



**ESE**<sup>®</sup>  
EFFICIENCY  
SAVING  
ENVIRONMENT



**ant**  
EFFICIENCY  
SAVING  
ENVIRONMENT



**IoT INDUSTRIE 4.0** bereit  
IN ITALIEN GEFERTIGT

TECHNISCHER BERICHT

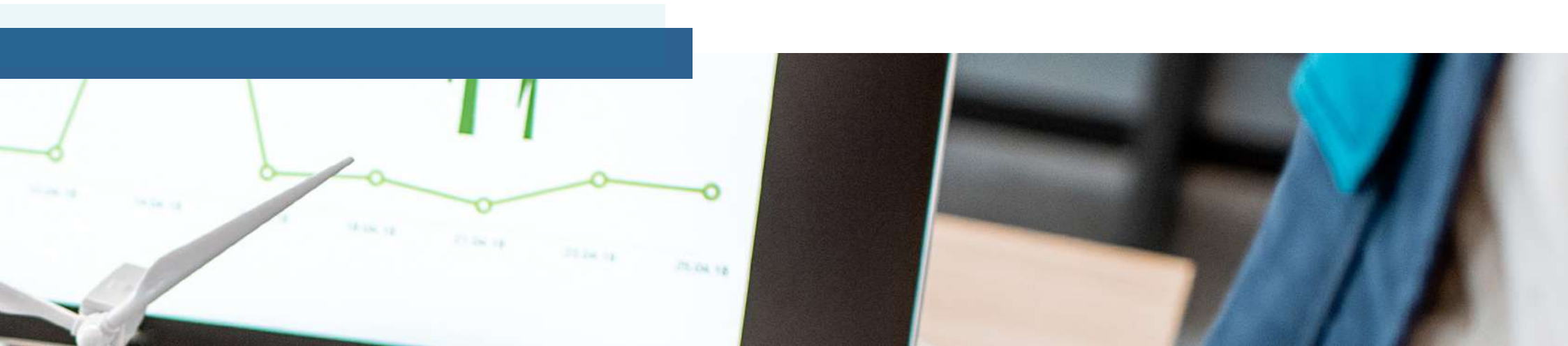


Abteilung Energieeffizienz



# » INHALT/

<b>1. AKTUELLE VERSORGUNGS-LAGE.....</b>	<b>4</b>	<b>3. VORHANDENE TECHNOLOGIEN.....</b>	<b>18</b>
1.1 DER ÜBERGANG ZUM DIGITALEN ZEITALTER .....	4	3.1 SPANNUNGSOPTIMIERUNG.....	18
1.2 VERTEILTE ERZEUGUNG .....	5	3.2 LEISTUNGSFAKTORKORREKTUR.....	18
1.3 ÜBERSPANNUNG ODER UNTERS PANNUNG.....	6	3.3 OBERSCHWINGUNGSFILTERUNG.....	19
1.4 HARMONISCHE VERZERRUNG.....	7	3.4 EMI-FILTER.....	20
1.5 PHASENABGLEICH.....	9	3.5 VERBRAUCHSPROFILIERUNG.....	20
1.6 PHASENVERSCHIEBUNG.....	10	<b>4. ANT.....</b>	<b>21</b>
<b>2. REAKTION AUF DIE LAST.....</b>	<b>11</b>	4.1 AUSGANGSÜBERLEGUNGEN.....	21
2.1 PRÄMISSE.....	11	4.2 LAUFENDES PROJEKT.....	22
2.2 DAUERHAFT E ÜBERSPANNUNG BEI OHMSCHER LAST.....	12	4.3 PROJEKTDATEN UND SIMULATIONEN.....	25
2.3 PHASENVERSCHIEBUNG.....	14		
2.4 HARMONISCHE VERZERRUNG.....	16		



# 1. AKTUELLE VERSORGUNGS-LAGE

In den letzten Jahren haben wir zwei sehr wichtige Phänomene bei der weltweiten Verteilung und Nutzung von Strom beobachtet:

- Der Übergang zum digitalen Zeitalter
- Verteilte Erzeugung

Diese beiden Phänomene haben erhebliche Auswirkungen auf die Verteilung von Strom und seine ordnungsgemäße Verwaltung.

Lassen Sie uns diese im Detail analysieren.

## 1.1 DER ÜBERGANG ZUM DIGITALEN ZEITALTER

Vor etwas mehr als einem Jahrzehnt begann in allen Bereichen eine echte Revolution, die auf den zunehmenden Einsatz digitaler Technologien zur Verbesserung der Leistung der Systeme zurückzuführen ist, die zur Ausführung der wichtigsten technologischen Funktionen eingesetzt werden. Computer werden heute in allen Einrichtungen und in allen Bereichen intensiv genutzt, von der häuslichen Umgebung bis hin zu den komplexesten industriellen Prozessen. Mittlerweile werden alle gängigen Maschinen von volldigitalen Computersystemen gesteuert und bedient. Und nicht nur das: Sie halten Einzug in unser Leben, Werkzeuge, die vor einigen Jahren noch unvorstellbar waren (Tablets, Smartphones usw.). Selbst grundlegende Konzepte wie die Beleuchtung werden zunehmend auf digitale

Technologien umgestellt, insbesondere mit dem Einsatz von LEDs. Im weiteren Verlauf der Diskussion werden wir uns mit den Auswirkungen dieses Phänomens auf Energiefragen und ein effizientes Energiemanagement befassen. Zunächst ist festzustellen, dass mit der zunehmenden Entwicklung der digitalen Technologien immer mehr nichtlineare Lasten an unsere Anlagen angeschlossen werden.



## 1.2 VERTEILTE ERZEUGUNG

Noch vor zwei Jahrzehnten war die Stromerzeugung im Wesentlichen zentralisiert, vor allem dank der Nutzung der Atomenergie, die es ermöglichte, große Kraftwerke zu errichten, um einen immer größeren und energieintensiveren Nutzerkreis zu bedienen. In den letzten Jahren hat sich jedoch auch die Erzeugung von elektrischer Energie erheblich verändert, vor allem dank der Photovoltaik, die auch dank starker Anreizmaßnahmen immer mehr Einzug in unser Leben hält, aber auch andere Technologien wie Windkraft, Wasserkraft, Kraft-Wärme-Kopplung usw. erfahren eine zunehmende Entwicklung.

Wie sich dieses Phänomen auf die Energieübertragung zu den Endverbrauchern auswirkt, würde den Rahmen dieser Diskussion sprengen, aber es ist sicher interessant, zunächst die Hauptunterschiede zwischen den beiden Ansätzen zu bewerten. Um die Diskussion zu vereinfachen, wird im Folgenden die Situation des Stromübertragungsnetzes in den beiden Fällen skizziert, um die Auswirkungen dieser Änderung auf den Endverbraucher qualitativ zu erfassen:

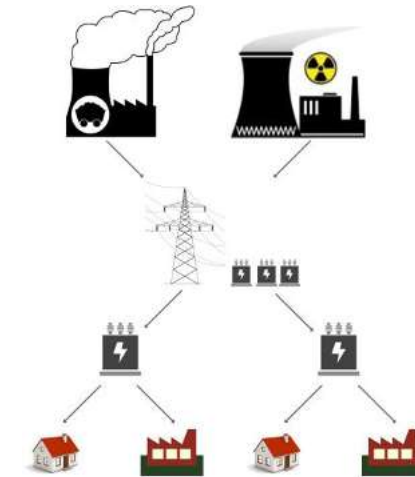


Abbildung 1: Zentral erzeugtes Übertragungsnetz

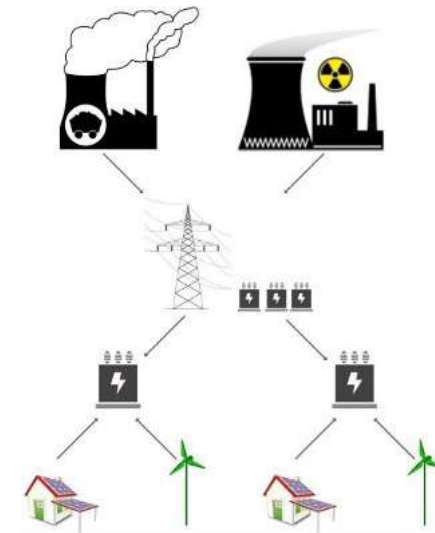


Abbildung 2: Übertragungsnetz für dezentrale Erzeugung

Wie wir aus den beiden obigen Abbildungen ersehen können, ist der wichtigste Unterschied, den wir feststellen können, topologisch. Insbesondere bei der dezentralen Stromerzeugung durchläuft der ins Netz eingespeiste Strom immer zentrale Verteilersysteme, bevor er zu den Endverbrauchern gelangt, während dies bei der dezentralen Stromerzeugung nicht immer der Fall ist. In der Praxis kann der Strom direkt vom Erzeuger zum Verbraucher übertragen werden, ohne dass er durch zentrale Verteilersysteme geleitet wird.

Dieses Phänomen hat erhebliche Auswirkungen auf die Qualität des von den Erzeugern gelieferten Stroms. Da es keine Zwischenschritte für die Verteilungsanlagen gibt, ist der von dezentralen Erzeugern gelieferte Strom weniger effizient als der von zentralen Erzeugern gelieferte. In den letzten Jahren hört man im elektrischen und elektrotechnischen Bereich immer öfter von Power Quality, also der Qualität der von den Stromleitungen zum Verbraucher übertragenen Energie.

### 1.3 ÜBERSpannung ODER UNTERSpannung

Überspannung ist ein Phänomen, bei dem das Netz Strom mit einer höheren Spannung als der Nennspannung überträgt. Das Phänomen kann vorübergehend oder dauerhaft sein. Im ersten Fall tritt die Abweichung vom Nennwert für einige Augenblicke oder einige Zyklen auf, mit Amplituden von einigen Volt bis zu Hunderten von Volt, oft verursacht durch das Zuschalten von induktiven Lasten, Transformatoren unter Last, usw... Natürlich kann diese Art von Störung auch Energieineffizienzen

erzeugen, aber das eigentliche Problem, das mit dieser Art von Störung verbunden ist, besteht darin, dass die an das System angeschlossenen Geräte beschädigt werden können. Im zweiten Fall kann die Störung als dauerhaft betrachtet werden, wenn die Versorgungsspannung konstant höher ist als die Nennbetriebsspannung, die in Italien bei einphasigen Niederspannungsnetzen 230 V und bei dreiphasigen Niederspannungsnetzen 400 V beträgt. Auch in diesem Fall könnte die Störung auf Dauer Schäden an den angeschlossenen Geräten verursachen, obwohl dieses Phänomen bei der Auslegung der Geräte berücksichtigt werden sollte, und eine Eingangsspannungstoleranz von  $\pm 10\%$  aufweisen sollten. Insbesondere führt bei den meisten linearen Lasten, die an Netze angeschlossen sind, eine Erhöhung der Spannung zu einer Verkürzung der Lebensdauer der Geräte und zu einem höheren Energieverbrauch, ohne dass sich die Leistung nennenswert verbessert.

## 1.4 HARMONISCHE VERZERRUNG

Die Stromübertragung auf dem Netz sollte mittels einer Sinuswelle mit einer Frequenz von 50 Hz (in Italien) und einer Nennspannung von 230 V erfolgen. Diese Welle, die sich an linearen Impedanzen schließt, sollte im Stromkreis einen Strom erzeugen, der ebenfalls sinusförmig mit einer Frequenz von 50 Hz ist, mit einer Amplitude, die vom ohmschen Teil der Impedanz abhängt, und höchstens einer Phasenverschiebung hinsichtlich der Spannungswelle, die vom ideellen Teil der Impedanz abhängt. Der Begriff "sollte" bezieht sich sowohl auf die Eingangsspannung als auch auf die Erzeugung des Netzstroms, da im ersten Fall nicht sicher ist, dass die Spannungswelle am Eingang perfekt sinusförmig ist. Wenn dies der Fall ist, ist nicht sicher, dass die resultierende Stromwelle perfekt sinusförmig ist. Mathematisch gesehen ist die betreffende Welle in jedem Fall periodisch und kann sich daher in Fourier-Reihen entwickeln, die sie als Summe unendlicher sinusförmiger Komponenten mit unterschiedlicher Frequenz, Amplitude und Phase darstellen. Technisch gesehen werden die einzelnen Komponenten der Reihenentwicklung als Oberschwingungen bezeichnet; insbesondere ist auch die Sinuswelle mit der Grundfrequenz eine Oberschwingung.

Betrachtet man einen Stromkreis, der mit einer reinen Sinuswelle gespeist wird und nur an lineare Lasten angeschlossen ist, so hat die resultierende Stromwelle, wie bereits erwähnt, eine einzige Komponente mit der Frequenz der Stromversorgung und keine

Oberwellenkomponente mit einer anderen Frequenz als der Grundschwingung. Wohingegen in dem Fall, in dem mindestens eine der Lasten nichtlinear ist, Stromoberschwingungen mit einer anderen Frequenz als der Grundschwingung auftreten können. Vernachlässigt man das Phänomen der Zwischenharmonischen im Moment, so sind bei den elektrischen Lasten die resultierenden Stromkomponenten mit einem größeren Beitrag in der Regel diejenigen mit Frequenzen, die ein Vielfaches der Grundschwingung sind. Daher können die erzeugten Oberschwingungen numerisch geordnet werden, indem man sich auf das Vielfache der betreffenden Frequenz bezieht, d.h. zum Beispiel ist eine zweite Oberschwingung eine Oberschwingung mit der doppelten Frequenz der Grundschwingung. Darüber hinaus sind bei den meisten nichtlinearen Lasten, die an Netze angeschlossen sind (z. B. Schaltnetzteile), die Oberschwingungen mit der höchsten Amplitude diejenigen mit ungerader Ordnung, also die dritte, die fünfte, die siebte usw. Darüber hinaus tragen die Oberschwingungen in der Praxis in der Regel mit mehr Amplituden in den niedrigeren Ordnungszahlen bei und sind daher abnehmend, d. h. im Allgemeinen hat die dritte Oberschwingung eine größere Amplitude als die fünfte, die fünfte als die siebte und so weiter. Natürlich müssen auch in diesem Fall individuelle Situationen analysiert werden, da verschiedene nichtlineare Lasten, die an das betreffende Netz angeschlossen sind, einen unterschiedlichen Beitrag zu den Oberschwingungen erzeugen können, so dass die Summe dieser Beiträge unterschiedlich sein kann.

Bezogen auf die erzeugte Stromwelle kann n die gesamte harmonische Verzerrung wie folgt definiert werden:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^{\infty} I_n - I_f}{I_f}$$

wo:

$I_t$  ist der Gesamtstrom

$I_f$  ist der Strom bei Grundfrequenz

Das Gleiche gilt für die Spannungswelle:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^{\infty} V_n - V_f}{V_f}$$

*Ganz allgemein für die übertragene Leistung:*

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

Dieser Index gibt, wie der Name schon sagt, Aufschluss über die Gesamtverzerrung in den Wellenformen. Je mehr der Wert größer als 0 ist, desto weiter entfernt sich natürlich die Wellenform vom Idealfall. Zudem verursacht das Bestehen von Oberschwingungsverzerrungen an sich Energieprobleme in den Anlagen. Es kann nämlich gezeigt werden, dass die Stromverzerrung auch Auswirkungen auf die Spannungswellenform hat, die die Lasten speist. Daher hat dieses Phänomen auch Auswirkungen auf die linearen Lasten, die an die Systeme angeschlossen sind, und führt zu weiteren Verlusten im System als Folge der erhöhten Verlustleistung an

der Leitungsimpedanz und der internen Impedanz des Generators.

Im Allgemeinen hat eine lineare Last eine fast unendliche Bandbreite, z. B. wandelt eine Glühbirne die gesamte von ihr gelieferte elektrische Leistung in einer praktisch unendlichen Bandbreite in Wärmeenergie um, d. h. wenn ich die Glühbirne z. B. mit 5 V bei einer Frequenz von 400 Hz versorge, erwärmt sich der Glühfaden in der Glühbirne, und es entsteht Wärme durch den Joule-Effekt.

Das Problem besteht darin, dass die fragliche Umwandlung keine Lichtemissionen im sichtbaren Bereich erzeugt, bzw. nur eine minimale Menge an Lichtemissionen im sichtbaren Bereich und vielleicht andere Emissionen in Lichtbereichen, die für das bloße Auge nicht sichtbar sind, z. B. Ultraviolett oder Infrarot, da der Glühfaden für den Betrieb mit der Netzfrequenz ausgelegt ist.

Dies hat drei sehr wichtige Auswirkungen:

- Ein Betrieb außerhalb der Nennwerte kann zu einem vorzeitigen Ausfall des Gerätes führen.
- Die abgegebene Lichtenergie hat eine unerwünschte Komponente, sodass gesagt werden kann, dass die überschüssige Energie nicht für die Funktion verwendet wird, für die das Gerät konzipiert ist, sondern im Grunde eine Störung darstellt.
- Die Emission von Strahlung außerhalb des sichtbaren Lichts kann für den menschlichen Körper, der ihr ausgesetzt ist, schädlich sein.



Würden wir andere Arten von Lasten wie Elektromotoren, Pumpen oder andere Dinge in Betracht ziehen, könnten die Folgen noch schlimmer sein.

Das allgemeine Ergebnis ist, dass solche Verzerrungen Energie an die Lasten übertragen, die diese zum Teil dazu nutzen, die Funktion zu verrichten, für die sie ausgelegt sind, und zum Teil Leistungsverluste erzeugen, die einen Lastausfall erhöhen können. Neben dem wirtschaftlichen Schaden, der sich aus dem erhöhten Energieverbrauch ergibt, entsteht also auch ein Schaden durch die Verkürzung der Nutzungsdauer der Geräte.

