

# XXI Verzernte Kurven<sup>1</sup>

## XXIa Flicker

### XXIa.1 Einführung

Schwankungen der Netzspannung nennt man „Flicker“. Diese periodischen Einbrüche der Netzspannung werden im Allgemeinen durch elektrische Geräte in der Industrie, aber auch im Haushalt erzeugt. Hierbei kann es zur Störung anderer elektrischer Geräte und zur Irritation des Menschen durch Lichtflackern kommen. Daher war es nötig Grenzwerte einzuführen:

EN 61000-3-3: „Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen (kleiner 16 A je Leiter)“

Flicker wird dort folgendermaßen definiert:

„Flicker = Eindruck der Unstetigkeit visueller Empfindungen, durch Lichtreize mit zeitlicher Schwankung der Leuchtdichte oder spektralen Verteilung“.

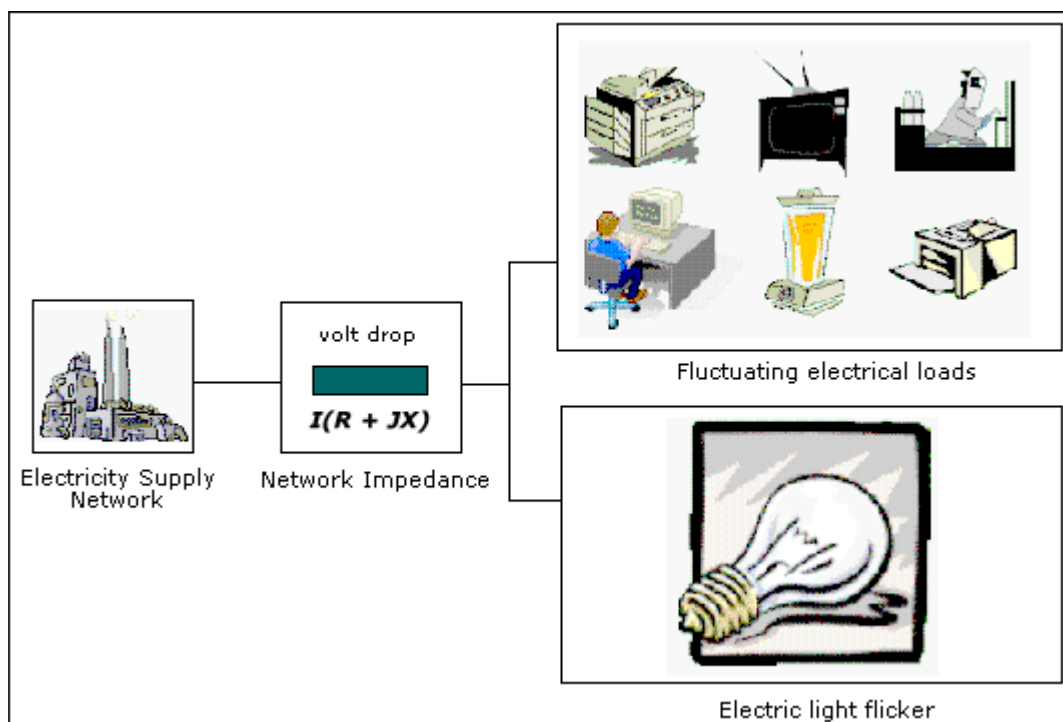


Bild XXIa.1: Flicker

Um Flicker qualitativ zu bewerten wurde der  $P_{st}$ -Wert eingeführt, dieser ist abhängig von Häufigkeit, Dauer und Höhe der Spannungsänderung und versucht die Wahrnehmung des menschlichen Auges analytisch zu erfassen.

Als Bezugspunkt dient der Wert  $P_{st}=1$ . Werte kleiner Eins können vom Menschen nicht wahrgenommen werden und sind daher unproblematisch. Werte größer Eins sind wahrnehmbar.

Die Flickermessung kann analytisch erfolgen (sehr aufwendig) oder mit Hilfe eines Flickermeter oder Poweranalyser mit Flickeroption.

Zur Kalibrierung dieser Flickermeter steht das Netzleistungsnormale Fluke 6100A zur Verfügung, welches Sinus- und Rechteckförmigen-Flicker erzeugen kann.

