APPLICATION NOTE

Erläuterung der Spezifikationen und Terminologie von AC-Quellen

1. Einführung

Hersteller von elektrischen und elektronischen Geräten müssen eine gute Produktqualität vorzeigen, um global wettbewerbsfähig zu bleiben. Das Sicherstellen der Produktqualität verlangt unterschiedliche Leistungsanforderungen. Ungewöhnliche Spannungs- und Frequenzkombinationen sind in vielen Teilen der Welt üblich, und reine, zuverlässige Wechselspannung ist nicht immer vorhanden. AC-Quellen sind für verschiedene Anwendungen erhältlich, und sie werden oft mit herstellerspezifischen und unterschiedlichen Daten angeboten. Das macht die Auswahl der geeigneten AC-Quelle noch schwieriger. Diese Application Note soll dem Leser eine Hilfestellung geben, den verschiedensten Spezifikationen, die in den zahlreichen Datenblättern enthalten sind, ihrer Bedeutung und der Folgerung für AC-Quellen gerecht zu werden.

2. Die Last

Die Art der Last, die an einer Wechselspannungsquelle angeschlossen wird, ist sehr wichtig, wenn man die richtige Quelle auswählen will. Im Allgemeinen können Lasten als linear oder nichtlinear eingestuft werden. Lineare Lasten enthalten ausschließlich blind-, induktiv oder ohmschen Anteile und können als LCR Netzwerk bezeichnet werden. Da alle Elemente der Last linear sind, ist der gegenwärtige Stromfluß der Wechselspannungsquelle konstant, und die resultierende, gegenwärtige Wellenform folgt der Spannungswellenform mit einer bestimmten Phasenverschiebung. Der Winkel und die Richtung (Voreilen oder Nacheilen) der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung sind von den Elementen der Last abhängig. Allgemeine Beispiele für lineare Lasten sind wei - glühende Glühlampen und Elektromotoren. Lineare Lasten sind häufig eine Mischung von Widerständen, die alle Teilmengen linearer Lasten sind.

2.1 Lineare Lastanforderungen

Lineare Lasten sind einfach zu verstehen, jedoch fordern sie die Quelle besonders bei dem Einschaltvorgang, wenn ein hoher Einschaltstrom fließt. Für eine rein ohmsche Last ist der Einschaltstrom der gleiche wie der Dauerstrom. Jedoch für induktive Lasten kann er beträchtlich höher sein und hängt vom Phasenwinkel der Spannung ab, wenn die Last an die Quelle angeschlossen wird. Moderne AC-Quellen können Einschaltströme



messen. Aber sonst kann kein Stromtransformator in Verbindung mit einem Speicheroszilloskop oder einem Leistungsanalysator verwendet werden, um den Einschaltstrom einer Last zu bestimmen. Der worst-case Fall sollte erfasst werden (für kapazitive Lasten ist die Spannung einzuschalten bei 90° oder 270°). Außerdem ist die Zeit des Abklingens des Spitzenstromes (Peak current) zum Dauerstrom (rms current) sehr wichtig. Für Kondensatoren und Transformatoren ist diese normalerweise kürzer als eine Periode, jedoch bei Motoren kann es einige Perioden dauern, bis der Motor die gewünschte Drehzahl erreicht (siehe Abbildung 1). Von der Quelle wird häufig gefordert, dass sie einen viel höheren Strom (das 8–10fache des Dauerstromes) während der Start-up Periode (Einschaltzeit) liefert. Wenn diese Start-up Zeit einige Perioden dauert, ist es notwendig, eine Quelle zu haben, die den geforderten Einschaltstrom auch als Dauerstrom liefern kann.