## 1.5 PHASENABGLEICH

Bei Dreiphasensystemen ist ein weiterer Faktor, der sich negativ auf die Qualität der Versorgung auswirkt, das Ungleichgewicht zwischen den Phasen, d. h. der Unterschied zwischen den Wellenformen auf den einzelnen Phasen der Versorgung. Diese Unterschiede sind im Allgemeinen entweder auf die Spannung mit der Grundfrequenz oder auf Oberwellen zurückzuführen. Solche Störungen treten in der Regel auf, wenn einphasige Lasten und dreiphasige Lasten auf der gleichen Leitung zusammengeschaltet werden. Auch dieses Phänomen hat sowohl energetische Auswirkungen auf die angeschlossenen Drehstromverbraucher als auch Folgen für den Wirkungsgrad und die Lebensdauer der Geräte. Aus der Literatur in diesem Bereich erfahren wir, dass die meisten Ineffizienzen bei den an das System angeschlossenen Drehstrommotoren entstehen.

## 1.6 PHASENVERSCHIEBUNG

Eine weitere wichtige Störung, die bei an ein Stromnetz angeschlossenen Lasten auftritt, ist die Phasenverschiebung zwischen der Spannungswellenform und der erzeugten Stromwellenform. Die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom führt im Allgemeinen nicht zu Energieproblemen bei den Verbrauchern oder zumindest nicht zu Problemen hinsichtlich der von den Verbrauchern aufgenommenen Wirkenergie, vielmehr führt die Phasenverschiebung zu Ineffizienzen und einer größeren Leistungsaufnahme in der Stromübertragungsphase. Im Allgemeinen erzeugt auch eine lineare Last, die nicht vollständig ohmsch ist, eine Phasendifferenz des Stroms hinsichtlich der Versorgungsspannung, entweder im Voraus oder mit Verzögerung, je nachdem, ob es sich um eine ohmsch-kapazitive oder eine ohmsch-induktive Last handelt. Dies führt zur Übertragung der so genannten Blindleistung, d. h. der Leistung, die von den Verbrauchern nicht zur Verrichtung der Funktion verwendet wird, sondern lediglich zur Unterstützung des Magnetfelds. Das Problem besteht darin, dass die Blindleistung durch einen induktiven Strom übertragen wird, der die Belastung der an das Netz angeschlossenen elektrischen Leitungen erhöht, und dass darüber hinaus eine größere Stromzirkulation im Stromkreis zu größeren Verlusten an den Reihenimpedanzen des Stromkreises führt, insbesondere an der internen Impedanz des Generators und an der Leitungsimpedanz, wodurch ohmsche Verluste (d. h. Wirkleistung) im System entstehen.

Hier sind 2 Faktoren wichtig für die Energie- und Wirtschaftsbilanz des Systems:

- In einigen Fällen verursacht die Nutzung von Blindstrom Kosten für den Nutzer in Form von Strafgebühren auf der Rechnung.
- Der zirkulierende Blindstrom erzeugt auf der Leitung einen Verlust an Wirkenergie.

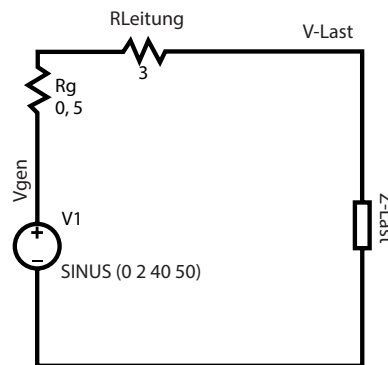
Darüber hinaus lässt sich einfach zeigen, dass sich dieser Faktor auch auf die Versorgungsspannung der Lasten auswirkt, da der Spannungsabfall auf der Leitung bei gleicher Gesamtleistungsaufnahme eine geringere Nutzspannung an der Last erzeugt, d. h. die Stromübertragung wird höchst ineffizient.

Sehr häufig wird hinsichtlich der elektrischen Netzen vom Leistungsfaktor gesprochen, der sich auf das Verhältnis zwischen der gesamten übertragenen Leistung (Scheinleistung) und der Wirkleistung bezieht. Dieser Faktor wird gewöhnlich mit den so genannten Kosten verwechselt. Insbesondere die letztgenannte Aussage ist nur dann richtig, wenn nur lineare Lasten betrachtet werden, so dass bei einem Netz mit linearen Lasten die Kosten dem Leistungsfaktor entsprechen. Im Allgemeinen berücksichtigt der Leistungsfaktor jedoch auch die gesamte harmonische Verzerrung.

## 2. REAKTION AUF DIE LAST

### 2.1 PRÄMISSE

In diesem Abschnitt wird, auch anhand einiger Simulationen, das Verhalten der Lasten bei Vorliegen der oben genannten Störungen analysiert. Der Einfachheit halber nehmen wir einen Stromkreis für einen Haushalt mit einer Vertragsleistung von 3 kW, der sich wie folgt schematisch darstellen lässt: Für die Simulationen wird ein Modell mit konzentrierten Parametern verwendet.



*Im Besonderen:*

- $R_g$  ist der "innere" Widerstand des Generators
- $R_{Leitung}$  ist der Leitungswiderstand des Netzes und ist hauptsächlich auf das Vorhandensein von Stromkabeln für die Stromverteilung zurückzuführen. Der Einfachheit halber werden die kapazitiven und induktiven Effekte der Impedanz

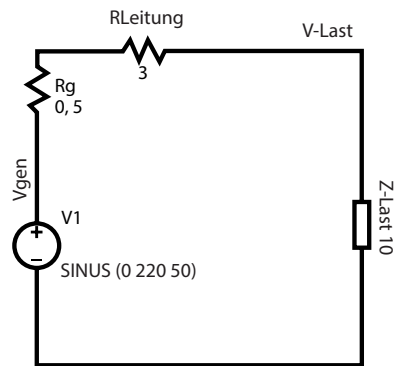
vernachlässigt; der eingestellte Widerstandswert von 3 Ohm entspricht etwa 350 m Kabel mit einem durchschnittlichen Querschnitt von 2 mm<sup>2</sup>.

- Z-Last ist die Lastimpedanz, schematisch dargestellt als äquivalente Impedanz vom Generator aus gesehen. Die betrachtete Schaltung kann in zwei Abschnitte unterteilt werden, einen Teil für die Stromversorgung und einen Teil für die Last.

Um die Energiebilanz des Stromkreises zu bewerten, werden wir eine Reihe von Faktoren berücksichtigen, die von Zeit zu Zeit nützlich sein werden. Im Allgemeinen werden wir uns hingegen auf die vom Generator gelieferte Wirkleistung und die von der Last aufgenommene Wirkleistung konzentrieren, damit wir die Effizienz der Leistungsübertragung in verschiedenen Situationen bewerten können.

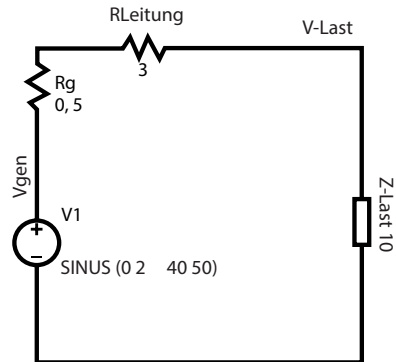
## 2.2 DAUERHAFTE ÜBERSpannung BEI OHMSCHER LAST

Betrachten wir als erstes Beispiel das Vorliegen einer rein ohmschen Last und analysieren wir die Auswirkungen einer Spannungsversorgung oberhalb der optimalen Spannung am System, wobei wir von einer optimalen Spannung von 220 V ausgehen:



Vom Generator gelieferte Wirkleistung: 1785 W

Von der Last aufgenommene Wirkleistung: 1322 W



Vom Generator gelieferte Wirkleistung: 2124 W

Von der Last aufgenommene Wirkleistung: 1573 W

Um es noch einmal zusammenzufassen:

OHMSCHE LAST – AUSWIRKUNGEN VON SPANNUNGSSCHWANKUNGEN IM DAUERHAFTEN ZUSTAND		
	Optimale Netzspannung	Hohe Netzspannung
Versorgungsspannung:	220 V	240 V
Netzstrom:	16,28 A	17,73 A
Leistungsfaktor:	≈ 1	≈ 1
Gesamte harmonische Verzerrung:	0 %	0 %
Resistive Lastimpedanz:	10 Ohm	10 Ohm
Vom Generator gelieferte Leistung:	1785 W	2124 W
An der Last abgegebene Leistung:	1322 W	1573 W

## Überlegungen

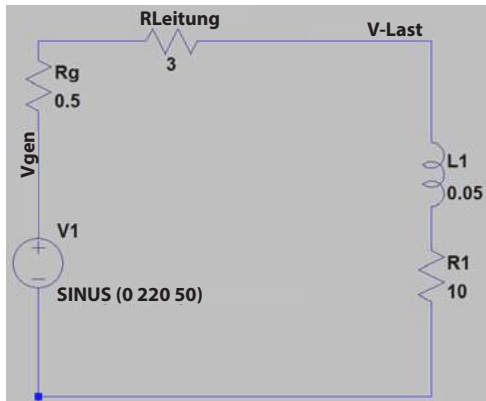
Zunächst ist zu bedenken, dass im vorliegenden Fall die vom Generator bereitgestellte Gesamtleistung bei optimaler Stromversorgung um etwa 16 % geringer ist. Natürlich ist aufgrund der Linearität der Schaltung auch die an die Last abgegebene Leistung um 16 % geringer, aber wie wir bei der Behandlung der Auswirkungen hoher Spannungen auf die Lasten gesehen haben, führt dies nicht immer zu einer Steigerung des Wirkungsgrads der betreffenden Last, zum Beispiel wenn es sich um eine oder mehrere parallel geschaltete Glühlampen handelt. Die Speisung mit einer höheren Spannung bei der Grundfrequenz führt sicherlich zu einer höheren Lichtenergie im sichtbaren Bereich, aber auch zu einer höheren Energie in den anderen Emissionsbereichen der Leuchte, so dass die Gesamtlichtleistung im sichtbaren Bereich nicht um 16 %, sondern um einen geringeren Prozentsatz erhöht wird. Darüber hinaus bedeutet die Überschreitung des für die betreffende Leuchte optimalen Spannungsbereichs eine Verkürzung der Lebensdauer um weit mehr als 16 %. Untersuchungen von Omran zeigen bei Glühlampen, dass die Lebensdauer einer Glühbirne bei einer Spannung von 240 V um 55 % geringer ist als bei ihrer Nennbetriebsspannung.

Ein weiterer Faktor, der berücksichtigt werden muss, ist der ohmsche Energieverlust durch das Netz. Im Falle der optimalen Stromversorgung haben wir einen Verlust von  $(1785 - 1322) \text{ W} = 463 \text{ W}$ , während wir im Falle der höheren Spannungsversorgung wiederum  $(2124 - 1173) \text{ W} = 551 \text{ W}$  haben. Relativ gesehen ist der prozentuale Verlust derselbe, aber in absoluten Zahlen ist der

Leistungsverlust bei der höheren Spannung größer, da etwa 100 W mehr auf der Leitung abgeführt werden, was bedeutet, dass mehr Energie am Zähler verbraucht wird und die Stromkabel sich stärker erwärmen und ineffizienter werden.

## 2.3 PHASENVERSCHIEBUNG

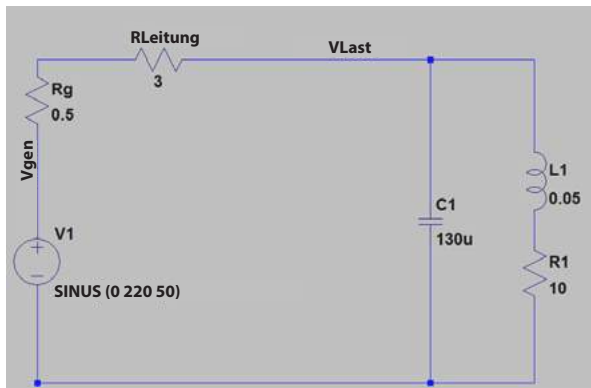
Betrachten wir nun das Vorliegen einer ohmsch-induktiven Last im Stromkreis:



Vom Generator gelieferte Leistung: 632 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 561 W

Wir führen parallel zur Last eine kapazitive Impedanz ein, um aus derselben Schaltung eine äquivalente ohmsche Impedanz zu erhalten, wie sie vom Generator aus gesehen wird:



Vom Generator gelieferte Leistung: 758 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 573 W

Um es noch einmal zusammenzufassen:

OHMSCHE LAST – AUSWIRKUNGEN VON SPANNUNGSSCHWANKUNGEN IM DAUERHAFTEN ZUSTAND		
	Ohmsche äquivalente Last	Äquivalente Last ohmsch-induktiv
Versorgungsspannung:	220 V	220 V
Netzstrom:	5,73 A	8,03 A
Leistungsfaktor:	0,99	0,66
Gesamte harmonische Verzerrung:	0 %	0 %
Vom Generator gelieferte Leistung:	758 W	632 W
An der Last abgegebene Leistung:	561 W	573 W

## Überlegungen

Für den vorliegenden Fall können wir zwei wichtige Überlegungen anstellen:

1. Die vom Generator abgegebene Leistung ist bei einer induktiven ohmschen Last etwa 18 % höher als bei ihrer ohmschen Äquivalente.
2. Die tatsächlich an der Last verbrauchte Leistung ist etwa 3 % höher.

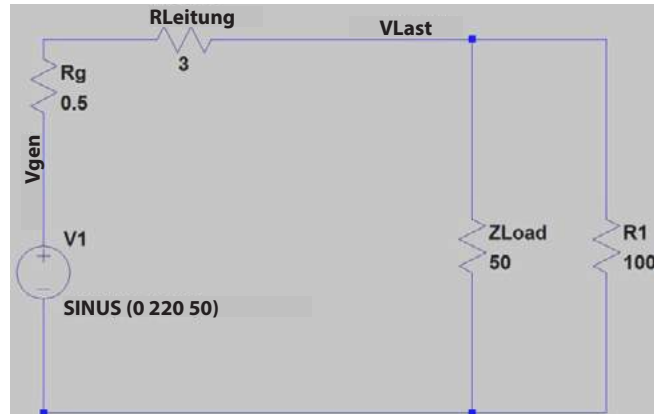
Mit der ersten Aussage können wir sagen, dass wir durch die Verbesserung des Leistungsfaktors des Stromkreises auch eine erhebliche Einsparung bei der verbrauchten Gesamtleistung erzielen, sodass die Energiebilanz in diesem Fall positiv ausfällt. Zudem stellen wir fest, dass die Last davon profitiert, da die von ihr verbrauchte Leistung unter den gleichen Bedingungen etwas höher ist als im vorherigen Fall.

Natürlich wird diese Bedingung bei einer Versorgungsspannung von 220 V überprüft, bei höheren Spannungen ist das Problem ausgeprägter, da das Einfügen von induktiven Lasten eine Phasenverschiebung mit einem daraus resultierenden Spannungsabfall an der Last aufgrund des Effekts der Leitungsimpedanz erzeugt. Die Situation verbessert sich vom energetischen Standpunkt aus durch die Umphasung des Systems, in der gleichen Weise, wie wir sie soeben analysiert haben. In Realität befinden wir uns im vorherigen Zustand der dauerhaften

Überspannung der Last, damit sie unter ihren optimalen Betriebsbedingungen arbeitet, muss die Verlustleistung mit an der Last auf jeden Fall umgestaltet werden. Dieser letzte Faktor führt zu noch größeren Einsparungen und ist daher ein erstrebenswertes Element, das wir im Folgenden behandeln werden.

## 2.4 HARMONISCHE VERZERRUNG

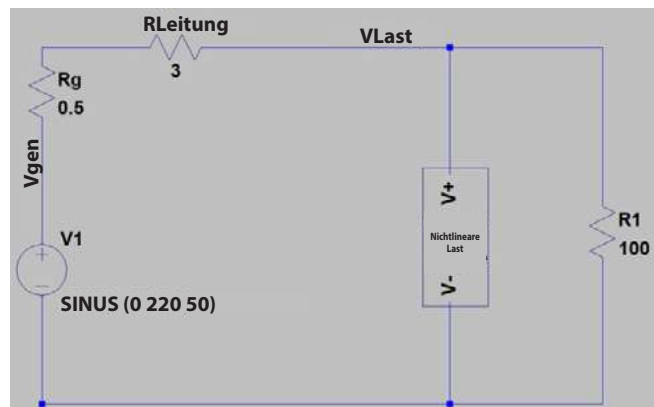
Betrachten wir nun das Vorliegen von gemischten linearen und nichtlinearen Lasten im Stromkreis:



Vom Generator gelieferte Leistung: 654 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 592 W

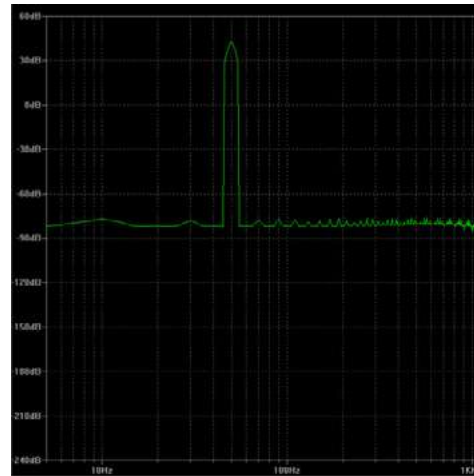
Wir ersetzen die 50-Ohm-Last durch eine Last gleicher Leistung, die jedoch nicht linear ist:



Vom Generator gelieferte Leistung: 656 W

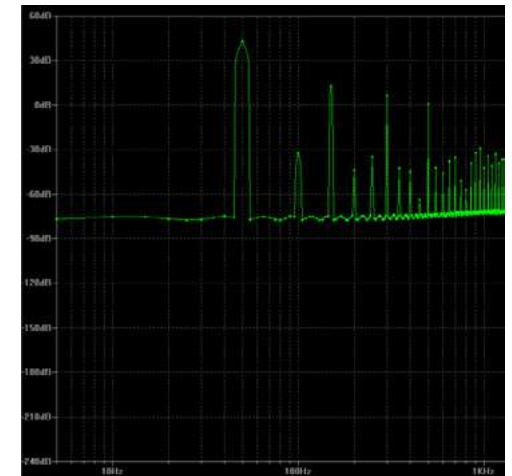
Von der Last aufgenommene Leistung: 586 W

Betrachten wir diese Situation im Detail, betrachten wir die Fourier-Transformation der Spannung an der Last im Bereich von 0 - 1 kHz.