<sup>1</sup> Ergebnisse Studienkooperation TU-München, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation und Signalдарstellung, im Auftrag der esz GmbH

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: WR am: 15.05.07	von: PF am: 08.01.09	XXI – Verzernte Kurven	1 von 12

## XXIa.2 Kalibrierung der Flickeroption des Netzleistungsnormals Fluke 6100A

### XXIa.2.1 Das Kalibrierverfahren

Für die Flickermessung und daher auch bei der Kalibrierung ist der Bezugspunkt  $P_{st} = 1,0$  ausschlaggebend. Hierfür wird ein Grundsignal: 230 Volt, 50 Hz (oder 120V, 60Hz) rechteckmoduliert. Folgende Messpunkte müssen überprüft werden:

Rechteckförmige Änderung je Minute	Flickerfrequenz in Hz	Spannungsänderung $\Delta U/U$ in %	
		120-V-Lampe 60-Hz Netz	230-V-Lampe 50-Hz-Netz
1	0,008333333	3,166	2,724
2	0,016666667	2,568	2,221
7	0,058333333	1,695	1,459
39	0,325	1,044	0,906
110	0,916666667	0,841	0,725
1620	13,5	0,547	0,402
4000	33,33333333	Prüfung nicht erforderlich	2,4
4800	40	4,834	Prüfung nicht erforderlich

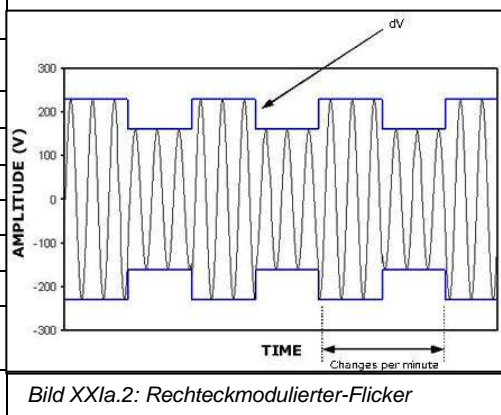


Bild XXIa.2: Rechteckmodulierter-Flicker

Tabelle XXIa.2: Messpunkte nach EN 61000-4-15 für die Kalibrierung (für alle Werte gilt  $P_{st} = 1$ )

Für die Kalibrierung wird angenommen, dass eine getrennte Überprüfung der Amplitudenabweichung ( $\Delta U/U$ ) und der Frequenzabweichung ausreichend ist. Dabei wird zum einen die Amplitudenabweichung bei 13,5 Hz über im Frequenzspektrum überprüft, Frequenzabweichungen werden bei 10 V (RMS) kalibriert.

### VIIa.2.1.1 Überprüfung der Spannungsänderung

Zur Überprüfung der Amplitudenabweichung wurde unter LabView eine Kalibriersoftware entwickelt, mit deren Hilfe die Vermessung der Spannungseinbrüche automatisiert durchgeführt werden kann. Die verwendeten Geräte Fluke 6100A und Hewlett Packard 3458A werden über GPIB gesteuert.

*Folgende Schritte werden vom Programm durchgeführt:*

Zunächst werden aus der vom User erstellten .txt –Datei die zu vermessenen Punkte ausgelesen. Die Messungen werden nacheinander durchgeführt:

Für eine Messung wird mit dem Präzisionsmultimeter HP 3458A der Signalverlauf im Abtastverfahren gemessen. Dann wird durch eine diskrete FFT (Fast-Fourier-Transformation) das zeitdiskrete Signal in den Frequenzbereich transformiert.

Um eine hohe Amplitudengenauigkeit zu erreichen haben sich folgende Abtasteinstellungen als signaltheoretisch sinnvoll erwiesen und sich auch in der Praxis bewährt:

Abtastrate:  $4 \cdot 10^{-4}$  s (das Nyquist-Abtasttheorem ist erfüllt)

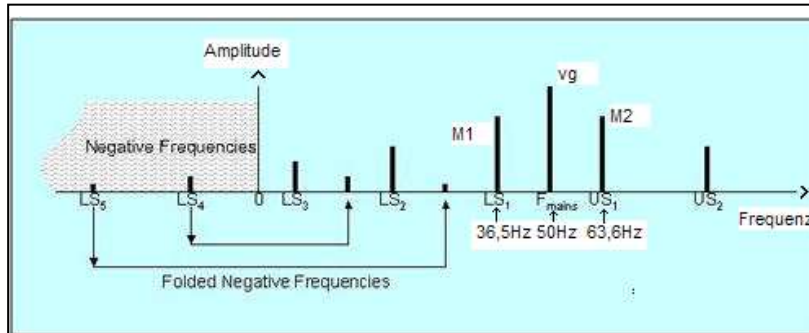
Aperturzeit:  $2 \cdot 10^{-4}$  s;

Anzahl der Samples: 5000 (ist die maximale Anzahl die sich ergibt durch den verfügbaren Speicher des Abtastvoltmeter 20480 byte und den Speicherbedarf eines Messwertes 4 byte);

Der Triggerzeitpunkt wird willkürlich gewählt und spielt keine Rolle da nur das Betragsspektrum von Interesse ist, dieses erfährt jedoch keine Änderung durch die „freilaufende“ Triggerung.