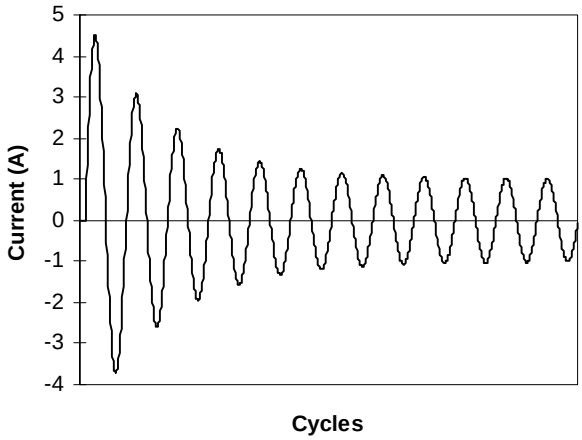


Abbildung 1: Einschaltstrom

Viele präzise Quellen vermeiden diese Notwendigkeit dadurch, dass sie eine programmierbare Auszeit besitzen. Dieser kann eingestellt werden, um Lasten zu versorgen, die längere Startperioden benötigen. In Wirklichkeit funktioniert die Quelle während dieser Zeit im „Konstantstrom-Modus“ mit verringerter Ausgangsspannung.

Praktische Beispiele für diese Art Lasten sind z.B. Waschmaschinen, Trockner, Kühlräume etc. und viele industrielle Motorapplikationen.

2.2 Nicht lineare Lastanforderungen

Eine nicht lineare Last ist dadurch gekennzeichnet, dass der Strom von der Quelle nicht die gleiche sinusförmige Form besitzt wie die Spannung. Eher ist der Strom als kurze Spitzen oder Teile einer vollen Periode gekennzeichnet. Dieses Phänomen wird häufig durch den Schaltkreis verursacht. Die meisten modernen IT-Geräte beinhalten Schaltnetzteile zur Erzeugung der geforderten DC-Spannungen. Die enorme Anzahl dieser IT-Geräte mit nicht linearen Lasten verursacht Lastprobleme, sogenannte Harmonische, die andere Geräte beeinflussen können, die am gleichen Stromkreis angeschlossen sind. In dreiphasigen Netzen ergibt dies zusätzlich einen hohen Nullleiterstrom, welcher bei Transformatoren zu Überhitzung führen oder Sicherungen/Steuerungen beeinflussen kann. Außerdem kommt neben dem Effektivwert noch eine wichtige Größe hinzu, der Spitzenstrom (siehe Abbildung 2).

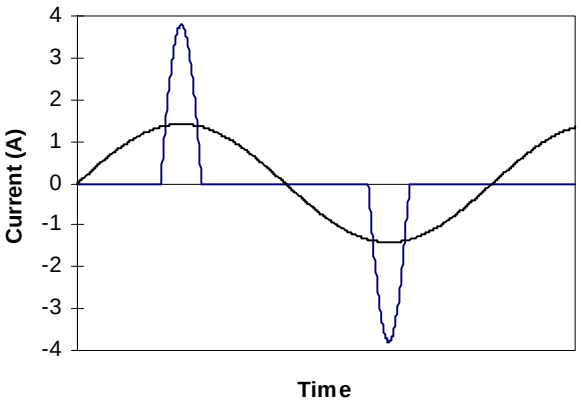


Abbildung 2: Nicht sinusförmige Wellenform mit einem 2,7 Scheitelfaktor und ein Sinus mit gleichem Effektivwert.

Es ist folglich notwendig, den sich wiederholenden Spitzenstrom sowie den Effektivwertstrom zu kennzeichnen. Das Verhältnis zwischen dem Höchstwert der gegenwärtigen Wellenform und seinem Effektivwert wird Scheitelfaktor (SF) genannt.

Eine gegenwärtige Wellenform des reinen Sinus hat einen Scheitelfaktor von $\sqrt{2}$. Üblicherweise haben nicht lineare Lasten Scheitelfaktoren bis Faktor vier.

