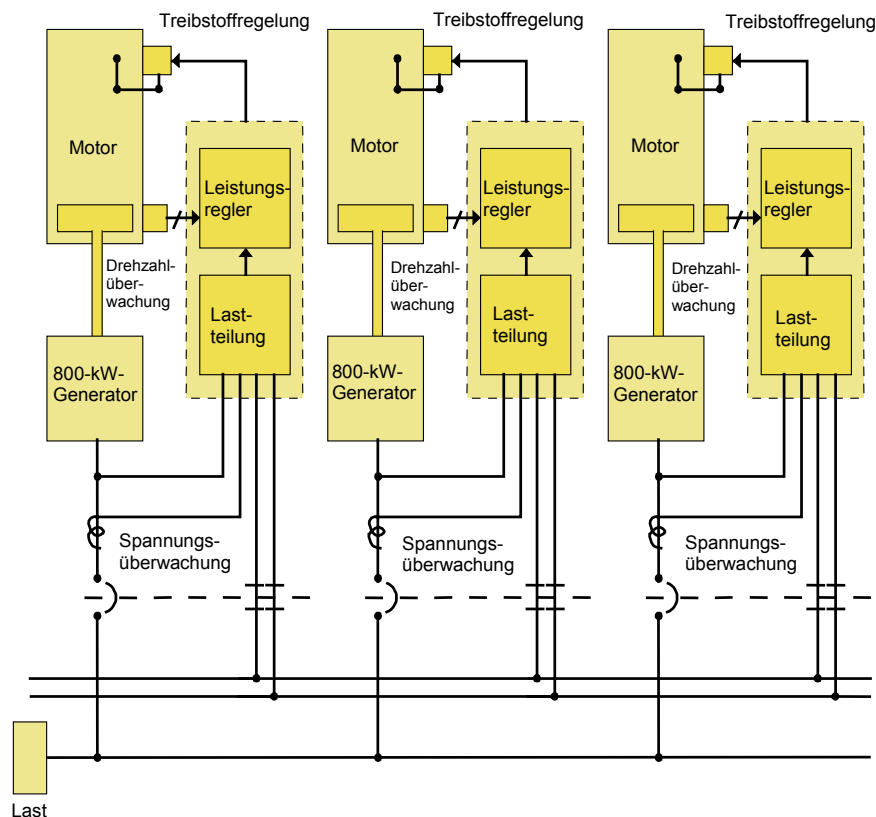


Das System muss zudem einen entsprechenden Überstromschutz aufweisen. Die Kontakte des Schaltmechanismus müssen Einschaltströmen widerstehen können, ohne dass sie verschmelzen. Wichtig ist außerdem, dass der Switch bei Volllaststrom nicht zu heiß wird und den entsprechenden Kurzschlussstrom liefern kann (der benötigt wird, um Überstromschutzgeräte wie Leistungstrennschalter auszulösen). Für den erneuten Wechsel zur Netzversorgung gibt es verschiedene Schaltschemata, die als offener und geschlossener Übergang bezeichnet werden. Beim offenen wird die Last zuerst von der Netzversorgung getrennt, bevor sie mit dem Generator verbunden wird. Beim geschlossenen Übergang wird die Last zuerst mit dem Generator verbunden und dann von der Netzversorgung getrennt. Dabei sind das Netz und der Generator also für einen kurzen Zeitraum gleichzeitig angeschlossen. Der geschlossene Übergang ist komplizierter, dafür sind die Unterbrechungen beim Umschaltvorgang minimal.

Mehrere oder parallele redundante Generatorsysteme

Die Frage nach der Anzahl der Systeme hängt sehr von der gewünschten Kapazität und Zuverlässigkeit der Anlage ab. Ein System aus mehreren (identischen) kleineren Einheiten, die gemeinsam die benötigte Spitzenlast liefern können, und mit einer zusätzlichen Einheit hat eine N+1-Redundanz. Ein Beispiel hierfür ist die in **Abbildung 4** dargestellte Anlage mit drei synchronisierten 800-kW-Generatoren, die eine Last von 1,6 MW unterstützen, wobei die dritten 800 kW in Reserve bleiben.

Abbildung 4 – isochrones 1,6 MW-Generatorsystem mit N+1-Redundanz



Während der Startsequenz werden alle drei Generatoren angelassen und synchronisiert. Eine Last von 1,6 MW kann jetzt mit einer N+1-Redundanz unterstützt werden. Parallelschaltvorrichtungen stellen zwar zusätzliche Kosten dar, erhöhen aber auch die statistische Zuverlässigkeit gegenüber einem einzelnen Antriebsaggregat. In diesem Beispiel ist die Wahrscheinlichkeit, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt mehr als ein Generatorsystem ausfällt, gering, verglichen mit einem System mit nur einem Generator. Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, dass ein Ausfall aus allgemeinen Gründen, beispielsweise das Ausgehen des Treibstoffs, einen scheinbar redundanten Plan zunichte machen kann.