Um den spektralen Leckeffekt gering zu halten wurde die Abtastfrequenz genau so gewählt dass das diskrete Frequenzspektrum exakt die Frequenzwerte aufweist, welche zur Berechnung des Flickers benötigt werden. Zusätzlich wurde ein Hanning-Filter verwendet um den Leckeffekt weiter abzuschwächen.

<b>Ausgabe:</b> 5.5.11	<b>erstellt</b> von: WR am: 15.05.07	<b>geprüft/genehmigt</b> von: PF am: 08.01.09	<b>Kapitel</b> XXI – Verzerrte Kurven	<b>Seite</b> 2 von 12
---------------------------	--------------------------------------------	-----------------------------------------------------	------------------------------------------	--------------------------



Berechnung von  $\Delta U/U$  aus dem Frequenzspektrum:

$$\frac{\Delta U}{U} = 100 \cdot \pi \cdot \frac{M1 + M2}{2 \cdot vg}$$

Bild XXIa.2: Frequenzspektrum der rechteckmodulierten Sinusfunktion

Aus dem so erhaltenen Frequenzspektrum können die Amplituden der einzelnen Sinusschwingungen abgelesen werden. Hieraus wiederum wird die Modulationstiefe  $\Delta U/U$  berechnet und die Ergebnisse wieder als .txt-Datei abgespeichert.

### XXIa.2.1.2 Frequenzabweichung

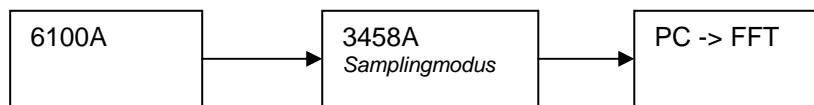
Um die Frequenzgenauigkeit zu überprüfen wird das Hochleistungs-Oszilloskop infiniium 54854A von Agilent (KL16062) mit Tastkopf benutzt. Hierbei wird mit der Cursor-Funktion die Periodendauer des Flickers per Hand vermessen. Um eindeutig die Sprünge des rechteckmodulierten Signals zu erkennen wird am Prüfling (6100A) folgende Einstellung vorgenommen:

- 50 Hz Sinusschwingung mit 10V (RMS)
- Flicker mit der jeweils zu vermessenen Frequenz und dem maximal möglichen Modulationstiefe ->  $\Delta U/U = 30\%_{\Delta U/U}$

### XXIa.2.2 Messunsicherheitsbudget

#### XXIa.2.2.1 Amplitudenunsicherheit

Skizze des Messverfahrens:



**Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:**

$\Delta U_{rel,gemessen}$  Durch die Software bestimmte Höhe der relativen Spannungsänderung bei rechteckigem Flicker.

**Gesuchte Größe:**

$\Delta U_{rel,6100A}$  Gesuchte relative Spannungsänderung

**Modellgleichung:**

Mit den oben aufgeführten Größen ergibt sich folgende Modellgleichung:

$$\Delta U_{rel,6100} = \Delta U_{rel,gemessen} + \delta U_{lin} + \delta U_{WH} + \delta U_{Verf}$$

<b>Ausgabe:</b> 5.5.11	<b>erstellt</b> von: WR am:15.05.07	<b>geprüft/ genehmigt</b> von: PF am: 08.01.09	<b>Kapitel</b> XXI – Verzerrte Kurven	<b>Seite</b> 3 von 12
---------------------------	-------------------------------------------	------------------------------------------------------	------------------------------------------	--------------------------

## XXIa.2.2.2 Frequenzunsicherheit

### Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

$f_{\text{gemessen}}$  Mit Oszilloskop gemessene Frequenz des Flickers

### Gesuchte Größe:

$f_{6100A}$  Gesuchte Flicker-Frequenz.