Vollständig lineare Schaltung.

Gesamte harmonische Verzerrung: 0,000473 %



Schaltung mit nichtlinearer Last

Gesamte harmonische Verzerrung:  
3,550619 %



Um es noch einmal zusammenzufassen:

INDUKTIVE OHMSCHES LAST - HARMONISCHE WIRKUNG		
	Ohmsche äquivalente Last	Äquivalente Last ohmsch-induktiv
Versorgungsspannung:	220 V	220 V
Netzstrom:	4,21 A	4,46 A
Leistungsfaktor:	≈ 1	0,95
Gesamte harmonische Verzerrung:	≈ 0 %	3,55 %
Vom Generator gelieferte Leistung:	654 W	656 W
An der Last abgegebene Leistung:	592 W	586 W

### Überlegungen

Für den vorliegenden Fall lassen sich drei Überlegungen anstellen:

- Die Ausgangsleistung des Generators ist im Falle eines nichtlinearen Stromkreises etwa 0,4 % höher als im Falle seines ohmschen Äquivalents.
- Die an die Last übertragene Gesamtleistung ist um etwa 1 % höher.
- Die an die Last übertragene Leistung bei einer Frequenz von 50 Hz ist um 3,5 % geringer, da dieser Prozentsatz außerhalb des Bandes übertragen wird.

In diesem Fall erzeugt die nichtlineare Last einen Strom mit einem hohen Anteil an Oberschwingungen außerhalb des Bandes, der an sich keine Probleme

für die anderen Lasten verursacht, da er nur zwischen dem Generator und der betreffenden Last zirkuliert. Das Problem besteht darin, dass die Spannungsschwankungen an der Leitungsimpedanz ebenfalls einen hohen Oberwellengehalt aufweisen und daher die gesamte Versorgungsspannung der Verbraucher mit Oberwellenverzerrungen behaftet ist, die, wie bereits erwähnt, von der Leistung der verzerrenden Last und der Leitungsimpedanz abhängen, wobei diese Verzerrungen natürlich von den ohmschen Lasten absorbiert und in Wärme umgewandelt werden. Dies bringt vermutlich keinen Vorteil in Bezug auf den Wirkungsgrad, sondern mitunter sogar erhebliche Nachteile in Bezug auf die Lebensdauer des Geräts mit sich. Wir können also feststellen, dass, obwohl es aus der Sicht der Energiebilanz zunächst so aussieht, als gäbe es keine konsistenten Schwankungen (1 %), aus der Sicht des Wirkungsgrads der Lasten noch konsistentere Schwankungen (3 - 4 %) bestehen, so dass die von der Last aufgenommene Gesamtleistung praktisch 5 % niedriger ist, wenn man die für die Funktion nutzbare Leistung (die bei 50 Hz abgegebene Leistung) betrachtet.

## 3 GESTEHENDE TECHNOLOGIEN

### 3.1 OPTIMIERUNG DER SPANNUNG

Die Spannungsoptimierung ist eine energiesparende Technik, bei der ein Transformator in Reihe mit der Versorgungsleitung geschaltet wird, um die der Last zur Verfügung stehende Spannung zu verringern oder zu erhöhen.

Die Optimierung kann statisch oder dynamisch erfolgen, je nachdem, ob die Spannung fest um einen bestimmten Prozentsatz abgesenkt oder während des normalen Betriebs der Schaltung dynamisch verändert wird.

Bei bestimmten nichtlinearen Lasten (z. B. Schaltnetzteilen) kann der Rückgang der Spannung sogar zu einem Anstieg des Verbrauchs führen. Diese Lasten arbeiten nämlich mit konstanter Leistung, d. h. sie nehmen auch bei Spannungsschwankungen immer die gleiche Menge an Strom auf, sodass ein Rückgang der Spannung zu einem Anstieg des Stroms im Knotenpunkt und damit in der Leitung führt, und dieser Strom erhöht somit die Verluste in den Übertragungskabeln.

### 3.2 LEISTUNGSFAKTORKORREKTUR

Als Leistungsfaktorkorrektur wird jede Maßnahme bezeichnet, die dazu dient, den Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) einer bestimmten Last zu erhöhen (oder, wie man allgemein sagt, zu verbessern), um den Wert des im System zirkulierenden Stroms bei gleicher aufgenommener Wirkleistung zu verringern. Der Zweck der Blindleistungskompensation besteht vor allem darin, die Energieverluste zu verringern und die Scheinleistungsaufnahme im Verhältnis zu den vorhandenen Maschinen und Leitungen an einem Industriestandort zu reduzieren. Die Umstellung der Anlagen gewann an Bedeutung, als der Stromversorger durch die CIP-Tarifmaßnahmen (Nr. 12/1984 und Nr. 26/1989) Vertragsklauseln einführte, die den Nutzer unter Androhung von Strafzahlungen zur Umstellung seiner Anlage verpflichteten. In Stromkreisen mit besonderen Verbrauchern wie Glühlampen, Wassererhitzern, bestimmten Arten von Öfen ist die Scheinleistungsaufnahme die gesamte Wirkleistung. In Stromkreisen mit Verbrauchern, die Wicklungen enthalten, wie Motoren, Schweißgeräte, Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen und Transformatoren wird ein Teil der aufgenommenen Scheinleistung zur Erregung von Magnetkreisen verwendet und daher nicht als Wirkleistung, sondern als Leistung genutzt, die allgemein als Blindleistung bezeichnet wird. Aus der Sicht der Gesamtenergiebilanz verringert die Blindleistungskorrektur die vom Stromkreis

aufgenommene Blindenergie, aber nicht direkt die eingesetzte Wirkenergie, d. h. die Verringerung der Wirkenergie ist im Allgemeinen eine Folge der Tatsache, dass die Verluste auf den Leitern abnehmen, da die Reihenimpedanz der Leiter von einem geringeren Gesamtstrom durchquert wird. In Realität wird nicht die gesamte Wirkenergie eingespart, da die geringere Verlustleistung auf den Leitern zu einem geringeren Spannungsabfall an der Last führt, was bei ohmschen Lasten eine größere Energiedissipation bedeutet.

Es ist klar, dass in diesem Fall die überschüssige Energie für die Last positiv ist, es sei denn, es handelt sich um dauerhafte Überspannungen. Im ersten Fall wird das gesamte System vor der Last und nach dem Generator umgeschaltet, sodass sich die Kosten am Ausgang des Generators verbessern, aber nicht notwendigerweise in jedem Glied des Kreislaufs. Im zweiten Fall werden die Lasten einzeln umgeschaltet, was zu einer Verbesserung der Gesamtkosten nach dem Generator führt, und im dritten Fall gibt es eine Mischlösung aus den ersten beiden. Normalerweise wird die Blindleistungskompensation von Lasten dadurch erreicht, dass ein Blindleistungsgenerator parallel zu den Lasten in Gegenphase zur Blindleistung der Last geschaltet wird, sodass die Ausgangsblindleistung aufgehoben wird. Der einfachste Erzeuger von Blindleistung in Sinusstromkreisen ist der Kondensator, daher werden ein oder mehrere Kondensatoren parallel zu den Lasten geschaltet, um eine Kostenverbesserung zu erzielen. Es gibt jedoch auch andere Techniken wie statische Kompensatoren oder Aktivfilter.

### 3.3 HARMONISCHE FILTERUNG

Die Filterung von Oberschwingungen in Stromnetzen erfolgt in der Regel durch den Einbau von Geräten in den Stromkreis, um die gesamte harmonische Verzerrung des Stroms zu verringern und damit auch die Verzerrungseffekte auf die Spannung zu verbessern. Es gibt 2 Hauptkategorien von Filtern, die für diesen Zweck geeignet sind:

- **Passivfilter**
- **Aktivfilter**

Im ersten Fall gibt es eine weitere Unterscheidung zwischen abgestimmten und induktiven Filtern. Abgestimmte Filter sind spezielle rlc-Filter, die auf eine bestimmte Frequenz abgestimmt und in der Regel mit Masse verbunden sind. In einigen Fällen können auch Bandpass- oder Hochpassfilter verwendet werden, um für Störungen bei diesen Frequenzen einen niederohmschen Weg zur Masse zu schaffen und Störungen an ihrer Quelle zu beseitigen. Bei den Netzdrosseln hingegen ist das Prinzip das der LR-Tiefpassfilter, d. h. die Netzdrossel bildet mit dem nachgeschalteten ohmschen Kreis einen Tiefpassfilter, der bei Frequenzen fern von 50 Hz keine Leistung durchlässt. Diese Art von Lösung verbessert natürlich die Situation an der Last, indem sie den Gesamtverzerrungsfaktor verringert, aber aus der Sicht der Energiebilanz bleibt die Situation unverändert, da die Störungen nach dem Durchqueren

des Zählers in die Erde geleitet werden und daher die in die Erde abgeleitete Energie weiterhin berücksichtigt wird. Aktivfilter sind aus Sicht der Last parallele Stromgeneratoren, die einen Strom einspeisen, der gleich und entgegengesetzt zu dem der verzerrenden Last außerhalb des Bandes ist, und so die von den Lasten erzeugten Oberschwingungsströme auslöschen. Zur korrekten Einspeisung dieser Ströme sind natürlich sehr hohe Schaltfrequenzen erforderlich, die mehr als das Doppelte der Frequenz der maximalen Kompensationsoberschwingung betragen, sodass sie besonders effiziente und schnelle interne Bauelemente benötigen, in der Regel werden IGBTs verwendet, um mit der geforderten Schaltfrequenz zu arbeiten. Das macht solche Geräte natürlich besonders teuer. Darüber hinaus ist die Situation aus Sicht der Energiebilanz ähnlich wie bei Passivfiltern, da je nach Wirkungsgrad der Filter eine entsprechende Menge an Leistung aufgenommen wird, um Störungen zu kompensieren. Das Interessante daran ist, dass Aktivfilter auch die Systemkosten verbessern können, da sie auch als Blindleistungsgeneratoren fungieren. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass Filter mit unterschiedlichen Kapazitäten parallel geschaltet werden können, ohne dass die Schaltung gestört wird oder die Gefahr einer Resonanz besteht.

### 3.4 EMI-FILTER

Der EMI-Filter ist ein Passivfilter, der in den meisten elektronischen Geräten zu finden ist und dafür sorgt, dass diese Geräte die Vorschriften zur elektromagnetischen Verträglichkeit einhalten, insbesondere die Vorschriften zu leitungsgebundenen Emissionen. Der EMI-Filter ist im Wesentlichen ein Tiefpassfilter, der als letzte Stufe zwischen das Gerät und die Stromversorgung geschaltet wird, um die Rauschkomponenten zu dämpfen, die jedes elektronische Gerät tendenziell abgibt. Natürlich muss der Filter bei der Netzfrequenz (50-60 Hz) durchlässig sein, damit das Gerät ordnungsgemäß funktionieren kann, während er in dem von der Norm festgelegten Frequenzbereich (150kHz-30MHz) agieren muss.

### 3.5 VERBRAUCHSPROFILIERUNG

Es gibt eine Reihe von Geräten auf dem Markt, die es ermöglichen, ein Profil des Nutzerverbrauchs zu erstellen, d. h. zu verstehen, wie die Nutzer in einem bestimmten Zeitraum Strom verbrauchen. Natürlich führen solche Systeme per se nicht zu einer Verbesserung des Stromverbrauchs des Nutzers, aber sie haben 2 wesentliche Auswirkungen, die eine Optimierung des Verbrauchs ermöglichen:

- Das Verbrauchsbewusstsein der Nutzer kann zu mehr Aufmerksamkeit und Einsparungen führen.

- Die Einführung eines Expertensystems, das diese Daten analysiert und verarbeitet, kann zu einem effizienteren Energiemanagement und erheblichen Einsparungen führen, ohne dass die Verbrauchsgewohnheiten geändert werden müssen.

## 4. ANT

### 4.1 AUSGANGSÜBERLEGUNGEN

Bevor wir auf die Vorzüge des Projekts eingehen, ist es sinnvoll, einige Klarstellungen zu den in den vorangegangenen Kapiteln behandelten Problemen und den derzeit auf dem Markt befindlichen Lösungen vorzunehmen.

Wir haben uns anschließend mit Systemen zur Spannungsoptimierung befasst, von denen es verschiedene Typen auf dem Markt gibt. Es handelt sich dabei in der Praxis um Geräte, die einfach die Netzspannung reduzieren, manche statisch, andere dynamisch, letztere einschließlich Spannungsstabilisatoren. Es ist klar, dass in diesem Fall ein System zur Spannungsoptimierung nützlich sein könnte, um Geld zu sparen, aber man muss sehr vorsichtig sein, wie es funktioniert. Eine statische Absenkung der Spannung ist sicherlich keine effiziente Lösung, da das Anheben oder Absenken der Spannung gewöhnlich von den Lastbedingungen abhängt. Natürlich muss

man in diesem Fall auch auf den Zustand der Zuleitung achten, da dies zu Betriebsproblemen führen oder die Verbraucher beschädigen könnte. In der Praxis kann eine Überspannung oder eine dauerhafte Unterspannung für ein System positiv oder negativ sein, je nachdem, ob es sich um Lasten mit variabler Leistung oder um Lasten mit konstanter Leistung handelt (gespeist – nichtlinear), deren korrekte Funktionsweise nicht von vornherein vorhergesagt werden kann.

Anschließend haben wir uns mit der Blindleistungskompensation und den Filtersystemen befasst, auch hier gibt es hinsichtlich der Energie- und Anlagensicherheit viel zu klären. Nehmen wir insbesondere den Fall eines Systems mit einer überwiegend ohmsch-induktiven Last und einer dauerhaften Überspannung an. In diesem Fall kommt es je nach Leistungsfaktor der Last zu einem Spannungsabfall von einem bestimmten Wert zwischen dem Generator und der Last. Dieser Spannungsabfall könnte die Last auf den Nennspannungswert bringen. Die Installation eines Leistungsfaktorkorrektur- und Filtersystems bringt als Vorteil eine Erhöhung des Leistungsfaktors, daher eine geringere Stromzirkulation im Serienzweig des Stromkreises und daher eine Erhöhung der Nutzspannung an der Last. Letzteres führt sehr oft zu einer größeren Verschwendung von Wirkenergie, die vom Verhältnis der Leitungsimpedanz zur Lastimpedanz abhängt. Dasselbe gilt, wie wir aus den Simulationen ersehen konnten, für den Oberschwingungsbeitrag zu den Netzströmen und -spannungen. In diesem Fall

akzentuiert und verschärft durch die Tatsache, dass bei Vorliegen von Oberschwingungsstörungen auch das Problem der Sicherheit der Lasten und des gesamten Systems besteht.

Das Projekt ANT ist aus dem Bedürfnis entstanden, die positiven Beiträge der einzelnen in Frage kommenden Technologien in einem einzigen Produkt zu vereinen. Die eigentliche Neuheit und der wichtigste Mehrwert des Produkts liegt in seinem dynamischen Ansatz für das Lastmanagement: Das Gerät ist in der Lage, das Stromnetz, an das es angeschlossen ist, sowohl hinsichtlich der Stromversorgung als auch der Last von Augenblick zu Augenblick zu analysieren und die Lasten in jeder Betriebskonfiguration optimal zu versorgen. Das Gerät ist in der Lage, die Netzparameter mit einer Genauigkeit von 0,1 % sowohl im Spannungs- als auch im Stromspektrum zu analysieren. Durch die Analyse des Emissionsgrades der Lasten ist es in der Lage, die interne Zusammensetzung des Netzes zu verstehen und den Beitrag der einzelnen Impedanzen zu interpretieren, insbesondere den Unterschied zwischen den Lastimpedanzen und den Übertragungs- und Störimpedanzen, so dass das Gerät in der Lage ist, die Leistungsübertragung auf die Lastimpedanzen zu optimieren und die Übertragungs- und Störverluste zu minimieren.

Das Projekt ANT wurde als Antwort auf die wachsende Notwendigkeit der Optimierung der Leistungsübertragung zwischen einem Stromerzeuger und einem Netz von daran angeschlossenen Verbrauchern entwickelt.

Unter Optimierung verstehen wir in diesem Zusammenhang eine Reihe von Maßnahmen zur Verbesserung der Netzqualität am Eingang des Netzes und zur Kompensation der negativen Auswirkungen durch die Einspeisung von Lasten, wie wir in den analysierten Simulationen gesehen haben.

Es ist darauf hinzuweisen, dass es in der derzeitigen Zusammensetzung des Systems keine gleichwertigen Alternativlösungen gibt. Es gibt jedoch Ersatzprodukte, die der vorgeschlagenen Lösung nahe kommen.