Bei der Auswahl der Quelle sollte unbedingt darauf geachtet werden, ob der zulässige Stromscheitelwert der Quelle unter maximalen Lastbedingungen spezifiziert wurde. Wenn z.B. der von der Last geforderte Strom niedriger ist als der max. Dauerstrom der Quelle, dann ist der zulässige Scheitelfaktor viel höher als unter Volllast. Manche Hersteller spezifizieren den SF nur im höheren Spannungsbereich, und dieser Wert ist höher, da der Dauerstrom kleiner ist. Hoher Scheitelfaktor kann hohe Spannungsverzerrung bedeuten, was natürlich nicht wünschenswert ist. Normalerweise sind die SF-Werte ein beliebtes Maß für die Auswahl der Quellen, aber repetitive Spitzenströme sind bei Wechselspannungsquellen bessere Bewertungskriterien als die SF-Werte.

3. Weitere Parameterbetrachtung

Die Summe der gesamten Ausgangsenergie, die durch die Last gefordert wird, stellt normalerweise die verwendete Primärspezifikation fest. Jedoch sollten einige nachfolgende Faktoren auch berücksichtigt werden.

3.1 Bereich der Ausgangsspannung

Die meisten Quellen bieten zwei Spannungsbereiche an. Die maximale Energie ist an der maximalen Ausgangsspannung vorhanden, folglich muß die Quelle bei einer 10 %-Überspannung an 115 V, mindestens 126.5 V leisten. Wenn die 10 %-Überspannung an 230V gefordert wird, dann muss die Quelle in der Lage sein, 253 V zu leisten. Erinnern wir uns, dass die VA-Bewertung der Quelle an der max. Ausgangsspannung zutrifft. Eine 3 kVA-Quelle mit max. Ausgangsspannung von 300 V ist nur in der Lage, 10 A Effektivwert zu liefern. Die max. Energie an 230 V beträgt folglich nur 2,3 kVA. Wenn die Quelle nur einen Spannungsbereich hat, ist die max. Energie bei 115 V nur 1.15 kVA. Eine 3 kVA-Quelle mit max. Ausgangspannung von 270 V hat wesentlich mehr Energie zur Verfügung als gefordert, wenn diese nur für 230 V Anwendungen eingesetzt wird. Z.B. ein Effektivstrom von 11,1 A bei 230 V entspricht einer Leistung von 2,56 kVA also 10 % mehr. Deswegen sollten Sie auf die Angabe der Ausgangsspannung achten und nur so viel angeben, wie Sie auch tatsächlich brauchen.

3.1.1 Dauerstrom (Effektivwert) und Spitzenstrom

Dauerstrom ist am einfachsten zu messen. Vergessen Sie jedoch nicht, den Dauerstrom zu überprüfen, der bei allen Testbedingungen gefordert wird! Z. B. erfordern bestimmte Standards die Stromprüfung bei 70 % Eingangsspannung. Wenn der Eingangsstromkreis sich in einem Dauerzustand befindet, dann muss in diesem Fall der Strom um 43 % größer sein als der Dauerstrom bei der Nominalspannung. Also der von der Quelle geforderte VA-Wert muß entsprechend um 43 %

3.2 Einphasig oder dreiphasig

Einige Produkte haben einen ein- oder dreiphasigen Eingang, und einige Produkte, die viel Energie brauchen, können bei geringer Leistung einphasig auch funktionieren. Wenn die Quelle nur zu einer bestimmten Aufgabe gebraucht wird, dann sind die Ausgangsspezifikationen vorgegeben, jedoch werden oft die Quellen im Labor eingesetzt. Viele Quellen mit einer Ausgangsleistung von grösser als 3 kVA können optional ein- oder dreiphasig in Betrieb genommen werden. Eine nützliche Auswahl, wenn es für die drei Phasen eine entsprechende Anwendung gibt. Aber es ist nicht kosteneffektiv, wenn die Quelle nur für einphasige Anwendungen eingesetzt wird.