### Modellgleichung:

Mit den oben aufgeführten Größen ergibt sich folgende Modellgleichung:

$$f_{6100} = f_{\text{gemessen}} + \delta f_{\text{Ablese}} + \delta f_{\text{Oszi}}$$

### Messunsicherheitsbudget:

Für die dem Ergebnis beizuordnende relative Standardmessunsicherheit ergibt sich daraus:

$$w^2(f_{6100}) = w^2(\delta f_{\text{gemessen}}) + w^2(\delta f_{\text{Ablese}}) + w^2(\delta f_{\text{Oszi}})$$

## XXIa.3 Kalibrierung von Flickermessgeräten

### XXIa.3.1 Spannungsänderung und Frequenz

Da das Netzleistungsnormale Fluke 6100A primär bei der Kalibrierung von Flickermessgeräten zum Einsatz kommt wird die Gesamtunsicherheit der Flickersynthese bei regelmäßiger Verifikation der Flickeroption als

$$u_{\text{Flicker synthese}}^2 = u_{\text{Verifikation}}^2 + u_{\text{Spez}}^2 = 0,0016\%_{\Delta U/U}^2 + 0,025\%_{\Delta U/U}^2$$

$$U_{\text{Flicker synthese}} \approx 0,025\%_{\Delta U/U}$$

mit Hilfe der vom Hersteller angegebenen Spezifikation abgeschätzt. Gegenüber den Herstellerangaben mit einer Breite von  $u_{\text{Spez}}=0,025\%$  (bzw. 1300 ppm) bleibt jedoch immer der Anteil der Verifikation vernachlässigbar klein, so dass die Beiträge der Spezifikation als Gesamtunsicherheit bei der Flickersynthese verwendet werden.

### XXIa.3.2 $P_{\text{st}}$ -Wert

Mit den Angaben des Herstellers wird angenommen, dass bei regelmäßigem Nachweis der  $\Delta U/U$ -Wertes und der Frequenzunsicherheit bei rechteckförmigen Flicker mit den  $P_{\text{st}}$ -Werten=1 aus Tabelle XXIa.2 die spezifizierte Gesamtunsicherheit von

$$W_{P_{\text{st}}, \text{Spez}} = 0,25\%$$

eingehalten werden kann.

<b>Ausgabe:</b> 5.5.11	<b>erstellt</b> von: WR am:15.05.07	<b>geprüft/ genehmigt</b> von: PF am: 08.01.09	<b>Kapitel</b> XXI – Verzerrte Kurven	<b>Seite</b> 4 von 12
---------------------------	-------------------------------------------	------------------------------------------------------	------------------------------------------	--------------------------

## XXIb Spannungs-Oberwellen

### XXIb.1 Einführung

Induktivitäten und Kapazitäten sowie Ein- und Ausschaltvorgänge elektrischer Maschinen im Haushalt und in der Industrie stören das Stromnetz. Es kommt zu Verzerrungen der eigentlich sinusförmigen Spannung (siehe BildXXIb.1.1). Im allgemeinen gilt, je weniger die Kurve verzerrt ist umso besser ist dies für die Netzbetreiber und für den Kunden. Durch zu starke Verzerrungen können Geräte gestört werden, was sogar zum Ausfall empfindlicher Elektronik führen kann.

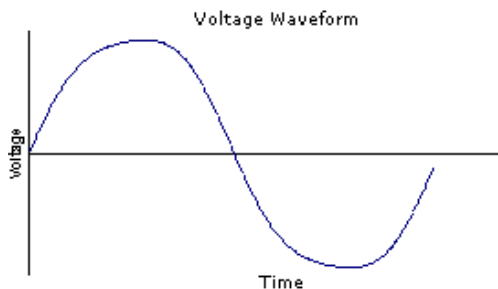


Bild XXIb.1.1 verzerrte Sinuskurve

Das Maß der Verzerrung wird hier bestimmt in dem die einzelnen Oberwellen der 50Hz (oder 60Hz) Grundschwingung des Signals betrachtet werden. Die n-te Oberwelle ist dabei definiert als eine der Grundwelle überlagerten Sinusschwingung mit (n+1)-facher Frequenz der Grundwelle (n ist ganzzahlig).

Fouriertransformiert man ein Signal, welches aus einer Grundwelle und mehreren Oberwellen besteht, bekommt man ein Spektrum vergleichbar mit dem in Bild XXIb.1.2. Anhand solch eines Frequenzspektrums kann eine Überprüfung des Oberwellenanteils stattfinden, durch Messung der Amplitudenwerte der einzelnen Peaks.