## 4.2 AKTUELLES PROJEKT / GERÄTEBESCHREIBUNG

System zur Anpassung der Impedanz elektrischer Verbraucherstromkreise an die Impedanz des Generators, zur Verbesserung der Effizienz von Installationen, zum Schutz von Geräten und zur Energieeinsparung.

Sobald das Gerät an das Stromnetz angeschlossen ist, kann es alle Betriebsparameter des Netzes analysieren, sowohl die externe Stromqualität als auch interne Störfaktoren. Es kann Störungen dämpfen und die Energie nutzen, um die Spannung und den internen Stromfluss zu optimieren. Es ist zudem in der Lage, das Lastprofil auf den Phasen und die Versorgungsspannungen auszugleichen, so dass es auch in der Lage ist, die 3 Phasenströme auszugleichen. Das Betriebsprofil ist vollständig konfigurierbar und kann auch aus der Ferne verwaltet werden, ebenso wie die Daten der Netzanalyse.

Das Produkt umfasst die Basisvariante mit der Bezeichnung ANT Version 2.1, die TG-Variante, die die

oben näher beschriebenen Fernsteuerungsfunktionen des Geräts enthält, und die TL-Variante, die die oben näher beschriebenen Fernlesefunktionen enthält.

Das Gerät ist an das System anzuschließen, unabhängig davon, ob es sich um einen Haushalt oder ein Unternehmen handelt, und zwar hinter dem Zähler und dem Eingang zur Hauptverteilungsleitung. Sobald es an den Stromkreis angeschlossen ist, kann es die Impedanz berechnen, die das Messgerät gegenüber dem Stromkreis aufweist, und diese Impedanz optimieren, um die Energieübertragung zwischen dem Messgerät und dem System zu verbessern, wodurch der Energieverlust des Systems aufgrund von Faktoren, die nicht auf die Verwendung der Geräte zurückzuführen sind, wirksam verringert wird. Darüber hinaus wirkt das Gerät auch als Netzqualitätsoptimierer in Bezug auf die ankommende Leitung. Die Stromqualität ist die Eigenschaft des Stromnetzes, Strom effizient an die Verbraucher zu übertragen und Verschwendung so weit wie möglich zu vermeiden.

### **Fernsteuerung**

Das ferngesteuerte Gerät verfügt über alle Grundfunktionen und bietet darüber hinaus die Möglichkeit der vollständigen Fernsteuerung aller installierten Geräte. Die Fernsteuerung der Geräte ist sehr wichtig für die Verbesserung der Betriebsparameter der Geräte, da die Möglichkeit besteht, jedes einzelne Gerät aus der Ferne entsprechend der Standardbetriebssituation neu zu konfigurieren. Darüber hinaus ist es durch die Fernsteuerung möglich,

sich jederzeit vom eigenen Büro aus ein vollständiges Bild von der Betriebssituation der Geräte zu machen und, falls erforderlich, jedes Gerät zu umgehen, indem es vom System, an das es angeschlossen ist, getrennt wird. Zudem besteht die Möglichkeit, im Falle eines Geräteausfalls über die Art der aufgetretenen Störung informiert zu werden, und wenn ein Teil im Inneren des Geräts defekt ist, kann man im Voraus wissen, welches Teil ausgetauscht werden muss, und einen präziseren und effizienteren Service anbieten, natürlich mit der Möglichkeit, den Kunden direkt zu kontaktieren und ihn darüber zu informieren, dass eine Störung aufgetreten ist und ein Service angeboten wird.

### **Überwachung**

Das Produkt verfügt natürlich über ein internes Sensornetz, das die Funktion aller einzelnen internen Komponenten überprüft, um alle Betriebsparameter des Geräts zu überwachen, und ist daher in der Lage, Anomalien oder Fehlfunktionen des Systems sofort zu erkennen und dem Kundendienst das aufgetretene Problem und die möglichen Lösungen zur raschen Behebung des Problems anzuzeigen.

### **Software**

Aus architektonischer Sicht besteht das ferngesteuerte Produkt aus einem zentralen, dedizierten Server, der mit allen Geräten kommuniziert, sodass die Situation und die Betriebsparameter aller angeschlossenen Geräte immer deutlich sind. Das Unternehmen hat zudem die

Möglichkeit, jederzeit über eine Software den Status aller Geräte zu überprüfen, die Konfiguration jedes einzelnen Geräts zu ändern und es gegebenenfalls vom System zu trennen, und zwar auf einfache und schnelle Weise. Es besteht auch die Möglichkeit, anderen Nutzern, die einzelne Zonen betreuen, eine spezielle Software zur Verfügung zu stellen, mit der sie alle Geräte in ihrer Zone steuern können. Natürlich erhalten in jedem Fall sowohl das Unternehmen als auch der Dienstleister Benachrichtigungen über mögliche Fehlfunktionen der Geräte und ggf. die zu bearbeitenden Service-Tickets.

### **Fernablesung**

Das Produkt mit Fernablesung beinhaltet alle Funktionalitäten des ferngesteuerten Produkts, mit der Möglichkeit, auch alle Verbrauchsdaten der Nutzer zur Verfügung zu haben, alles auf einer einzigen, einfachen und funktionalen Plattform. Die Fernauslesefunktionen sind für das Unternehmen zugänglich, können aber auch, je nach Ermessen des Unternehmens, dem Servicenetz zur Verfügung gestellt werden, vor allem aber den einzelnen Nutzern, die das Gerät besitzen. Die Nutzer können ihre Verbrauchsprofile sowohl über das Internet auf der Website des Unternehmens als auch über Smartphones und Tablets mit einer einfachen und intuitiven Schnittstelle bequem abrufen. Die große Neuheit ist, dass dank des Systems nicht nur der Stromverbrauch, sondern auch der Wasser- und Gasverbrauch überwacht werden kann, und dass es sogar möglich ist, die Produktionsdaten aller Anlagen für erneuerbare Energien in der Immobilie zu steuern,

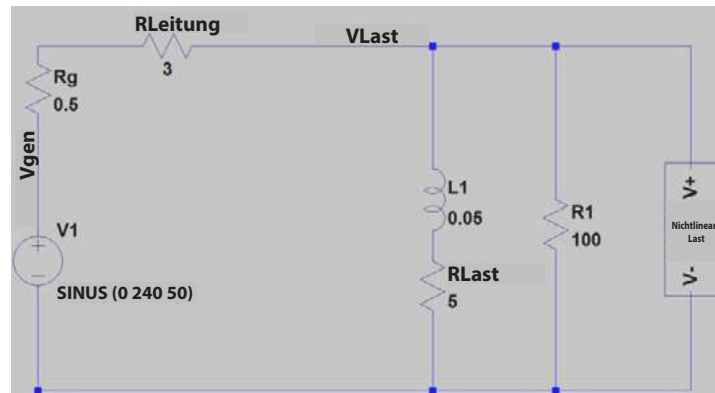
wie z. B. Photovoltaik, Mini-Windkraft, Solarthermie und andere Systeme.





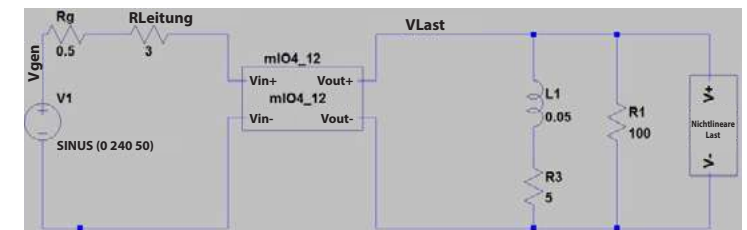
## 4.2 AUSLEGUNGSDATEN UND SIMULATIONEN

Sehen wir uns nun an, wie das System mit dem Stromnetz interagiert, indem wir eine reale Situation simulieren, in der dauerhafte Überspannungsphänomene, Phasenverschiebungen und das Vorliegen nichtlinearer Lasten bestehen. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, berücksichtigen wir in diesem Fall nicht die Nichtlinearität der Stromversorgungsleitung, d. h. es werden keine Störungen von außen berücksichtigt, sondern nur die in der internen Leitung erzeugten Störungen:



Vom Generator gelieferte Leistung: 1094 W

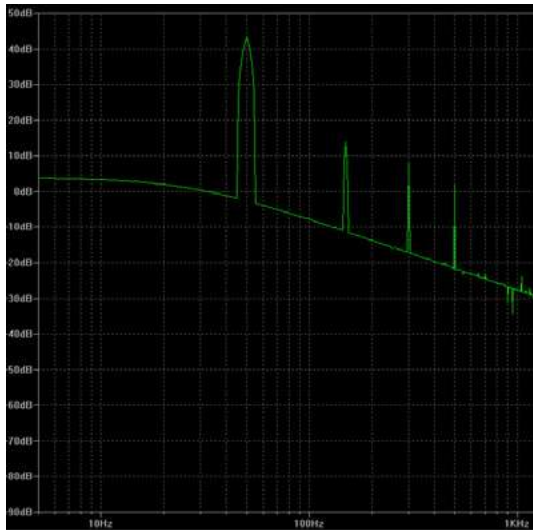
Von der Last aufgenommene Leistung: 738 W



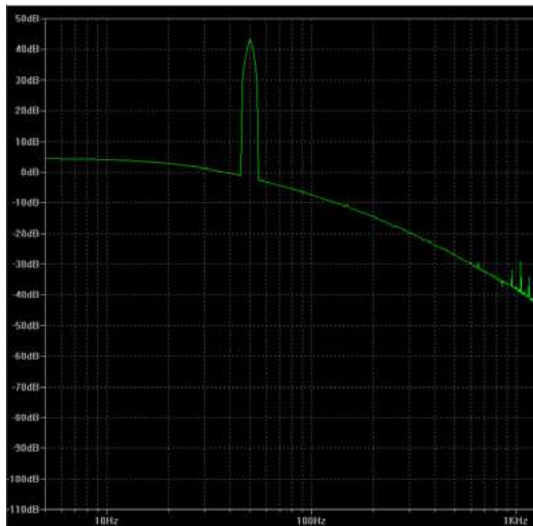
Vom Generator gelieferte Leistung: 843 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 756 W

Oberschwingungsanalyse der Versorgungsspannung der Last (V<sub>Last</sub>):

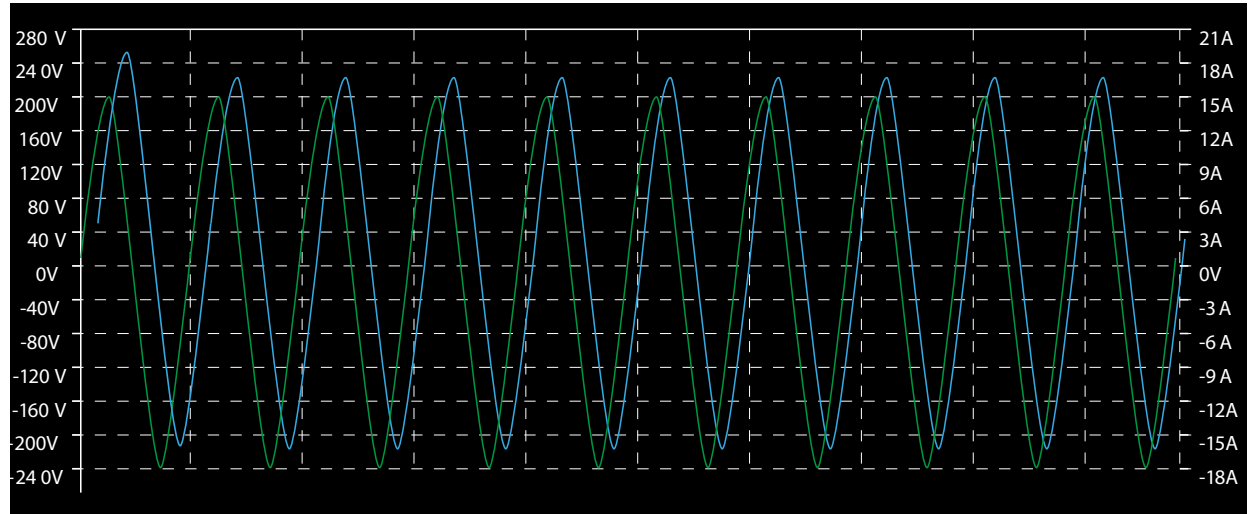


Gesamte harmonische Verzerrung: 3,479955 %

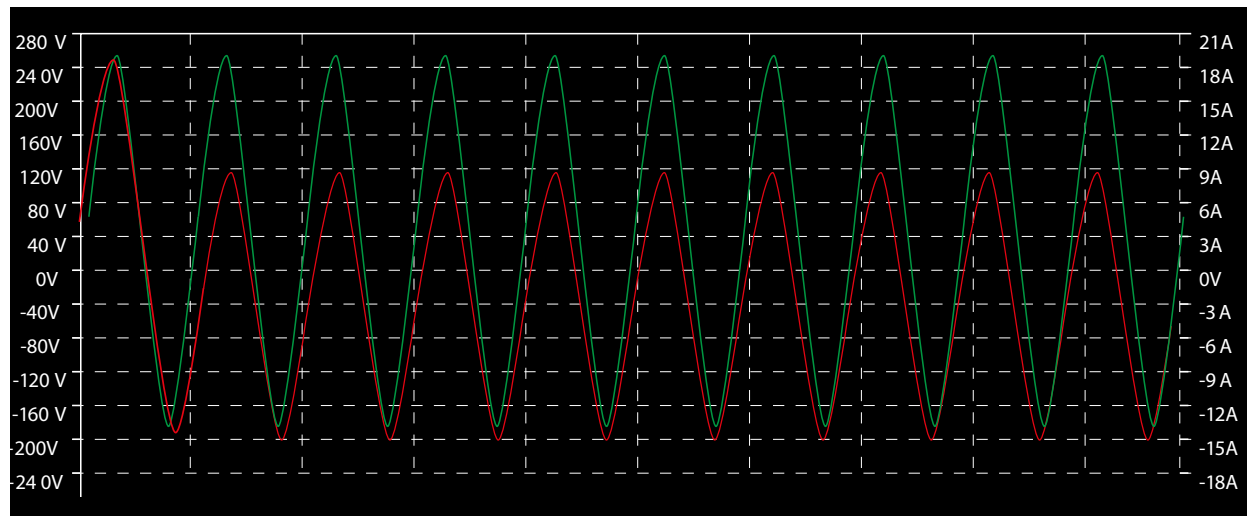


Gesamte harmonische Verzerrung: 3,479955 %

Die resultierenden Wellenformen:  
Ohne ANT:



Mit ANT



## ANT-Einspeisungswirkungen

	Ohne ANT	Mit ANT
Versorgungsspannung:	240 V	240 V
Netzstrom:	10 A	5 A
Leistungsfaktor:	0,64	0,99
Gesamte harmonische Verzerrung:	3,5 %	0,01 %
Vom Generator gelieferte Wirkleistung:	1094 W	843 W
An der Last abgegebene Wirkleistung:	738 W	756 W

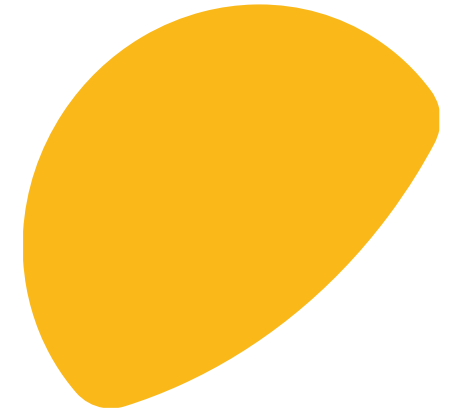
### ÜBERLEGUNGEN

- Die vom Generator ohne das System abgegebene Wirkleistung beträgt mehr als 18 %;
- Der Wirkungsgrad auf die Last beträgt bei Systemaktivierung etwa 3%
- Die gesamte harmonische Verzerrung der Spannung an der Last ist beim Einschalten des Geräts vernachlässigbar, andernfalls würde sie etwa 3,5 % betragen. So wird die Last des Systems (50 Hz) auf über 3 % optimiert.
- Der Leistungsfaktor des Stromkreises steigt deutlich an und nähert sich dem maximal zulässigen Wirkungsgrad.
- Der Umlaufstrom ist nach dem Einschalten der Anlage um etwa 50 Prozent geringer und damit sind auch die Verluste auf dem Kabel deutlich geringer.

» **ESE buchstabiert,  
gelesen EASY, einfach**  
wie man Energie spart.



» Entdecken Sie  
die Welt von ESE  
und alle Möglichkeiten  
für Ihr Unternehmen!