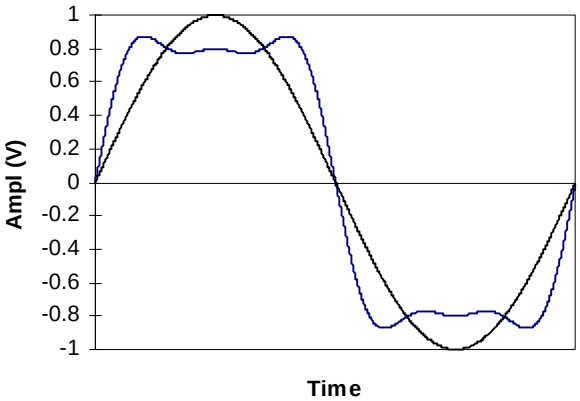


Abbildung 3: Reine und harmonisch gestörte Sinuswell

3.3 Ausgangswellenformen

Ein sauberer Sinus sollte am Ausgang rauskommen. Aber wie säubern wir ihn? Durchschnittlich haben Quellen typische Verzerrung von 0,75 % oder weniger. Nur in den seltensten Fällen wird ein Signal mit Verzerrung von 0,5 % oder weniger gefordert. Weiterhin ist die Eigenschaft, die Wellenform bei einem bestimmten Phasenwinkel beginnen zu lassen, wichtig.

Das heißt, dass Parameter wie Einschaltstrom im worst case Fall gemesen werden können. Während alle Quellen die Fähigkeit haben sollten, Sinuswellen zu erzeugen, erfordern viele Anwendungen kompliziertere Wellenformen.

Dies ist der Fall, wenn man das Netz simulieren will, beispielsweise bei Transientenprüfung nach Mil-STD-704. Der Einsatz moderner Digitaltechnik ermöglicht es, mit sogenannten Schaltverstärkern Wellenformen beliebigerart Art zu erzeugen. Ein weiterer Vorteil dieser Technik ist die Fähigkeit, definierte Harmonische Wellenformen hinzuzufügen (siehe Abbildung 3).

Im Allgemeinen erfordert das einen höher entwikkelten Wellenformgenerator, wobei das nicht für die meisten Anwendungen notwendig ist. Jede nicht standardmäßige Wellenform erfordert normalerweise eine hohe Bandbreite von der Quelle. Während die Last bei 60 Hz funktioniert, erfordert die 51. Harmonische eine Bandbreite von 3060 Hz. Schließlich haben wir die Frequenz übersprungen, obwohl sie einer der wichtigsten Parameter der Quelle ist. Die meisten Anwendungen einer Quelle sind für den Gebrauch bei 50/60 Hz oder bei 400 Hz (Avionik). Es gibt auch andere allgemeine Anwendungen: Das europäische Eisenbahnnetz arbeitet mit 17 Hz, Netzversorgung für die Simulation von Generatoranwendungen mit 45 bis 66 Hz und die Stromerzeugung für Avionikanwendungen mit 1 bis 5 kHz.

3.4 Rauschen und DC-offset

Das unerwünschte Rauschen auf einer Welle kann als Verzerrung angesehen werden und wird mit einem Verzerrungsanalyzer gemessen. Die Verzerrung zeigt sich meistens in Form von Oberwellen der vorhandenen Ausgangsfrequenz und wird gewöhnlich bis zu einigen kHz oder bis zur 50. Harmonischen gemessen (siehe Abbildung 4). Rauschen kann aber auch entstehen aus niederfrequenten Störungen oder 50/60 Hz Interferenzen. Hochfrequentes Rauschen tritt ebenfalls auf (besonders bei Switch-Mode Quellen) und liegt außerhalb des Messbereiches des Eingangsschaltkreises des Equipments. DC offset ist ein anderer wichtiger Parameter. Quellen, die einen Ausgangstransformator benützen, werden keine reine Gleichspannung am Ausgang liefern, da DC durch

den Transformator blockiert wird. Quellen, die DC liefern können, haben einen direkt gekoppelten Ausgang und meistens noch ein „Rest-DC offset“ sogar im Wechselspannungsmodus. Das kann für bestimmte Lasten Probleme bereiten. Überprüfen Sie deshalb bei den Quellen immer die Lastanforderungen in Bezug auf die Kompatibilität des DC-offsets.