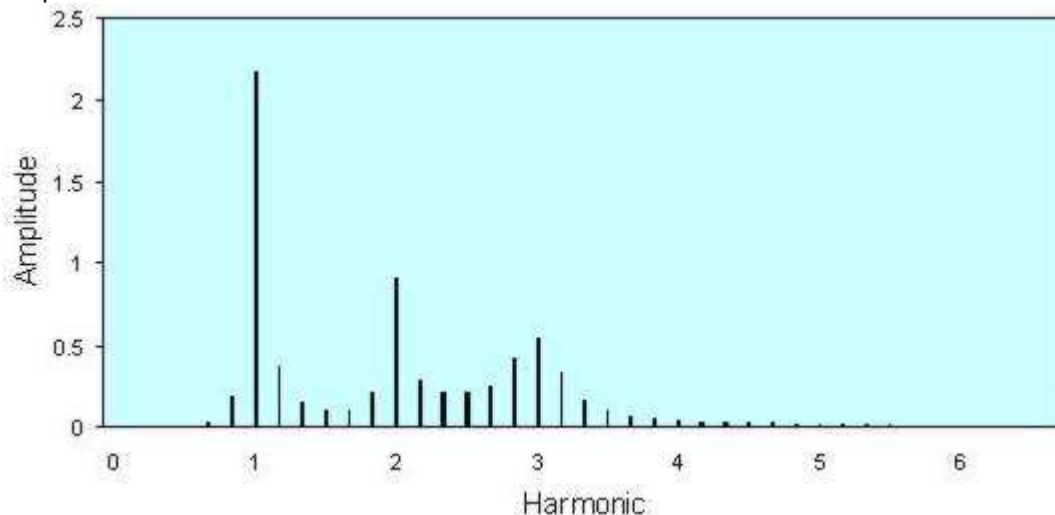


Bild XXIb.1.2 Frequenzspektrum mit Oberwellen

## XXIb.2 Kalibrierung der Spannungs-Oberwellenoption des Netzleistungsnormals Fluke 6100A

### XXIb.2.1 Das Kalibrierverfahren

Um Abweichungen des Netzleistungsnormals Fluke 6100A im Bereich der Spannungs-Oberwellen festzustellen wurde theoretisch und empirisch ein Messverfahren entwickelt welches ermöglicht Oberwellen zu messen.

Hierzu wird das am Kalibrator ausgegebene Signal mit Hilfe des hochpräzisen Abtastmultimeters erfasst, so dass dann nach einer Fouriertransformation eine quantitative Aussage über die Abweichung gemacht werden kann. Um zusätzlich die Messunsicherheit gering zu halten wird eine Substitutionsmessung durchgeführt. Die Oberwellenanteile werden getrennt (als reine Sinusschwingungen) am Referenzkalibrator Fluke 5700A erzeugt und dann über das identische Abtastverfahren mit Fouriertransformation wie im synthetisierten Fall gemessen.

Diese recht aufwendige Messprozedur wurde automatisiert mit Hilfe einer gesteuerten Umschaltbox und durch ein in LabView geschriebenes Programm, welche alle Schritte selbstständig durchführt.

Um eine hohe Amplitudengenauigkeit zu erreichen haben sich folgende Abtasteinstellungen als signaltheoretisch sinnvoll erwiesen und sich auch in der Praxis bewährt:

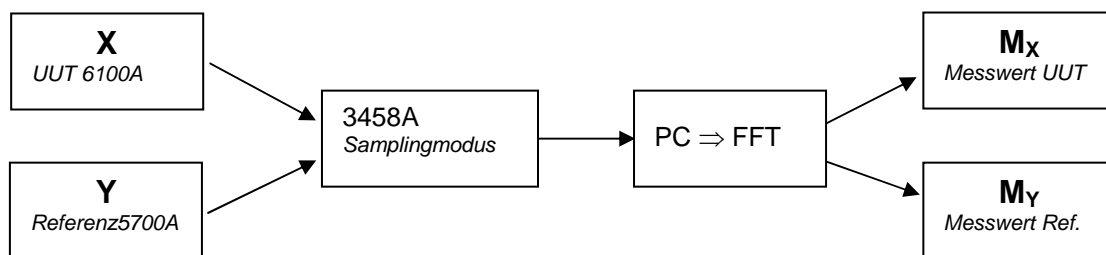
Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: WR am: 15.05.07	von: PF am: 08.01.09	XXI – Verzerrte Kurven	5 von 12