***Eingetragener Sitz***  
Corso Giuseppe Garibaldi 86  
20121 Mailand (MI) Italien

***Verwaltungssitz***  
Via San Martino, 87  
Parco dei Ciliegi  
82016 Montesarchio (BN) Italien

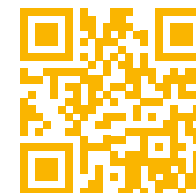
+39 02 87.368.229  
+39 02 87.368.222

[info@ese.energy](mailto:info@ese.energy)

technische Unterstützung *Folgen Sie uns auf*  
[service@ese.energy](mailto:service@ese.energy)

Steuernummer: 08999150967  
Firmenregister: MI2061570

[www.ese.energy](http://www.ese.energy)  



Scannen Sie den QR-Code  
und entdecken Sie **ESE.**  
**ENERGY**



Geschäftspartner



IoT **INDUSTRIE 4.0** bereit  
IN ITALIEN GEFERTIGT

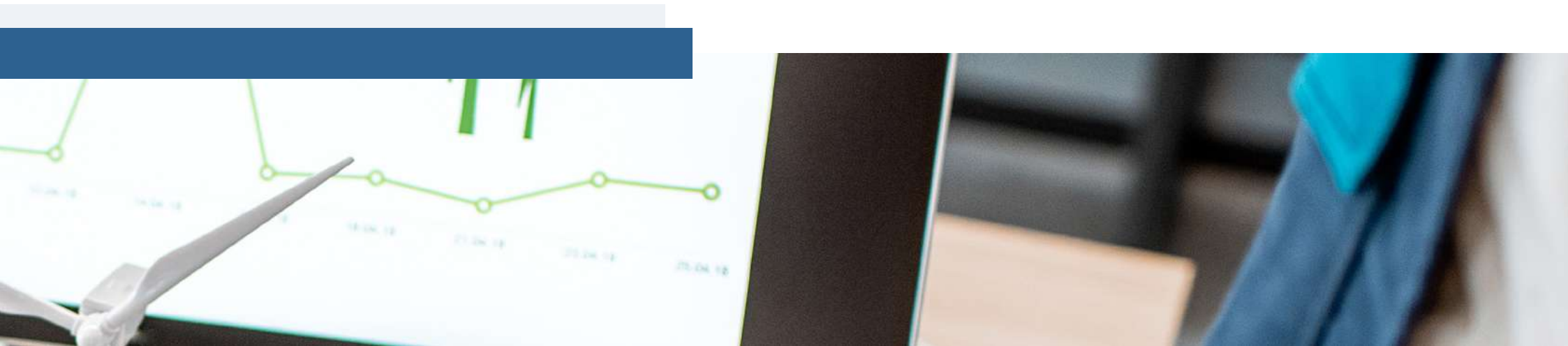
TECHNISCHER BERICHT





# » INHALT/

<b>1. AKTUELLE VERSORGUNGS-LAGE.....</b>	<b>4</b>	<b>3. VORHANDENE TECHNOLOGIEN.....</b>	<b>18</b>
1.1 DER ÜBERGANG ZUM DIGITALEN ZEITALTER .....	4	3.1 SPANNUNGSOPTIMIERUNG.....	18
1.2 VERTEILTE ERZEUGUNG .....	5	3.2 LEISTUNGSFAKTORKORREKTUR.....	18
1.3 ÜBERSPANNUNG ODER UNTERS PANNUNG.....	6	3.3 OBERSCHWINGUNGSFILTERUNG.....	19
1.4 HARMONISCHE VERZERRUNG.....	7	3.4 EMI-FILTER.....	20
1.5 PHASENABGLEICH.....	9	3.5 VERBRAUCHSPROFILIERUNG.....	20
1.6 PHASENVERSCHIEBUNG.....	10	<b>4. ANT.....</b>	<b>21</b>
<b>2. REAKTION AUF DIE LAST.....</b>	<b>11</b>	4.1 AUSGANGSÜBERLEGUNGEN.....	21
2.1 PRÄMISSE .....	11	4.2 LAUFENDES PROJEKT.....	22
2.2 DAUERHAFT E ÜBERSPANNUNG BEI OHMSCHER LAST.....	12	4.3 PROJEKTDATEN UND SIMULATIONEN.....	25
2.3 PHASENVERSCHIEBUNG.....	14		
2.4 HARMONISCHE VERZERRUNG.....	16		



# 1. AKTUELLE VERSORGLUNGSLAGE

In den letzten Jahren haben wir zwei sehr wichtige Phänomene bei der weltweiten Verteilung und Nutzung von Strom beobachtet:

- Der Übergang zum digitalen Zeitalter
- Verteilte Erzeugung

Diese beiden Phänomene haben erhebliche Auswirkungen auf die Verteilung von Strom und seine ordnungsgemäße Verwaltung.

Lassen Sie uns diese im Detail analysieren.

## 1.1 DER ÜBERGANG ZUM DIGITALEN ZEITALTER

Vor etwas mehr als einem Jahrzehnt begann in allen Bereichen eine echte Revolution, die auf den zunehmenden Einsatz digitaler Technologien zur Verbesserung der Leistung der Systeme zurückzuführen ist, die zur Ausführung der wichtigsten technologischen Funktionen eingesetzt werden. Computer werden heute in allen Einrichtungen und in allen Bereichen intensiv genutzt, von der häuslichen Umgebung bis hin zu den komplexesten industriellen Prozessen. Mittlerweile werden alle gängigen Maschinen von volldigitalen Computersystemen gesteuert und bedient. Und nicht nur das: Sie halten Einzug in unser Leben, Werkzeuge, die vor einigen Jahren noch unvorstellbar waren (Tablets, Smartphones usw.). Selbst grundlegende Konzepte

wie die Beleuchtung werden zunehmend auf digitale Technologien umgestellt, insbesondere mit dem Einsatz von LEDs. Im weiteren Verlauf der Diskussion werden wir uns mit den Auswirkungen dieses Phänomens auf Energiefragen und ein effizientes Energiemanagement befassen. Zunächst ist festzustellen, dass mit der zunehmenden Entwicklung der digitalen Technologien immer mehr nichtlineare Lasten an unsere Anlagen angeschlossen werden.



## 1.2 VERTEILTE ERZEUGUNG

Noch vor zwei Jahrzehnten war die Stromerzeugung im Wesentlichen zentralisiert, vor allem dank der Nutzung der Atomenergie, die es ermöglichte, große Kraftwerke zu errichten, um einen immer größeren und energieintensiveren Nutzerkreis zu bedienen. In den letzten Jahren hat sich jedoch auch die Erzeugung von elektrischer Energie erheblich verändert, vor allem dank der Photovoltaik, die auch dank starker Anreizmaßnahmen immer mehr Einzug in unser Leben hält, aber auch andere Technologien wie Windkraft, Wasserkraft, Kraft-Wärme-Kopplung usw. erfahren eine zunehmende Entwicklung.

Wie sich dieses Phänomen auf die Energieübertragung zu den Endverbrauchern auswirkt, würde den Rahmen dieser Diskussion sprengen, aber es ist sicher interessant, zunächst die Hauptunterschiede zwischen den beiden Ansätzen zu bewerten. Um die Diskussion zu vereinfachen, wird im Folgenden die Situation des Stromübertragungsnetzes in den beiden Fällen skizziert, um die Auswirkungen dieser Änderung auf den Endverbraucher qualitativ zu erfassen:

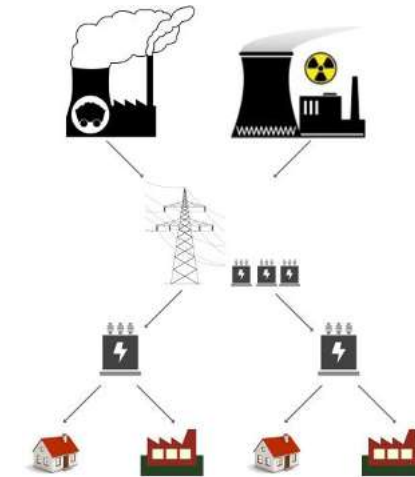


Abbildung 1: Zentral erzeugtes Übertragungsnetz

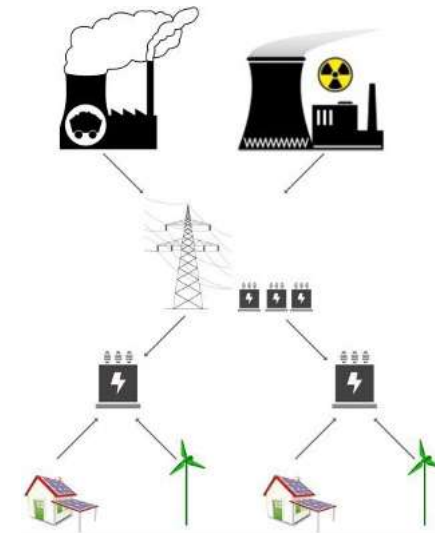


Abbildung 2: Übertragungsnetz für dezentrale Erzeugung

Wie wir aus den beiden obigen Abbildungen ersehen können, ist der wichtigste Unterschied, den wir feststellen können, topologisch. Insbesondere bei der dezentralen Stromerzeugung durchläuft der ins Netz eingespeiste Strom immer zentrale Verteilersysteme, bevor er zu den Endverbrauchern gelangt, während dies bei der dezentralen Stromerzeugung nicht immer der Fall ist. In der Praxis kann der Strom direkt vom Erzeuger zum Verbraucher übertragen werden, ohne dass er durch zentrale Verteilersysteme geleitet wird.

Dieses Phänomen hat erhebliche Auswirkungen auf die Qualität des von den Erzeugern gelieferten Stroms. Da es keine Zwischenschritte für die Verteilungsanlagen gibt, ist der von dezentralen Erzeugern gelieferte Strom weniger effizient als der von zentralen Erzeugern gelieferte. In den letzten Jahren hört man im elektrischen und elektrotechnischen Bereich immer öfter von Power Quality, also der Qualität der von den Stromleitungen zum Verbraucher übertragenen Energie.

### 1.3 ÜBERSpannung ODER UNTERSpannung

Überspannung ist ein Phänomen, bei dem das Netz Strom mit einer höheren Spannung als der Nennspannung überträgt. Das Phänomen kann vorübergehend oder dauerhaft sein. Im ersten Fall tritt die Abweichung vom Nennwert für einige Augenblicke oder einige Zyklen auf, mit Amplituden von einigen Volt bis zu Hunderten von Volt, oft verursacht durch das Zuschalten von induktiven Lasten, Transformatoren unter Last, usw... Natürlich kann diese Art von Störung auch Energieineffizienzen

erzeugen, aber das eigentliche Problem, das mit dieser Art von Störung verbunden ist, besteht darin, dass die an das System angeschlossenen Geräte beschädigt werden können. Im zweiten Fall kann die Störung als dauerhaft betrachtet werden, wenn die Versorgungsspannung konstant höher ist als die Nennbetriebsspannung, die in Italien bei einphasigen Niederspannungsnetzen 230 V und bei dreiphasigen Niederspannungsnetzen 400 V beträgt. Auch in diesem Fall könnte die Störung auf Dauer Schäden an den angeschlossenen Geräten verursachen, obwohl dieses Phänomen bei der Auslegung der Geräte berücksichtigt werden sollte, und eine Eingangsspannungstoleranz von  $\pm 10\%$  aufweisen sollten. Insbesondere führt bei den meisten linearen Lasten, die an Netze angeschlossen sind, eine Erhöhung der Spannung zu einer Verkürzung der Lebensdauer der Geräte und zu einem höheren Energieverbrauch, ohne dass sich die Leistung nennenswert verbessert.

## 1.4 HARMONISCHE VERZERRUNG

Die Stromübertragung auf dem Netz sollte mittels einer Sinuswelle mit einer Frequenz von 50 Hz (in Italien) und einer Nennspannung von 230 V erfolgen. Diese Welle, die sich an linearen Impedanzen schließt, sollte im Stromkreis einen Strom erzeugen, der ebenfalls sinusförmig mit einer Frequenz von 50 Hz ist, mit einer Amplitude, die vom ohmschen Teil der Impedanz abhängt, und höchstens einer Phasenverschiebung hinsichtlich der Spannungswelle, die vom ideellen Teil der Impedanz abhängt. Der Begriff "sollte" bezieht sich sowohl auf die Eingangsspannung als auch auf die Erzeugung des Netzstroms, da im ersten Fall nicht sicher ist, dass die Spannungswelle am Eingang perfekt sinusförmig ist. Wenn dies der Fall ist, ist nicht sicher, dass die resultierende Stromwelle perfekt sinusförmig ist. Mathematisch gesehen ist die betreffende Welle in jedem Fall periodisch und kann sich daher in Fourier-Reihen entwickeln, die sie als Summe unendlicher sinusförmiger Komponenten mit unterschiedlicher Frequenz, Amplitude und Phase darstellen. Technisch gesehen werden die einzelnen Komponenten der Reihenentwicklung als Oberschwingungen bezeichnet; insbesondere ist auch die Sinuswelle mit der Grundfrequenz eine Oberschwingung.

Betrachtet man einen Stromkreis, der mit einer reinen Sinuswelle gespeist wird und nur an lineare Lasten angeschlossen ist, so hat die resultierende Stromwelle, wie bereits erwähnt, eine einzige Komponente mit der Frequenz der Stromversorgung und keine

Oberwellenkomponente mit einer anderen Frequenz als der Grundschwingung. Wohingegen in dem Fall, in dem mindestens eine der Lasten nichtlinear ist, Stromoberschwingungen mit einer anderen Frequenz als der Grundschwingung auftreten können. Vernachlässigt man das Phänomen der Zwischenharmonischen im Moment, so sind bei den elektrischen Lasten die resultierenden Stromkomponenten mit einem größeren Beitrag in der Regel diejenigen mit Frequenzen, die ein Vielfaches der Grundschwingung sind. Daher können die erzeugten Oberschwingungen numerisch geordnet werden, indem man sich auf das Vielfache der betreffenden Frequenz bezieht, d.h. zum Beispiel ist eine zweite Oberschwingung eine Oberschwingung mit der doppelten Frequenz der Grundschwingung. Darüber hinaus sind bei den meisten nichtlinearen Lasten, die an Netze angeschlossen sind (z. B. Schaltnetzteile), die Oberschwingungen mit der höchsten Amplitude diejenigen mit ungerader Ordnung, also die dritte, die fünfte, die siebte usw. Darüber hinaus tragen die Oberschwingungen in der Praxis in der Regel mit mehr Amplituden in den niedrigeren Ordnungszahlen bei und sind daher abnehmend, d. h. im Allgemeinen hat die dritte Oberschwingung eine größere Amplitude als die fünfte, die fünfte als die siebte und so weiter. Natürlich müssen auch in diesem Fall individuelle Situationen analysiert werden, da verschiedene nichtlineare Lasten, die an das betreffende Netz angeschlossen sind, einen unterschiedlichen Beitrag zu den Oberschwingungen erzeugen können, so dass die Summe dieser Beiträge unterschiedlich sein kann.

Bezogen auf die erzeugte Stromwelle kann n die gesamte harmonische Verzerrung wie folgt definiert werden:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^{\infty} I_n - I_f}{I_f}$$

wo:

$I_t$  ist der Gesamtstrom

$I_f$  ist der Strom bei Grundfrequenz

Das Gleiche gilt für die Spannungswelle:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^{\infty} V_n - V_f}{V_f}$$

*Ganz allgemein für die übertragene Leistung:*

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

Dieser Index gibt, wie der Name schon sagt, Aufschluss über die Gesamtverzerrung in den Wellenformen. Je mehr der Wert größer als 0 ist, desto weiter entfernt sich natürlich die Wellenform vom Idealfall. Zudem verursacht das Bestehen von Oberschwingungsverzerrungen an sich Energieprobleme in den Anlagen. Es kann nämlich gezeigt werden, dass die Stromverzerrung auch Auswirkungen auf die Spannungswellenform hat, die die Lasten speist. Daher hat dieses Phänomen auch Auswirkungen auf die linearen Lasten, die an die Systeme angeschlossen sind, und führt zu weiteren Verlusten im System als Folge der erhöhten Verlustleistung an

der Leitungsimpedanz und der internen Impedanz des Generators.

Im Allgemeinen hat eine lineare Last eine fast unendliche Bandbreite, z. B. wandelt eine Glühbirne die gesamte von ihr gelieferte elektrische Leistung in einer praktisch unendlichen Bandbreite in Wärmeenergie um, d. h. wenn ich die Glühbirne z. B. mit 5 V bei einer Frequenz von 400 Hz versorge, erwärmt sich der Glühfaden in der Glühbirne, und es entsteht Wärme durch den Joule-Effekt.

Das Problem besteht darin, dass die fragliche Umwandlung keine Lichtemissionen im sichtbaren Bereich erzeugt, bzw. nur eine minimale Menge an Lichtemissionen im sichtbaren Bereich und vielleicht andere Emissionen in Lichtbereichen, die für das bloße Auge nicht sichtbar sind, z. B. Ultraviolett oder Infrarot, da der Glühfaden für den Betrieb mit der Netzfrequenz ausgelegt ist.

Dies hat drei sehr wichtige Auswirkungen:

- Ein Betrieb außerhalb der Nennwerte kann zu einem vorzeitigen Ausfall des Gerätes führen.
- Die abgegebene Lichtenergie hat eine unerwünschte Komponente, sodass gesagt werden kann, dass die überschüssige Energie nicht für die Funktion verwendet wird, für die das Gerät konzipiert ist, sondern im Grunde eine Störung darstellt.
- Die Emission von Strahlung außerhalb des sichtbaren Lichts kann für den menschlichen Körper, der ihr ausgesetzt ist, schädlich sein.

Würden wir andere Arten von Lasten wie Elektromotoren, Pumpen oder andere Dinge in Betracht ziehen, könnten die Folgen noch schlimmer sein.

Das allgemeine Ergebnis ist, dass solche Verzerrungen Energie an die Lasten übertragen, die diese zum Teil dazu nutzen, die Funktion zu verrichten, für die sie ausgelegt sind, und zum Teil Leistungsverluste erzeugen, die einen Lastausfall erhöhen können. Neben dem wirtschaftlichen Schaden, der sich aus dem erhöhten Energieverbrauch ergibt, entsteht also auch ein Schaden durch die Verkürzung der Nutzungsdauer der Geräte.