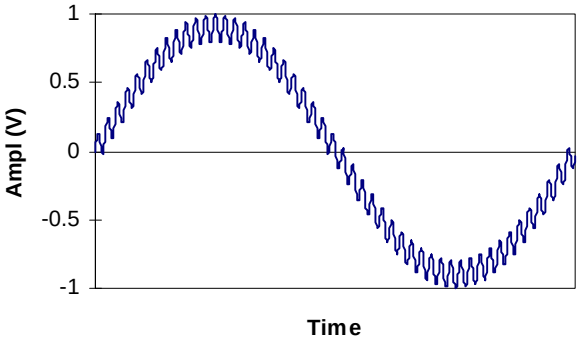


Abbildung 4: Beispiel für Harmonisches Rauschen

3.5 Spannungsregulierung

Eine Wechselspannungsquelle sollte zwei vorgeschriebene Spezifikationen der Spannung beinhalten:

a) Netzregelung

Normalerweise ist diese Spezifikation spezifiziert als Spannungsänderung am Ausgang infolge Netzschwankungen. Diese Spezifikation ist meistens kein entscheidender Faktor für eine Wahl der Quelle.

b) Lastregelung

Für einige Anwendungen muss die vorgeschriebene Spezifikation der Last zwischen statischem und dynamischem Zustand quantitativ bestimmt werden.

- *Statische Lastregelung*

Viele präzise Quellen haben zusätzlich Abfrageleitungen, die direkt an die Last angeschlossen werden können. Diese Leitungen messen die tatsächliche Spannung an der Last, und die Ausgangsspannung wird durch den Wellenformgenerator dementsprechend geregelt, womit Spannungsverluste in Anschlussleitungen kompensiert werden. Wenn die Last schwankende Stromabnahme hat oder ausgeschaltet wird, wird aus der Steuerschleife eine Überspannung folgen, da die Steuerung der Quelle eine bestimmte Zeitkonstante hat. Bei konstanter Last ist diese Lastregelung sehr gut, jedoch wird so eine optimale Regelung nicht schnell genug sein, um transiente Vorgänge zu simulieren.

- *Dynamische Lastregelung*

Dynamische Lastregelung beschränkt die Änderung der Ausgangsspannung, die durch eine momentane Änderung im Laststrom verursacht wurde. Diese Änderung wird von der Ausgangsimpedanz der Quelle bestimmt und kann nicht durch sogenannte sense lines (Abfrageleitungen) kompensiert werden. Betrachten wir eine Quelle mit einem Ausgangswiderstand von 500 mΩ und einen Laststrom von 10 A. Bei Schließen des Stromkreises wird ein sofortiger Spannungsabfall wegen des Ausgangswiderstandes von 5 V auftreten. Der gleiche Effekt tritt auf, wenn plötzliche Änderungen im Laststrom durch Spannungstransienten verursacht werden. Es ist daher wichtig, die dynamische Resonanz der Quelle sowie die quasi-statische Lastregelung zu kennen. Dynamische Leistungsregelung wird üblicherweise durch eine Einstellzeit ausgedrückt. Dieses kann für Transienten und zu regelnde Testanwendungen ungeheuer wichtig sein. Es gibt spezielle Controller Optionen für extrem schnelle Reaktionszeiten. Übrigens haben moderne Quellen eine sehr geringe Ausgangsimpedanz (< 10 Ohm) und wird das dynamische Verhalten damit wesentlich verbessert.