Abtastrate:  $2 \cdot 10^{-5}$  s (das Nyquist-Abtasttheorem ist erfüllt)  
Aperturzeit:  $1 \cdot 10^{-5}$  s;  
Anzahl der Samples: 5000 (ist die maximale Anzahl die sich ergibt durch den verfügbaren Speicher des Abtastvoltmeter 20480 byte und den Speicherbedarf eines Messwertes 4 byte);  
Der Triggerzeitpunkt wird willkürlich gewählt und spielt keine Rolle da nur das Betragsspektrum von Interesse ist, dieses erfährt jedoch keine Änderung durch die „freilaufende“ Triggerung.

Um den spektralen Leckeffekt gering zu halten wurde die Abtastfrequenz genau so gewählt dass das diskrete Frequenzspektrum exakt die Frequenzwerte der Grundwelle und damit den Oberwellen aufweist. Zusätzlich wurde ein Hanning-Filter verwendet um den Leckeffekt zusätzlich abzuschwächen.

## XXIb.2.2 Messunsicherheitsbudget

Skizze des Messverfahrens:



Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

- Y           Eingestellter Wert am Referenzkalibrator (als reine Sinusschwingungen der zu erwartenden Grund- und Oberwellen)
- $M_x$        Ermittelter Wert am Messgerät bei Messung des unbekanntes Wertes am Kalibriergegenstand (synthetisierte Schwingung)
- $M_y$        Gemessener Wert bei Messung der einzelnen Sinussignale am Referenzkalibrator

Gesuchte Größe:

- X           Gesuchte effektive Spannung der Oberwelle bei Messung des synthetisierten Signal aus Grund- und Oberwelle.

Modellgleichung:

Mit den oben aufgeführten Größen ergibt sich folgende Modellgleichung:

$$X = Y - M_Y + M_X + \delta U_{Rep} + \delta U_{Ref} + \delta U_{Drift} + \delta U_{Verf}$$

## XXIb.2.3 Ergebnisse

Zusammengefasst ergibt sich:

Messgröße / Kalibriergegenstand	Messbereich / Messspanne	Messbedingungen / Verfahren	kleinste angebbare Messunsicherheit	Bemerkungen
Wechselspannung harmonische Oberwellen Quellen	2,2 V   bis   220 V	50 Hz bis 2 kHz	$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U_n$	$U_n$ = Spannung der n-ten Harmonischen oder Grundwelle $U_{eff} < 1$ kV Sampling mit HP 3458A und Substitution an Fluke 5700A
	>220 V   bis   700 V	50 Hz bis 2 kHz	$4,7 \cdot 10^{-4} \cdot U_n$	

Die zu Grunde liegenden **Zahlenwerte und Ergebnisse** der Berechnungen für die einzelnen Bereiche sind der mitgeltenden Excel-Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle XXI – Verzerrte Kurven“

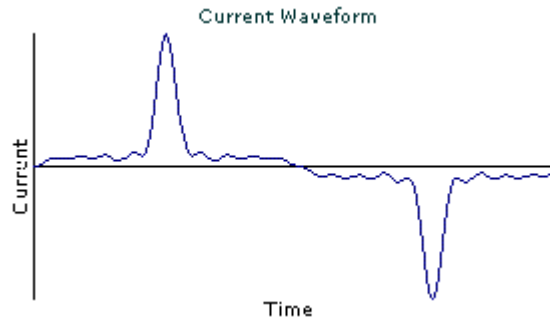
zu entnehmen, die Ergebnisse werden im Leistungsnachweis aufgeführt.

<b>Ausgabe:</b> 5.5.11	<b>erstellt</b> von: WR am: 15.05.07	<b>geprüft/ genehmigt</b> von: PF am: 08.01.09	<b>Kapitel</b> XXI – Verzerrte Kurven	<b>Seite</b> 6 von 12
---------------------------	--------------------------------------------	------------------------------------------------------	------------------------------------------	--------------------------

## XXIc Stromstärke-Oberwellen

### XXIc.1 Einführung

Viele Verbraucher im Netz haben eine Stromverbrauchskurve wie in Bild XXIc.1.1, d.h. die eigentliche (50Hz) Grundwelle wird von Oberwellen überlagert. Um die Amplituden der Oberwellen zu bestimmen, kann über einen Shunt die am Widerstand abfallende Spannung abgetastet werden und dann durch eine FFT die Oberwellenanteile errechnet werden.