Ein weiterer wichtiger Vorteil des modularen Konzepts, bei dem kleinere Systeme entsprechend der Größe der Last hinzugefügt werden, ist seine Skalierbarkeit. Für Anlagen, deren Wachstum schon geplant ist, wird eventuell ein System entworfen, das auf künftige zusätzliche Kapazität ausgelegt ist. Dazu muss der nötige Platz reserviert und die zulässige Stromstärke der Verkabelung entsprechend der zu erwartenden Last vorab ausgewählt werden. Die Kapitalkosten und die entsprechende Wartung werden aufgeschoben, bis sich die Investition durch das Wachstum der kritischen Last als lohnend erweist. Die Anforderungen sind sorgfältig zu analysieren und die Systeme sind in vernünftiger Weise entsprechend den oben gegebenen Definitionen auszuwählen. Weitere Informationen über die Skalierbarkeit finden Sie im APC-White paper Nr. 37, „Überdimensionierte Datacenter und Serverraum-Installationen: Kostenvermeidung“.

Allgemeines System- und Kompatibilitätskonzept

Im APC White paper Nr. 95, „Dimensionierung von motorgetriebenen Generatoren für betriebskritische Infrastrukturen“, werden die Skalierung und Belastung von Generatoren erörtert. Es ist jedoch wichtig, die Einflüsse von Leistungsfaktor, Transfer-Switches und USV auf die Gesamtleistung des kombinierten Systems hervorzuheben. Sind mehrere Hersteller beteiligt, müssen alle an dem Projekt beteiligten Hersteller an umfassenden Installationstests und Inbetriebnahmeschritten teilnehmen. Dabei können unvorhergesehene Kompatibilitätsprobleme aufgedeckt werden, bevor die kritischen Lasten davon betroffen sind. Diese Tests können mit verschiedenen Lasten bis zur vollen Auslastung durchgeführt werden. Häufig müssen Lastbänke eingebracht werden, welche die vorgesehenen Lasten ersetzen. Bedenken Sie jedoch, dass diese nicht dem Leistungsfaktor der Computerlasten entsprechen. Wenn keine speziellen Blindlastbänke zur Verfügung stehen, sollten zusätzliche Tests mit den tatsächlichen Lasten durchgeführt werden, sobald diese verfügbar sind.

Eine Möglichkeit, die bei Verwendung speziell angepasster Generatoren, ATS- und USV-Lösungen mehrerer Hersteller auftretenden komplizierten Probleme und Tests zu vermeiden, ist die Spezifikation eines Komplettsystems, das von einem einzigen Hersteller nach den ISO 9000-Normen vorgefertigt, hergestellt und getestet wurde. Ein weiterer Vorteil vorgefertigter Systeme ist die infolge genormter Herstellungsverfahren ständig zunehmende Qualität und Zuverlässigkeit, wodurch Mängel ausgemerzt werden (Zuverlässigkeitszunahme).

Ergebnisse

Das Antriebsaggregat liefert die Energie für das Generatorsystem und benötigt einen präzise arbeitenden Leistungsregler, damit bei Lastwechseln eine stabile Frequenz erzeugt wird. Wechselstrommaschine, Spannungsregler und andere Regler sind erforderlich, um Wechselstrom guter Qualität zu erzeugen und an den Transfer-Switch zu übertragen, der die kritischen Lasten damit versorgt. Herkömmliche Generatorsysteme können kompliziert sein, was teurere Konstruktionen und ein größeres Fehlerpotenzial zur Folge hat. Eine Alternative sind vorgefertigte Systeme, die dank genormter Herstellungsverfahren eine höhere Zuverlässigkeit bieten.

Quellen

NFPA 110, Standard for Emergency and Standby Power Systems (Norm für Notstrom- und Bereitschaftstromsysteme), Ausgabe 1999,

National Fire Prevention Association (Nationaler Brandverhütungsverband), 1999 (<http://www.nfpa.org>)

NFPA 111, Standard on Stored Electrical Energy Emergency and Standby Power Systems (Norm für Notstrom- und Bereitschaftstromsysteme mit gespeicherter elektrischer Energie), Ausgabe 1996,

National Fire Prevention Association, 1999

IEEE-Norm 446-1995, IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications (Orange Book) (IEEE-Empfehlungen für Notstrom- und Reservestromsysteme für industrielle und kommerzielle Anwendungen (Orangebuch) (<http://iee.org>)

IEEE-Norm 1100-1999, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (IEEE-Empfehlungen für die Versorgung und Erdung elektronischer Ausrüstung). (Emerald Book)

IEEE-Norm 602-1996, IEEE Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities (IEEE-Empfehlungen für elektrische Systeme in Einrichtungen des Gesundheitswesens), (Weißbuch)

EGSA-Normen 100, 101 und 404 (<http://www.egsa.org>)

"On-Site Power Generation," Electrical Generating Systems Association, 1998 ISBN 0-9625949-3-8 („Stromerzeugung vor Ort“, Verband für Stromerzeugungssysteme)

Über den Autor:

Robert Wolfgang ist Senior Applications Engineer bei APC. Seine Aufgabe ist zurzeit die Datacenterberatung und die Analyse der CAD-Pläne der Kunden nach NEC- und Konstruktionsrichtlinien. Als durch die Electrical Generating Systems Association (Vereinigung für Stromerzeugungssysteme, EGSA) geschultes Mitglied des APC-Teams für Verfügbarkeitslehre hat er sich vor allem mit der Zusammenstellung von Richtlinien für zahlreiche Subsysteme der physikalischen Infrastruktur für hochverfügbare Netzwerke befasst. Er hat einen Bachelor-Abschluss in Maschinenbau und arbeitet bei APC seit 15 Jahren in verschiedenen Tätigkeitsfeldern wie Qualitätssicherung, Leitung des technischen Supports und Verfügbarkeitslehre.