3.6 Schutz

Moderne Quellen sind gegen Temperatur-, Spannungs- und Stromschwankungen geschützt. Die Art des Schutzes, welche verwendet wird, kann die Fähigkeit der Quelle auch beeinflussen. Zwei Arten von Schutzmethoden werden allgemein benutzt:

a) Konstanter Strommodus (CC)

Im konstanten Strommodus wird die Spannung an der Last verringert, sobald der vorgegebene Begrenzungsstrom erreicht wird. Die Verringerung der Spannung sorgt dafür, dass der Strom auf diesem max. Wert bleibt und nicht überschritten wird. Bei einem Kurzschluss verringert sich die Spannung bis fast auf null, und die Quelle nimmt das als Dauerzustand ein. Diese Schutzmethode ist geeignet für Quellen, die Elektromotoren antreiben oder bei Lasten die Gleichstromversorgung haben. Dabei spielt der Ausgleich der Ausgangsspannung keine so wichtige Rolle, sondern vielmehr ist die Aufgabe diese Lasten anzufahren, ohne dass die Quelle sich dabei ausschaltet, von großer Bedeutung.

b) Konstanter Spannungsmodus (CV)

Beim konstanten Spannungsmodus wird die Ausgangsspannung auf konstantem Wert gehalten, bis der Strom den gegebenen Grenzwert übersteigt. Wenn der gegenwärtige Grenzwert überstiegen wird, löst die Quelle das Ausgangsrelais aus und geht zu der ursprünglichen Einstellung zurück. Diese Schutzart ist vorzuziehen, wenn die Last gegen hohe Ströme zu schützen ist oder wenn Einschaltströme gemessen werden sollen. Empfindliches oder störanfälliges Messequipment fällt unter diese Kategorie.

4. Controller

Quellen sind entweder mit einem manuellen oder einem programmierbaren Controller erhältlich. Neben den Kosten spielt auch die Applikation eine wichtige Rolle bei der Auswahl. Machen Sie sich bewußt, dass viele Funktionen sowie die Simulation von Netzstörungen, Ausgleichströmen etc. nur durch einen programmierbaren Controller funktionieren.

4.1 Manueller Controller

Manuell zu bedienende Quellen sind einfach in der Handhabung. Drehknöpfe an der Quelle sind typische Kennzeichen, um beispielsweise die Spannung und Frequenz zu verändern. Für den täglichen Laborgebrauch und Tests, bei denen unterschiedliche Wechselstromeigenschaften getestet werden, ist eine manuell bedienbare Wechselspannungsquelle die kostengünstigste

4.2 Programmierbarer Controller

Bussteuerung wird normalerweise mit der Schnittstelle IEEE-488 (GPIB) durchgeführt, obwohl auch die RS232 Schnittstelle angeboten wird. Die Zahl der internen Programmregister, die in der Quelle vorhanden sind, kann bei Testdurchführungen eine wichtige Rolle spielen. Das Laden der einzelnen Testschritte in den internen Registern (der Programmsteuerung) kann den Testprozess erheblich beschleunigen. Einige Quellen erlauben sogar die Verbindung zum Programmregister und ermöglichen somit einen automatischen Testablauf.

4.3 Messungen

Die Fähigkeit einer Quelle hängt normalerweise von der Funktion des eingesetzten Controllers ab. Für einen Bericht der Ausgabeparameter beziehen Sie sich auf Application Note 106, "Verstehen der Messungen von Wechselspannungsquellen“.

5. Zusammenfassung

Die korrekte Auswahl der passenden Wechselspannungsquelle für eine bestimmte Anwendung ist eine schwierige Aufgabe, die sorgfältig analysiert werden sollte. Dabei kommt es nicht nur auf die Leistungsberechnung VA an. Vor einer Anschaffung sollten Sie bitte auf die erwähnten Punkte achten. Weitere nützliche Hinweise bzgl. AC-Quellen können Sie auch von der Homepage: www.calinst.com oder www.emvgmbh.de herunterladen.

Angaben zum Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Aytac Kurt

(Produktspezialist für California Instruments)

emv GmbH
Wallbergstr. 7
82024 Taufkrichen
Tel.: 089-614171-0
Fax: 089-614171-71
Email: akurt@emvgmbh.de
Homepage: http://www.emvgmbh.de