### XXIc.2 Kalibrierung der Strom-Oberwellenoption des Netzleistungsnormals Fluke 6100A

#### XXIc.2.1 Das Kalibrierverfahren

Um Abweichungen des Netzleistungsnormals Fluke 6100A im Bereich der Strom-Oberwellen festzustellen wurde theoretisch und empirisch ein Messverfahren entwickelt welches ermöglicht Oberwellen zu messen.

Die Quelle wird dazu an einen Widerstand-Shunt angeschlossen, dessen DC-Werte bekannt sind bzw. dessen AC-Verhalten bis 2 kHz gemäß Kapitel XI im Lindeck-Rothe-Verfahren bei Sinussignalen untersucht wurde. Systematische Messabweichungen durch das Abtastverfahren werden vor der Messung durch ein „einkalibrieren“ des Messshunts eliminiert: Dazu wird zuerst der AC-Widerstandwert der entsprechenden Messfrequenz unter Abtastbedingungen bei bekannter sinusförmiger Stromstärke ermittelt. Das Signal des Spannungspfad des Shunts bei verzerrter Stromstärke des Kalibriergegenstandes wird danach genauso mit Hilfe des Abtastmultimeters erfasst, so dass dann nach einer Fouriertransformation und über die ohmsche Beziehung eine quantitative Aussage über die Abweichung der Quelle gemacht werden kann.

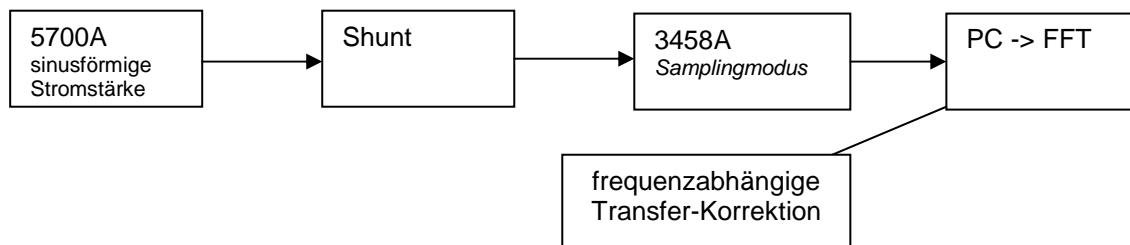
Für das Kalibrierverfahren wurde eine Software unter LabView geschrieben, welche die Messung automatisiert durchführt. Die Abtasteinstellungen des Voltmeters sind gewählt wie in Kapitel XXIb.2.1.

#### XXIc.2.2 Messunsicherheitsbudget

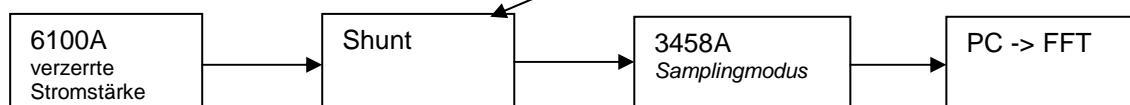
##### Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

##### Skizze des Messverfahrens:

1: Bestimmung des Shunt-Wertes unter Abtastbedingungen



2: Messung der verzerrten Stromstärke



Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: WR am:15.05.07	von: PF am: 08.01.09	XXI – Verzerrte Kurven	7 von 12

- R* DC-Widerstandswert des Shunts, zu Entnehmen aus dem Kalibrierschein oder durch vorangegangene Messung ermittelt
- V* Gemessener Spannungswert der zu vermessenden Grund- oder Oberwelle.

**Gesuchte Größe:**

- I* Gesuchte effektive Wechselstromstärker der Grund- oder Oberwellen.

**XXIc.2.3 Ergebnisse**

Die zu Grunde liegenden **Zahlenwerte und Ergebnisse** der Berechnungen für die einzelnen Bereiche sind der mitgeltenden Excel-Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle XXI – Verzerrte Kurven“

zu entnehmen, die Ergebnisse werden im Leistungsnachweis aufgeführt.