## 1.5 PHASENABGLEICH

Bei Dreiphasensystemen ist ein weiterer Faktor, der sich negativ auf die Qualität der Versorgung auswirkt, das Ungleichgewicht zwischen den Phasen, d. h. der Unterschied zwischen den Wellenformen auf den einzelnen Phasen der Versorgung. Diese Unterschiede sind im Allgemeinen entweder auf die Spannung mit der Grundfrequenz oder auf Oberwellen zurückzuführen. Solche Störungen treten in der Regel auf, wenn einphasige Lasten und dreiphasige Lasten auf der gleichen Leitung zusammengeschaltet werden. Auch dieses Phänomen hat sowohl energetische Auswirkungen auf die angeschlossenen Drehstromverbraucher als auch Folgen für den Wirkungsgrad und die Lebensdauer der Geräte. Aus der Literatur in diesem Bereich erfahren wir, dass die meisten Ineffizienzen bei den an das System angeschlossenen Drehstrommotoren entstehen.

## 1.6 PHASENVERSCHIEBUNG

Eine weitere wichtige Störung, die bei an ein Stromnetz angeschlossenen Lasten auftritt, ist die Phasenverschiebung zwischen der Spannungswellenform und der erzeugten Stromwellenform. Die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom führt im Allgemeinen nicht zu Energieproblemen bei den Verbrauchern oder zumindest nicht zu Problemen hinsichtlich der von den Verbrauchern aufgenommenen Wirkenergie, vielmehr führt die Phasenverschiebung zu Ineffizienzen und einer größeren Leistungsaufnahme in der Stromübertragungsphase. Im Allgemeinen erzeugt auch eine lineare Last, die nicht vollständig ohmsch ist, eine Phasendifferenz des Stroms hinsichtlich der Versorgungsspannung, entweder im Voraus oder mit Verzögerung, je nachdem, ob es sich um eine ohmsch-kapazitive oder eine ohmsch-induktive Last handelt. Dies führt zur Übertragung der so genannten Blindleistung, d.h. der Leistung, die von den Verbrauchern nicht zur Verrichtung der Funktion verwendet wird, sondern lediglich zur Unterstützung des Magnetfelds. Das Problem besteht darin, dass die Blindleistung durch einen induktiven Strom übertragen wird, der die Last der an das Netz angeschlossenen elektrischen Leitungen erhöht, und dass darüber hinaus eine größere Stromzirkulation im Stromkreis zu größeren Verlusten an den Reihenimpedanzen des Stromkreises führt, insbesondere an der internen Impedanz des Generators und an der Leitungsimpedanz, wodurch ohmsche Verluste (d. h. Wirkleistung) im System entstehen.

Hier sind 2 Faktoren wichtig für die Energie- und Wirtschaftsbilanz des Systems:

- In einigen Fällen verursacht die Nutzung von Blindstrom Kosten für den Nutzer in Form von Strafgebühren auf der Rechnung.
- Der zirkulierende Blindstrom erzeugt auf der Leitung einen Verlust an Wirkenergie.

Darüber hinaus lässt sich einfach zeigen, dass sich dieser Faktor auch auf die Versorgungsspannung der Lasten auswirkt, da der Spannungsabfall auf der Leitung bei gleicher Gesamtleistungsaufnahme eine geringere Nutzspannung an der Last erzeugt, d. h. die Stromübertragung wird höchst ineffizient.

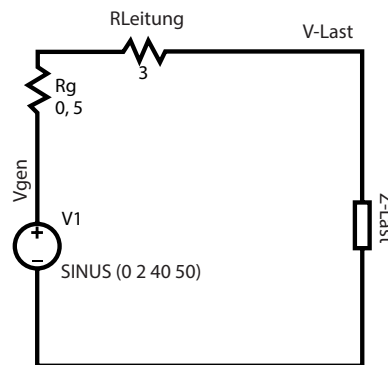
Sehr häufig wird hinsichtlich der elektrischen Netzen vom Leistungsfaktor gesprochen, der sich auf das Verhältnis zwischen der gesamten übertragenen Leistung (Scheinleistung) und der Wirkleistung bezieht. Dieser Faktor wird gewöhnlich mit den so genannten Kosten verwechselt. Insbesondere die letztgenannte Aussage ist nur dann richtig, wenn nur lineare Lasten betrachtet werden, so dass bei einem Netz mit linearen Lasten die Kosten dem Leistungsfaktor entsprechen. Im Allgemeinen berücksichtigt der Leistungsfaktor jedoch auch die gesamte harmonische Verzerrung.



## 2. REAKTION AUF DIE LAST

### 2.1 PRÄMISSE

In diesem Abschnitt wird, auch anhand einiger Simulationen, das Verhalten der Lasten bei Vorliegen der oben genannten Störungen analysiert. Der Einfachheit halber nehmen wir einen Stromkreis für einen Haushalt mit einer Vertragsleistung von 3 kW, der sich wie folgt schematisch darstellen lässt: Für die Simulationen wird ein Modell mit konzentrierten Parametern verwendet.



*Im Besonderen:*

- $R_g$  ist der "innere" Widerstand des Generators
- $R_{Leitung}$  ist der Leitungswiderstand des Netzes und ist hauptsächlich auf das Vorhandensein von Stromkabeln für die Stromverteilung zurückzuführen. Der Einfachheit halber werden die kapazitiven und induktiven Effekte der Impedanz

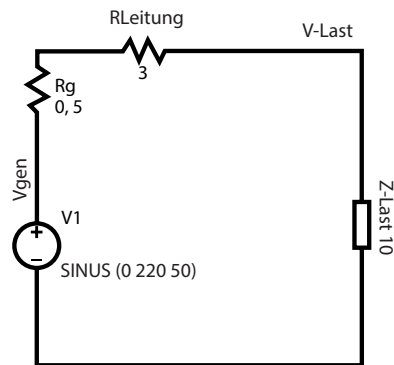
vernachlässigt; der eingestellte Widerstandswert von 3 Ohm entspricht etwa 350 m Kabel mit einem durchschnittlichen Querschnitt von 2 mm<sup>2</sup>.

- Z-Last ist die Lastimpedanz, schematisch dargestellt als äquivalente Impedanz vom Generator aus gesehen. Die betrachtete Schaltung kann in zwei Abschnitte unterteilt werden, einen Teil für die Stromversorgung und einen Teil für die Last.

Um die Energiebilanz des Stromkreises zu bewerten, werden wir eine Reihe von Faktoren berücksichtigen, die von Zeit zu Zeit nützlich sein werden. Im Allgemeinen werden wir uns hingegen auf die vom Generator gelieferte Wirkleistung und die von der Last aufgenommene Wirkleistung konzentrieren, damit wir die Effizienz der Leistungsübertragung in verschiedenen Situationen bewerten können.

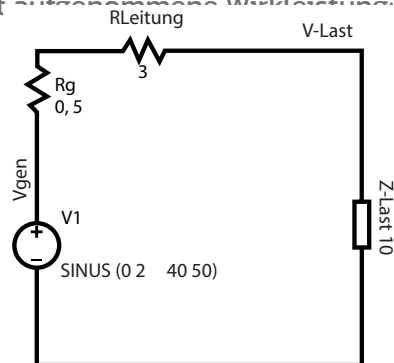
## 2.2 DAUERHAFTE ÜBERSpannung BEI OHMSCHER LAST

Betrachten wir als erstes Beispiel das Vorliegen einer rein ohmschen Last und analysieren wir die Auswirkungen einer Spannungsversorgung oberhalb der optimalen Spannung am System, wobei wir von einer optimalen Spannung von 220 V ausgehen:



Vom Generator gelieferte Wirkleistung: 1785 W

Von der Last aufgenommene Wirkleistung: 1322 W



Vom Generator gelieferte Wirkleistung: 2124 W

Von der Last aufgenommene Wirkleistung: 1573 W

Um es noch einmal zusammenzufassen:

OHMSCHE LAST – AUSWIRKUNGEN VON SPANNUNGSSCHWANKUNGEN IM DAUERHAFTEN ZUSTAND		
	Optimale Netzspannung	Hohe Netzspannung
Versorgungsspannung:	220 V	240 V
Netzstrom:	16,28 A	17,73 A
Leistungsfaktor:	≈ 1	≈ 1
Gesamte harmonische Verzerrung:	0 %	0 %
Resistive Lastimpedanz:	10 Ohm	10 Ohm
Vom Generator gelieferte Leistung:	1785 W	2124 W
An der Last abgegebene Leistung:	1322 W	1573 W

## Überlegungen

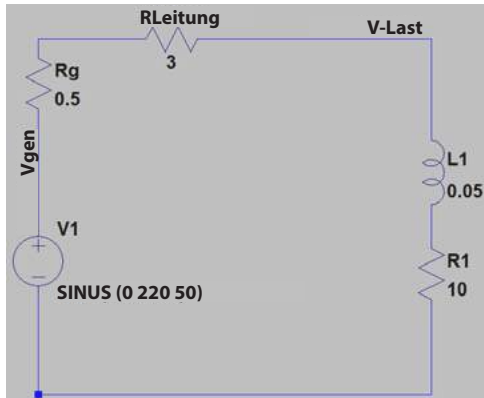
Zunächst ist zu bedenken, dass im vorliegenden Fall die vom Generator bereitgestellte Gesamtleistung bei optimaler Stromversorgung um etwa 16 % geringer ist. Natürlich ist aufgrund der Linearität der Schaltung auch die an die Last abgegebene Leistung um 16 % geringer, aber wie wir bei der Behandlung der Auswirkungen hoher Spannungen auf die Lasten gesehen haben, führt dies nicht immer zu einer Steigerung des Wirkungsgrads der betreffenden Last, zum Beispiel wenn es sich um eine oder mehrere parallel geschaltete Glühlampen handelt. Die Speisung mit einer höheren Spannung bei der Grundfrequenz führt sicherlich zu einer höheren Lichtenergie im sichtbaren Bereich, aber auch zu einer höheren Energie in den anderen Emissionsbereichen der Leuchte, so dass die Gesamtlichtleistung im sichtbaren Bereich nicht um 16 %, sondern um einen geringeren Prozentsatz erhöht wird. Darüber hinaus bedeutet die Überschreitung des für die betreffende Leuchte optimalen Spannungsbereichs eine Verkürzung der Lebensdauer um weit mehr als 16 %. Untersuchungen von Omran zeigen bei Glühlampen, dass die Lebensdauer einer Glühbirne bei einer Spannung von 240 V um 55 % geringer ist als bei ihrer Nennbetriebsspannung.

Ein weiterer Faktor, der berücksichtigt werden muss, ist der ohmsche Energieverlust durch das Netz. Im Falle der optimalen Stromversorgung haben wir einen Verlust von  $(1785 - 1322) \text{ W} = 463 \text{ W}$ , während wir im Falle der höheren Spannungsversorgung wiederum  $(2124 - 1173) \text{ W} = 551 \text{ W}$  haben. Relativ gesehen ist der prozentuale Verlust derselbe, aber in absoluten Zahlen ist der

Leistungsverlust bei der höheren Spannung größer, da etwa 100 W mehr auf der Leitung abgeführt werden, was bedeutet, dass mehr Energie am Zähler verbraucht wird und die Stromkabel sich stärker erwärmen und ineffizienter werden.

## 2.3 PHASENVERSCHIEBUNG

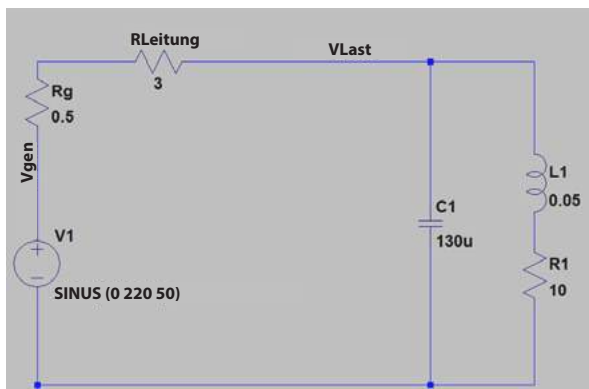
Betrachten wir nun das Vorliegen einer ohmsch-induktiven Last im Stromkreis:



Vom Generator gelieferte Leistung: 632 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 561 W

Wir führen parallel zur Last eine kapazitive Impedanz ein, um aus derselben Schaltung eine äquivalente ohmsche Impedanz zu erhalten, wie sie vom Generator aus gesehen wird:



Vom Generator gelieferte Leistung: 758 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 573 W

Um es noch einmal zusammenzufassen:

OHMSCHE LAST – AUSWIRKUNGEN VON SPANNUNGSSCHWANKUNGEN IM DAUERHAFTEN ZUSTAND		
	Ohmsche äquivalente Last	Äquivalente Last ohmsch-induktiv
Versorgungsspannung:	220 V	220 V
Netzstrom:	5,73 A	8,03 A
Leistungsfaktor:	0,99	0,66
Gesamte harmonische Verzerrung:	0 %	0 %
Vom Generator gelieferte Leistung:	758 W	632 W
An der Last abgegebene Leistung:	561 W	573 W

## Überlegungen

Für den vorliegenden Fall können wir zwei wichtige Überlegungen anstellen:

1. Die vom Generator abgegebene Leistung ist bei einer induktiven ohmschen Last etwa 18 % höher als bei ihrer ohmschen Äquivalente.
2. Die tatsächlich an der Last verbrauchte Leistung ist etwa 3 % höher.

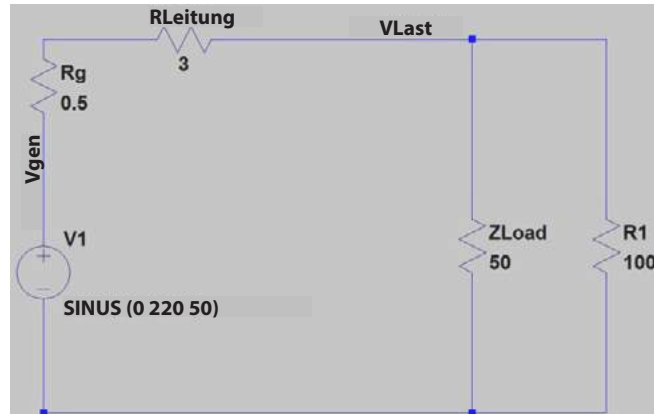
Mit der ersten Aussage können wir sagen, dass wir durch die Verbesserung des Leistungsfaktors des Stromkreises auch eine erhebliche Einsparung bei der verbrauchten Gesamtleistung erzielen, sodass die Energiebilanz in diesem Fall positiv ausfällt. Zudem stellen wir fest, dass die Last davon profitiert, da die von ihr verbrauchte Leistung unter den gleichen Bedingungen etwas höher ist als im vorherigen Fall.

Natürlich wird diese Bedingung bei einer Versorgungsspannung von 220 V überprüft, bei höheren Spannungen ist das Problem ausgeprägter, da das Einfügen von induktiven Lasten eine Phasenverschiebung mit einem daraus resultierenden Spannungsabfall an der Last aufgrund des Effekts der Leitungsimpedanz erzeugt. Die Situation verbessert sich vom energetischen Standpunkt aus durch die Umphasung des Systems, in der gleichen Weise, wie wir sie soeben analysiert haben. In Realität befinden wir uns im vorherigen Zustand der dauerhaften Überspannung der Last, damit sie unter ihren optimalen

Betriebsbedingungen arbeitet, muss die Verlustleistung mit an der Last auf jeden Fall umgestaltet werden. Dieser letzte Faktor führt zu noch größeren Einsparungen und ist daher ein erstrebenswertes Element, das wir im Folgenden behandeln werden.

## 2.4 HARMONISCHE VERZERRUNG

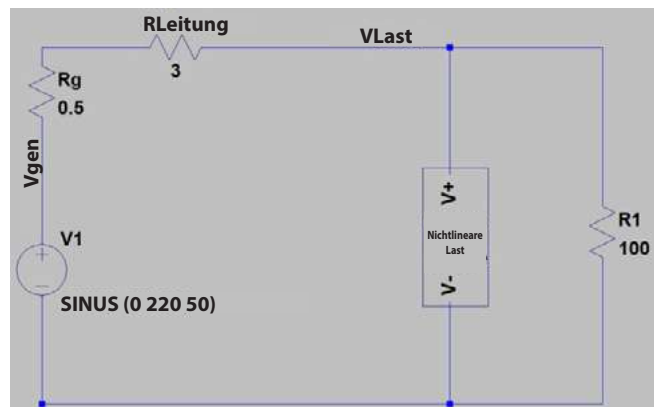
Betrachten wir nun das Vorliegen von gemischten linearen und nichtlinearen Lasten im Stromkreis:



Vom Generator gelieferte Leistung: 654 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 592 W

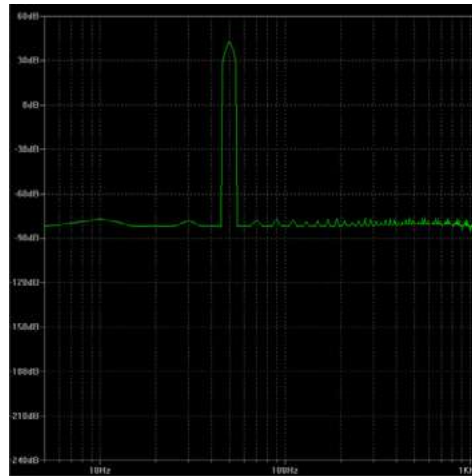
Wir ersetzen die 50-Ohm-Last durch eine Last gleicher Leistung, die jedoch nicht linear ist:



Vom Generator gelieferte Leistung: 656 W

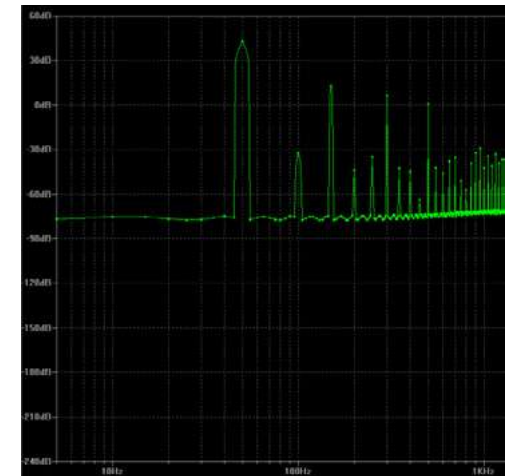
Von der Last aufgenommene Leistung: 586 W

Betrachten wir diese Situation im Detail, betrachten wir die Fourier-Transformation der Spannung an der Last im Bereich von 0 - 1 kHz.