Messgröße / Kalibriergegenstand	Messbereich / Messspanne	Messbedingungen / Verfahren	kleinste angebbare Messunsicherheit	Bemerkungen
Wechselstromstärke harmonische Oberwellen Quellen	Grundwelle 0,1 A bis 16 A	45 Hz bis 65 Hz 0,15 A bis 20 A, eff.	$6,5 \cdot 10^{-4} \cdot I$	<i>I<sub>n</sub></i> = Stromstärke der n- ten Harmonischen
	Harmonische 0,05 A bis 0,8 A	90 Hz bis 2 kHz 0,15 A bis 1 A, eff.	$8,2 \cdot 10^{-4} \cdot I_n$	
	0,3 A bis 1,2 A	>1 A bis <1,5 A, eff.	$3,3 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 0,32 \text{ mA}$	eff.= Effektivwertgrenzen des verzerrten Signals  über Shunt, Sampling mit HP 3458A
	0,3 A bis 4 A	1,5 A bis <5 A, eff.	$5,1 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 0,17 \text{ mA}$	
	1 A bis 8 A	5 A bis 10 A, eff.	$6,6 \cdot 10^{-4} \cdot I_n$	
	2 A bis 15 A	>10 A bis 20 A, eff.	$4,6 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 1,9 \text{ mA}$	

### XXIc.2.4 Kalibrierung von Oberwellen-Messgeräten

Da das Netzleistungsnormal Fluke 6100A primär für Oberwellenmessgeräte nach EN 61000-4-7 verwendet wird, lässt sich die Gesamtunsicherheit bei regelmäßiger Verifikation der Ausgangsparameter folgendermaßen als sog. „eigene Spezifikation“ formulieren:

$$W_{\text{Oberwelle-Synthese}}^2 = W_{\text{Verifikation}}^2 + W_{\text{Spez}}^2$$

mit  $W_{\text{Spez}}$  als die vom Hersteller spezifizierte Unsicherheit (Annahme  $k=2$ ) des eingestellten Wertes.

Messgröße / Kalibriergegenstand	Messbereich / Messspanne	Messbedingungen / Verfahren	kleinste angebbare Messunsicherheit	Bemerkungen
Wechselspannung harmonische Oberwellen Messgeräte	Grundwelle 8 V bis 110 V	45 Hz bis 65 Hz 8 V bis 78 V, eff.	$3,0 \cdot 10^{-4} \cdot U$	mit Fluke 6100A
	>110 V bis 700 V	110 V bis 1 kV, eff.	$5,6 \cdot 10^{-4} \cdot U$	
	Harmonische 0 V bis 4,8 V	90 Hz bis 2 kHz 1 V bis 16 V, eff.	$5,2 \cdot 10^{-4} \cdot U_n + 1 \text{ mV}$	$U_n$ = Spannung der n-ten Harmonischen  eff. = Effektivwertgrenzen des verzerrten Signals
	0 V bis 23 V	2,3 V bis 78 V, eff.	$5,2 \cdot 10^{-4} \cdot U_n + 2 \text{ mV}$	
	0 V bis 50 V	11 V bis 168 V, eff.	$5,3 \cdot 10^{-4} \cdot U_n + 4,4 \text{ mV}$	
	0 V bis 100 V	23 V bis 336 V, eff.	$5,2 \cdot 10^{-4} \cdot U_n + 12 \text{ mV}$	
	0 V bis 302 V	70 V bis 1 kV, eff.	$5,2 \cdot 10^{-4} \cdot U_n + 33 \text{ mV}$	
Wechselstromstärke harmonische Oberwellen Messgeräte	Grundwelle 0,05 A bis 16 A	45 Hz bis 65 Hz 0,05 A bis 20 A, eff.	$6,6 \cdot 10^{-4} \cdot I$	mit Fluke 6100A
	Harmonische 0 A bis 0,075 A	90 Hz bis 2 kHz 0,01 A bis 0,25 A, eff.	$9,2 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 5,8 \mu\text{A}$	
	0 A bis 0,15 A	0,05 A bis 0,5 A, eff.	$8,8 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 12 \mu\text{A}$	
	0 A bis 0,3 A	0,1 A bis 1 A, eff.	$7,5 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 24 \mu\text{A}$	
	0 A bis 0,6 A	0,2 A bis 2 A, eff.	$9,9 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 46 \mu\text{A}$	
	0 A bis 1,5 A	0,5 A bis 5 A, eff.	$7,9 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 0,12 \text{ mA}$	
	0 A bis 3 A	1 A bis 10 A, eff.	$7,6 \cdot 10^{-4} \cdot I_n + 0,24 \text{ mA}$	
	0 A bis 6 A	2 A bis 20 A, eff.	$1,0 \cdot 10^{-3} \cdot I_n + 0,71 \text{ mA}$	

## XXId Ergebnisse der Kontrollmessungen

vom 27.03.2007 / 15.03.2008