Vollständig lineare Schaltung.

Gesamte harmonische Verzerrung: 0,000473 %



Schaltung mit nichtlinearer Last

Gesamte harmonische Verzerrung:  
3,550619 %

Um es noch einmal zusammenzufassen:

INDUKTIVE OHMSCHES LAST - HARMONISCHE WIRKUNG		
	Ohmsche äquivalente Last	Äquivalente Last ohmsch-induktiv
Versorgungsspannung:	220 V	220 V
Netzstrom:	4,21 A	4,46 A
Leistungsfaktor:	≈ 1	0,95
Gesamte harmonische Verzerrung:	≈ 0 %	3,55 %
Vom Generator gelieferte Leistung:	654 W	656 W
An der Last abgegebene Leistung:	592 W	586 W

### Überlegungen

Für den vorliegenden Fall lassen sich drei Überlegungen anstellen:

- Die Ausgangsleistung des Generators ist im Falle eines nichtlinearen Stromkreises etwa 0,4 % höher als im Falle seines ohmschen Äquivalents.
- Die an die Last übertragene Gesamtleistung ist um etwa 1 % höher.
- Die an die Last übertragene Leistung bei einer Frequenz von 50 Hz ist um 3,5 % geringer, da dieser Prozentsatz außerhalb des Bandes übertragen wird.

In diesem Fall erzeugt die nichtlineare Last einen Strom mit einem hohen Anteil an Oberschwingungen außerhalb des Bandes, der an sich keine Probleme für die anderen Lasten verursacht, da er nur

zwischen dem Generator und der betreffenden Last zirkuliert. Das Problem besteht darin, dass die Spannungsschwankungen an der Leitungsimpedanz ebenfalls einen hohen Oberwellengehalt aufweisen und daher die gesamte Versorgungsspannung der Verbraucher mit Oberwellenverzerrungen behaftet ist, die, wie bereits erwähnt, von der Leistung der verzerrenden Last und der Leitungsimpedanz abhängen, wobei diese Verzerrungen natürlich von den ohmschen Lasten absorbiert und in Wärme umgewandelt werden. Dies bringt vermutlich keinen Vorteil in Bezug auf den Wirkungsgrad, sondern mitunter sogar erhebliche Nachteile in Bezug auf die Lebensdauer des Geräts mit sich. Wir können also feststellen, dass, obwohl es aus der Sicht der Energiebilanz zunächst so aussieht, als gäbe es keine konsistenten Schwankungen (1 %), aus der Sicht des Wirkungsgrads der Lasten noch konsistentere Schwankungen (3 - 4 %) bestehen, so dass die von der Last aufgenommene Gesamtleistung praktisch 5 % niedriger ist, wenn man die für die Funktion nutzbare Leistung (die bei 50 Hz abgegebene Leistung) betrachtet.

## 3 GESTEHENDE TECHNOLOGIEN

### 3.1 OPTIMIERUNG DER SPANNUNG

Die Spannungsoptimierung ist eine energiesparende Technik, bei der ein Transformator in Reihe mit der Versorgungsleitung geschaltet wird, um die der Last zur Verfügung stehende Spannung zu verringern oder zu erhöhen.

Die Optimierung kann statisch oder dynamisch erfolgen, je nachdem, ob die Spannung fest um einen bestimmten Prozentsatz abgesenkt oder während des normalen Betriebs der Schaltung dynamisch verändert wird.

Bei bestimmten nichtlinearen Lasten (z. B. Schaltnetzteilen) kann der Rückgang der Spannung sogar zu einem Anstieg des Verbrauchs führen. Diese Lasten arbeiten nämlich mit konstanter Leistung, d. h. sie nehmen auch bei Spannungsschwankungen immer die gleiche Menge an Strom auf, sodass ein Rückgang der Spannung zu einem Anstieg des Stroms im Knotenpunkt und damit in der Leitung führt, und dieser Strom erhöht somit die Verluste in den Übertragungskabeln.

### 3.2 LEISTUNGSFAKTORKORREKTUR

Als Leistungsfaktorkorrektur wird jede Maßnahme bezeichnet, die dazu dient, den Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) einer bestimmten Last zu erhöhen (oder, wie man allgemein sagt, zu verbessern), um den Wert des im System zirkulierenden Stroms bei gleicher aufgenommener Wirkleistung zu verringern. Der Zweck der Blindleistungskompensation besteht vor allem darin, die Energieverluste zu verringern und die Scheinleistungsaufnahme im Verhältnis zu den vorhandenen Maschinen und Leitungen an einem Industriestandort zu reduzieren. Die Umstellung der Anlagen gewann an Bedeutung, als der Stromversorger durch die CIP-Tarifmaßnahmen (Nr. 12/1984 und Nr. 26/1989) Vertragsklauseln einführte, die den Nutzer unter Androhung von Strafzahlungen zur Umstellung seiner Anlage verpflichteten. In Stromkreisen mit besonderen Verbrauchern wie Glühlampen, Wassererhitzern, bestimmten Arten von Öfen ist die Scheinleistungsaufnahme die gesamte Wirkleistung. In Stromkreisen mit Verbrauchern, die Wicklungen enthalten, wie Motoren, Schweißgeräte, Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen und Transformatoren wird ein Teil der aufgenommenen Scheinleistung zur Erregung von Magnetkreisen verwendet und daher nicht als Wirkleistung, sondern als Leistung genutzt, die allgemein als Blindleistung bezeichnet wird. Aus der Sicht der Gesamtenergiebilanz verringert die Blindleistungskorrektur die vom Stromkreis



aufgenommene Blindenergie, aber nicht direkt die eingesetzte Wirkenergie, d. h. die Verringerung der Wirkenergie ist im Allgemeinen eine Folge der Tatsache, dass die Verluste auf den Leitern abnehmen, da die Reihenimpedanz der Leiter von einem geringeren Gesamtstrom durchquert wird. In Realität wird nicht die gesamte Wirkenergie eingespart, da die geringere Verlustleistung auf den Leitern zu einem geringeren Spannungsabfall an der Last führt, was bei ohmschen Lasten eine größere Energiedissipation bedeutet. Es ist klar, dass in diesem Fall die überschüssige Energie für die Last positiv ist, es sei denn, es handelt sich um dauerhafte Überspannungen. Im ersten Fall wird das gesamte System vor der Last und nach dem Generator umgeschaltet, sodass sich die Kosten am Ausgang des Generators verbessern, aber nicht notwendigerweise in jedem Glied des Kreislaufs. Im zweiten Fall werden die Lasten einzeln umgeschaltet, was zu einer Verbesserung der Gesamtkosten nach dem Generator führt, und im dritten Fall gibt es eine Mischlösung aus den ersten beiden. Normalerweise wird die Blindleistungskompensation von Lasten dadurch erreicht, dass ein Blindleistungsgenerator parallel zu den Lasten in Gegenphase zur Blindleistung der Last geschaltet wird, sodass die Ausgangsblindleistung aufgehoben wird. Der einfachste Erzeuger von Blindleistung in Sinusstromkreisen ist der Kondensator, daher werden ein oder mehrere Kondensatoren parallel zu den Lasten geschaltet, um eine Kostenverbesserung zu erzielen. Es gibt jedoch auch andere Techniken wie

statische Kompensatoren oder Aktivfilter.

### 3.3 HARMONISCHE FILTERUNG

Die Filterung von Oberschwingungen in Stromnetzen erfolgt in der Regel durch den Einbau von Geräten in den Stromkreis, um die gesamte harmonische Verzerrung des Stroms zu verringern und damit auch die Verzerrungseffekte auf die Spannung zu verbessern. Es gibt 2 Hauptkategorien von Filtern, die für diesen Zweck geeignet sind:

- **Passivfilter**
- **Aktivfilter**

Im ersten Fall gibt es eine weitere Unterscheidung zwischen abgestimmten und induktiven Filtern. Abgestimmte Filter sind spezielle rlc-Filter, die auf eine bestimmte Frequenz abgestimmt und in der Regel mit Masse verbunden sind. In einigen Fällen können auch Bandpass- oder Hochpassfilter verwendet werden, um für Störungen bei diesen Frequenzen einen niederohmschen Weg zur Masse zu schaffen und Störungen an ihrer Quelle zu beseitigen. Bei den Netzdrosseln hingegen ist das Prinzip das der LR-Tiefpassfilter, d. h. die Netzdrossel bildet mit dem nachgeschalteten ohmschen Kreis einen Tiefpassfilter, der bei Frequenzen fern von 50 Hz keine Leistung durchlässt. Diese Art von Lösung verbessert natürlich die Situation an der Last, indem sie den Gesamtverzerrungsfaktor verringert, aber

aus der Sicht der Energiebilanz bleibt die Situation unverändert, da die Störungen nach dem Durchqueren des Zählers in die Erde geleitet werden und daher die in die Erde abgeleitete Energie weiterhin berücksichtigt wird. Aktivfilter sind aus Sicht der Last parallele Stromgeneratoren, die einen Strom einspeisen, der gleich und entgegengesetzt zu dem der verzerrenden Last außerhalb des Bandes ist, und so die von den Lasten erzeugten Oberschwingungsströme auslöschen. Zur korrekten Einspeisung dieser Ströme sind natürlich sehr hohe Schaltfrequenzen erforderlich, die mehr als das Doppelte der Frequenz der maximalen Kompensationsoberschwingung betragen, sodass sie besonders effiziente und schnelle interne Bauelemente benötigen, in der Regel werden IGBTs verwendet, um mit der geforderten Schaltfrequenz zu arbeiten. Das macht solche Geräte natürlich besonders teuer. Darüber hinaus ist die Situation aus Sicht der Energiebilanz ähnlich wie bei Passivfiltern, da je nach Wirkungsgrad der Filter eine entsprechende Menge an Leistung aufgenommen wird, um Störungen zu kompensieren. Das Interessante daran ist, dass Aktivfilter auch die Systemkosten verbessern können, da sie auch als Blindleistungsgeneratoren fungieren. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass Filter mit unterschiedlichen Kapazitäten parallel geschaltet werden können, ohne dass die Schaltung gestört wird oder die Gefahr einer Resonanz besteht.

### 3.4 EMI-FILTER

Der EMI-Filter ist ein Passivfilter, der in den meisten elektronischen Geräten zu finden ist und dafür sorgt, dass diese Geräte die Vorschriften zur elektromagnetischen Verträglichkeit einhalten, insbesondere die Vorschriften zu leitungsgebundenen Emissionen. Der EMI-Filter ist im Wesentlichen ein Tiefpassfilter, der als letzte Stufe zwischen das Gerät und die Stromversorgung geschaltet wird, um die Rauschkomponenten zu dämpfen, die jedes elektronische Gerät tendenziell abgibt. Natürlich muss der Filter bei der Netzfrequenz (50-60 Hz) durchlässig sein, damit das Gerät ordnungsgemäß funktionieren kann, während er in dem von der Norm festgelegten Frequenzbereich (150kHz-30MHz) agieren muss.

### 3.5 VERBRAUCHSPROFILIERUNG

Es gibt eine Reihe von Geräten auf dem Markt, die es ermöglichen, ein Profil des Nutzerverbrauchs zu erstellen, d. h. zu verstehen, wie die Nutzer in einem bestimmten Zeitraum Strom verbrauchen. Natürlich führen solche Systeme per se nicht zu einer Verbesserung des Stromverbrauchs des Nutzers, aber sie haben 2 wesentliche Auswirkungen, die eine Optimierung des Verbrauchs ermöglichen:

- Das Verbrauchsbewusstsein der Nutzer kann zu mehr Aufmerksamkeit und Einsparungen führen.

- Die Einführung eines Expertensystems, das diese Daten analysiert und verarbeitet, kann zu einem effizienteren Energiemanagement und erheblichen Einsparungen führen, ohne dass die Verbrauchsgewohnheiten geändert werden müssen.

## 4. ANT

### 4.1 AUSGANGSÜBERLEGUNGEN

Bevor wir auf die Vorzüge des Projekts eingehen, ist es sinnvoll, einige Klarstellungen zu den in den vorangegangenen Kapiteln behandelten Problemen und den derzeit auf dem Markt befindlichen Lösungen vorzunehmen.

Wir haben uns anschließend mit Systemen zur Spannungsoptimierung befasst, von denen es verschiedene Typen auf dem Markt gibt. Es handelt sich dabei in der Praxis um Geräte, die einfach die Netzspannung reduzieren, manche statisch, andere dynamisch, letztere einschließlich Spannungsstabilisatoren. Es ist klar, dass in diesem Fall ein System zur Spannungsoptimierung nützlich sein könnte, um Geld zu sparen, aber man muss sehr vorsichtig sein, wie es funktioniert. Eine statische Absenkung der Spannung ist sicherlich keine effiziente Lösung, da das Anheben oder Absenken der Spannung gewöhnlich von den Lastbedingungen abhängt. Natürlich muss

man in diesem Fall auch auf den Zustand der Zuleitung achten, da dies zu Betriebsproblemen führen oder die Verbraucher beschädigen könnte. In der Praxis kann eine Überspannung oder eine dauerhafte Unterspannung für ein System positiv oder negativ sein, je nachdem, ob es sich um Lasten mit variabler Leistung oder um Lasten mit konstanter Leistung handelt (gespeist – nichtlinear), deren korrekte Funktionsweise nicht von vornherein vorhergesagt werden kann.

Anschließend haben wir uns mit der Blindleistungskompensation und den Filtersystemen befasst, auch hier gibt es hinsichtlich der Energie- und Anlagensicherheit viel zu klären. Nehmen wir insbesondere den Fall eines Systems mit einer überwiegend ohmsch-induktiven Last und einer dauerhaften Überspannung an. In diesem Fall kommt es je nach Leistungsfaktor der Last zu einem Spannungsabfall von einem bestimmten Wert zwischen dem Generator und der Last. Dieser Spannungsabfall könnte die Last auf den Nennspannungswert bringen. Die Installation eines Leistungsfaktorkorrektur- und Filtersystems bringt als Vorteil eine Erhöhung des Leistungsfaktors, daher eine geringere Stromzirkulation im Serienzweig des Stromkreises und daher eine Erhöhung der Nutzspannung an der Last. Letzteres führt sehr oft zu einer größeren Verschwendung von Wirkenergie, die vom Verhältnis der Leitungsimpedanz zur Lastimpedanz abhängt. Dasselbe gilt, wie wir aus den Simulationen ersehen konnten, für den Oberschwingungsbeitrag zu den Netzströmen und -spannungen. In diesem Fall

akzentuiert und verschärft durch die Tatsache, dass bei Vorliegen von Oberschwingungsstörungen auch das Problem der Sicherheit der Lasten und des gesamten Systems besteht.

Das Projekt ANT ist aus dem Bedürfnis entstanden, die positiven Beiträge der einzelnen in Frage kommenden Technologien in einem einzigen Produkt zu vereinen. Die eigentliche Neuheit und der wichtigste Mehrwert des Produkts liegt in seinem dynamischen Ansatz für das Lastmanagement: Das Gerät ist in der Lage, das Stromnetz, an das es angeschlossen ist, sowohl hinsichtlich der Stromversorgung als auch der Last von Augenblick zu Augenblick zu analysieren und die Lasten in jeder Betriebskonfiguration optimal zu versorgen. Das Gerät ist in der Lage, die Netzparameter mit einer Genauigkeit von 0,1 % sowohl im Spannungs- als auch im Stromspektrum zu analysieren. Durch die Analyse des Emissionsgrades der Lasten ist es in der Lage, die interne Zusammensetzung des Netzes zu verstehen und den Beitrag der einzelnen Impedanzen zu interpretieren, insbesondere den Unterschied zwischen den Lastimpedanzen und den Übertragungs- und Störimpedanzen, so dass das Gerät in der Lage ist, die Leistungsübertragung auf die Lastimpedanzen zu optimieren und die Übertragungs- und Störverluste zu minimieren.

Das Projekt ANT wurde als Antwort auf die wachsende Notwendigkeit der Optimierung der Leistungsübertragung zwischen einem Stromerzeuger und einem Netz von daran angeschlossenen Verbrauchern entwickelt.

Unter Optimierung verstehen wir in diesem Zusammenhang eine Reihe von Maßnahmen zur Verbesserung der Netzqualität am Eingang des Netzes und zur Kompensation der negativen Auswirkungen durch die Einspeisung von Lasten, wie wir in den analysierten Simulationen gesehen haben.

Es ist darauf hinzuweisen, dass es in der derzeitigen Zusammensetzung des Systems keine gleichwertigen Alternativlösungen gibt. Es gibt jedoch Ersatzprodukte, die der vorgeschlagenen Lösung nahe kommen.

## 4.2 AKTUELLES PROJEKT / GERÄTEBESCHREIBUNG

System zur Anpassung der Impedanz elektrischer Verbraucherstromkreise an die Impedanz des Generators, zur Verbesserung der Effizienz von Installationen, zum Schutz von Geräten und zur Energieeinsparung.

Sobald das Gerät an das Stromnetz angeschlossen ist, kann es alle Betriebsparameter des Netzes analysieren, sowohl die externe Stromqualität als auch interne Störfaktoren. Es kann Störungen dämpfen und die Energie nutzen, um die Spannung und den internen Stromfluss zu optimieren. Es ist zudem in der Lage, das Lastprofil auf den Phasen und die Versorgungsspannungen auszugleichen, so dass es auch in der Lage ist, die 3 Phasenströme auszugleichen. Das Betriebsprofil ist vollständig konfigurierbar und kann auch aus der Ferne verwaltet werden, ebenso wie die Daten der Netzanalyse.

Das Produkt umfasst die Basisvariante mit der Bezeichnung ANT Version 2.1, die TG-Variante, die die

oben näher beschriebenen Fernsteuerungsfunktionen des Geräts enthält, und die TL-Variante, die die oben näher beschriebenen Fernlesefunktionen enthält.

Das Gerät ist an das System anzuschließen, unabhängig davon, ob es sich um einen Haushalt oder ein Unternehmen handelt, und zwar hinter dem Zähler und dem Eingang zur Hauptverteilungsleitung. Sobald es an den Stromkreis angeschlossen ist, kann es die Impedanz berechnen, die das Messgerät gegenüber dem Stromkreis aufweist, und diese Impedanz optimieren, um die Energieübertragung zwischen dem Messgerät und dem System zu verbessern, wodurch der Energieverlust des Systems aufgrund von Faktoren, die nicht auf die Verwendung der Geräte zurückzuführen sind, wirksam verringert wird. Darüber hinaus wirkt das Gerät auch als Netzqualitätsoptimierer in Bezug auf die ankommende Leitung. Die Stromqualität ist die Eigenschaft des Stromnetzes, Strom effizient an die Verbraucher zu übertragen und Verschwendung so weit wie möglich zu vermeiden.

### **Fernsteuerung**

Das ferngesteuerte Gerät verfügt über alle Grundfunktionen und bietet darüber hinaus die Möglichkeit der vollständigen Fernsteuerung aller installierten Geräte. Die Fernsteuerung der Geräte ist sehr wichtig für die Verbesserung der Betriebsparameter der Geräte, da die Möglichkeit besteht, jedes einzelne Gerät aus der Ferne entsprechend der Standardbetriebssituation neu zu konfigurieren. Darüber hinaus ist es durch die Fernsteuerung möglich,

sich jederzeit vom eigenen Büro aus ein vollständiges Bild von der Betriebssituation der Geräte zu machen und, falls erforderlich, jedes Gerät zu umgehen, indem es vom System, an das es angeschlossen ist, getrennt wird. Zudem besteht die Möglichkeit, im Falle eines Geräteausfalls über die Art der aufgetretenen Störung informiert zu werden, und wenn ein Teil im Inneren des Geräts defekt ist, kann man im Voraus wissen, welches Teil ausgetauscht werden muss, und einen präziseren und effizienteren Service anbieten, natürlich mit der Möglichkeit, den Kunden direkt zu kontaktieren und ihn darüber zu informieren, dass eine Störung aufgetreten ist und ein Service angeboten wird.

### **Überwachung**

Das Produkt verfügt natürlich über ein internes Sensornetz, das die Funktion aller einzelnen internen Komponenten überprüft, um alle Betriebsparameter des Geräts zu überwachen, und ist daher in der Lage, Anomalien oder Fehlfunktionen des Systems sofort zu erkennen und dem Kundendienst das aufgetretene Problem und die möglichen Lösungen zur raschen Behebung des Problems anzuzeigen.

### **Software**

Aus architektonischer Sicht besteht das ferngesteuerte Produkt aus einem zentralen, dedizierten Server, der mit allen Geräten kommuniziert, sodass die Situation und die Betriebsparameter aller angeschlossenen Geräte immer deutlich sind. Das Unternehmen hat zudem die

Möglichkeit, jederzeit über eine Software den Status aller Geräte zu überprüfen, die Konfiguration jedes einzelnen Geräts zu ändern und es gegebenenfalls vom System zu trennen, und zwar auf einfache und schnelle Weise. Es besteht auch die Möglichkeit, anderen Nutzern, die einzelne Zonen betreuen, eine spezielle Software zur Verfügung zu stellen, mit der sie alle Geräte in ihrer Zone steuern können. Natürlich erhalten in jedem Fall sowohl das Unternehmen als auch der Dienstleister Benachrichtigungen über mögliche Fehlfunktionen der Geräte und ggf. die zu bearbeitenden Service-Tickets.

### **Fernablesung**

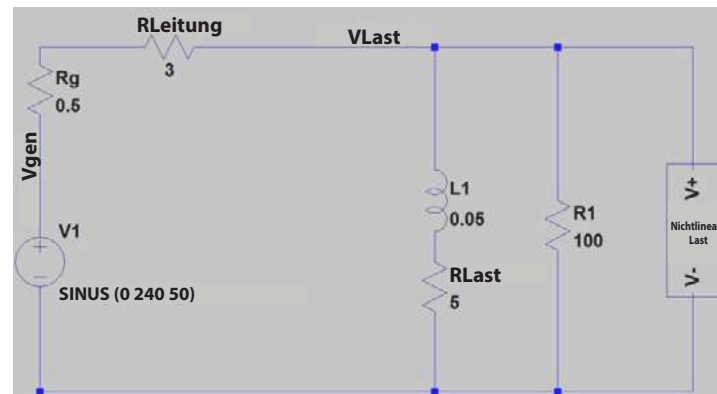
Das Produkt mit Fernablesung beinhaltet alle Funktionalitäten des ferngesteuerten Produkts, mit der Möglichkeit, auch alle Verbrauchsdaten der Nutzer zur Verfügung zu haben, alles auf einer einzigen, einfachen und funktionalen Plattform. Die Fernauslesefunktionen sind für das Unternehmen zugänglich, können aber auch, je nach Ermessen des Unternehmens, dem Servicenetz zur Verfügung gestellt werden, vor allem aber den einzelnen Nutzern, die das Gerät besitzen. Die Nutzer können ihre Verbrauchsprofile sowohl über das Internet auf der Website des Unternehmens als auch über Smartphones und Tablets mit einer einfachen und intuitiven Schnittstelle bequem abrufen. Die große Neuheit ist, dass dank des Systems nicht nur der Stromverbrauch, sondern auch der Wasser- und Gasverbrauch überwacht werden kann, und dass es sogar möglich ist, die Produktionsdaten aller Anlagen für erneuerbare Energien in der Immobilie zu steuern,

wie z. B. Photovoltaik, Mini-Windkraft, Solarthermie und andere Systeme.



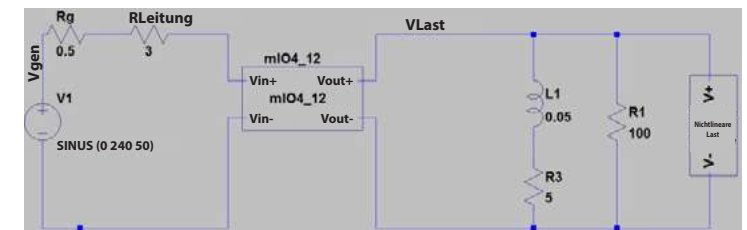
## 4.2 AUSLEGUNGSDATEN UND SIMULATIONEN

Sehen wir uns nun an, wie das System mit dem Stromnetz interagiert, indem wir eine reale Situation simulieren, in der dauerhafte Überspannungsphänomene, Phasenverschiebungen und das Vorliegen nichtlinearer Lasten bestehen. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, berücksichtigen wir in diesem Fall nicht die Nichtlinearität der Stromversorgungsleitung, d. h. es werden keine Störungen von außen berücksichtigt, sondern nur die in der internen Leitung erzeugten Störungen:



Vom Generator gelieferte Leistung: 1094 W

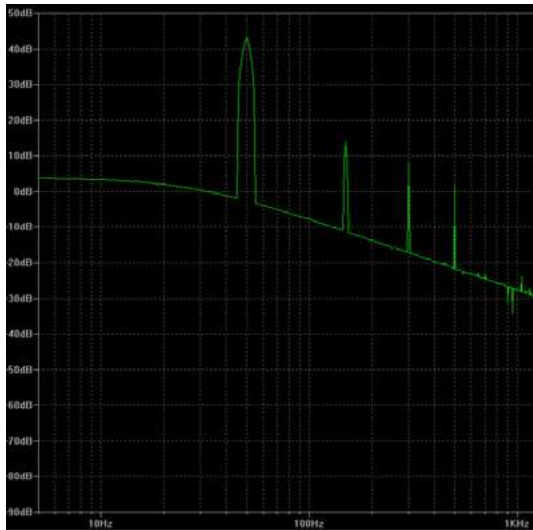
Von der Last aufgenommene Leistung: 738 W



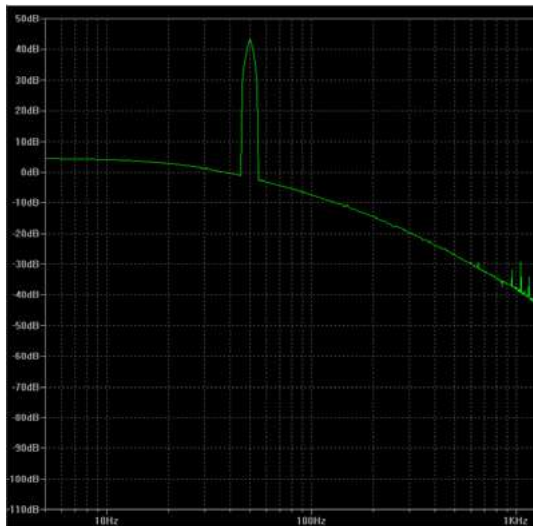
Vom Generator gelieferte Leistung: 843 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 756 W

Oberschwingungsanalyse der Versorgungsspannung der Last (V<sub>Last</sub>):

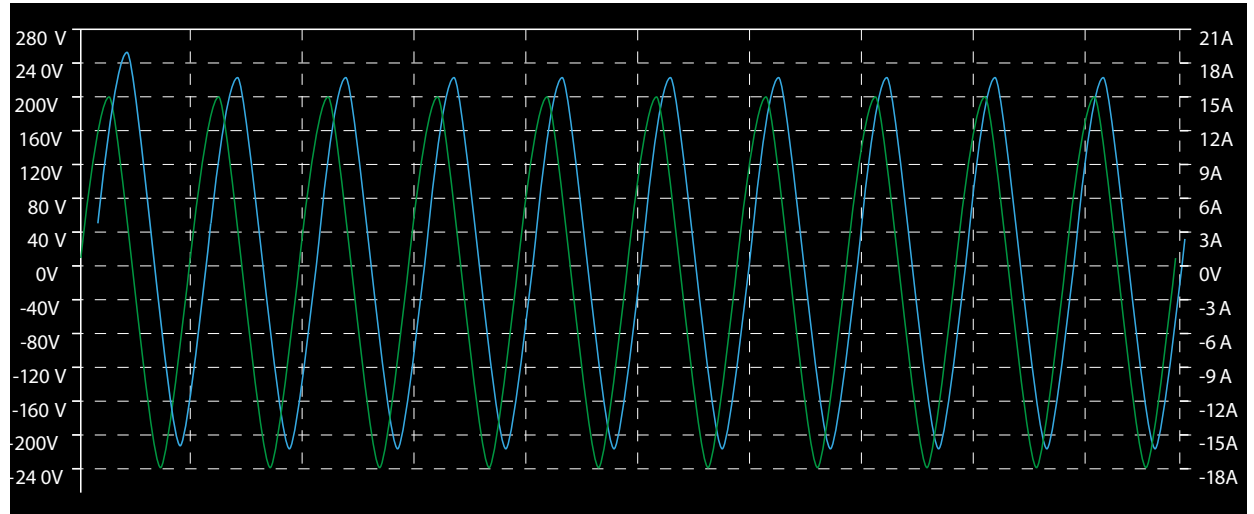


Gesamte harmonische Verzerrung: 3,479955 %

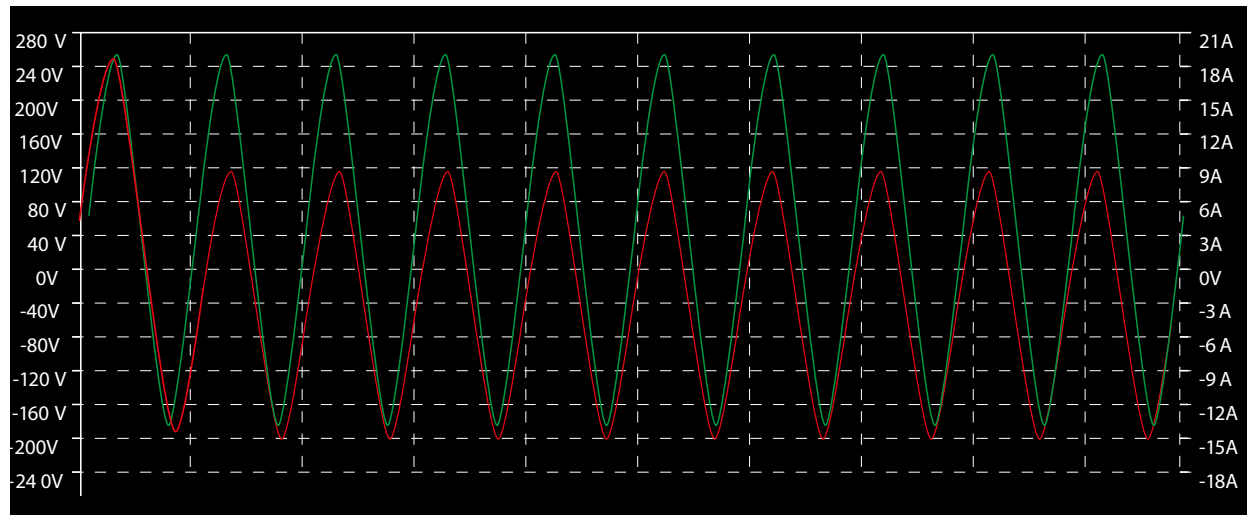


Gesamte harmonische Verzerrung: 3,479955 %

Die resultierenden Wellenformen:  
Ohne ANT:



Mit ANT





## ANT-Einspeisungswirkungen

	Ohne ANT	Mit ANT
Versorgungsspannung:	240 V	240 V
Netzstrom:	10 A	5 A
Leistungsfaktor:	0,64	0,99
Gesamte harmonische Verzerrung:	3,5 %	0,01 %
Vom Generator gelieferte Wirkleistung:	1094 W	843 W
An der Last abgegebene Wirkleistung:	738 W	756 W

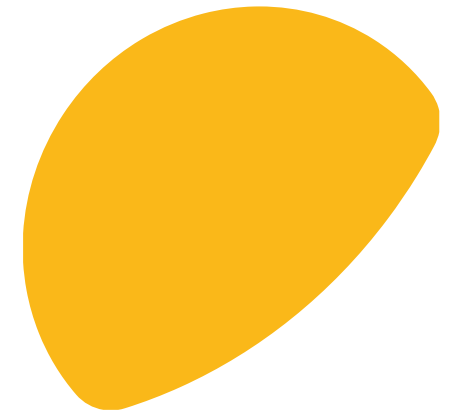
### ÜBERLEGUNGEN

- Die vom Generator ohne das System abgegebene Wirkleistung beträgt mehr als 18 %;
- Der Wirkungsgrad auf die Last beträgt bei Systemaktivierung etwa 3%
- Die gesamte harmonische Verzerrung der Spannung an der Last ist beim Einschalten des Geräts vernachlässigbar, andernfalls würde sie etwa 3,5 % betragen. So wird die Last des Systems (50 Hz) auf über 3 % optimiert.
- Der Leistungsfaktor des Stromkreises steigt deutlich an und nähert sich dem maximal zulässigen Wirkungsgrad.
- Der Umlaufstrom ist nach dem Einschalten der Anlage um etwa 50 Prozent geringer und damit sind auch die Verluste auf dem Kabel deutlich geringer.

» **ESE buchstabiert,**  
**gelesen EASY,**  
**einfach** wie man  
Energie spart.



» **Entdecken Sie  
die Welt von ESE**  
und alle Möglichkeiten  
**für Ihr Unternehmen!**





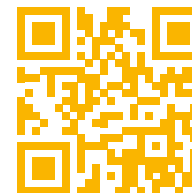
*Geschäftspartner*



**Innova ICT s.r.l.**  
Via Val di Non, 88  
00144 Rom  
Steuernummer: 01592450629

**Tel. Fax** +39 0884.090204  
**Mobiltelefon** +39 340 1238107

**E-Mail** [e.innovaict@gmail.com](mailto:e.innovaict@gmail.com)  
**Webseite** [www.innovaict.net](http://www.innovaict.net)



Scannen Sie den QR-Code  
und entdecken Sie **ESE.**

**ENERGY**

Folgen Sie uns auf





**IoT INDUSTRIE 4.0** bereit  
IN ITALIEN GEFERTIGT

TECHNISCHER KONTAKT



*divisione efficientamento energetico*



# » INHALT/

<b>1. AKTUELLE VERSORGUNGS-LAGE.....</b>	<b>4</b>	<b>3. VORHANDENE TECHNOLOGIEN.....</b>	<b>18</b>
1.1 DER ÜBERGANG ZUM DIGITALEN ZEITALTER .....	4	3.1 SPANNUNGSOPTIMIERUNG.....	18
1.2 VERTEILTE ERZEUGUNG .....	5	3.2 LEISTUNGSFAKTORKORREKTUR.....	18
1.3 ÜBERSPANNUNG ODER UNTERS PANNUNG.....	6	3.3 OBERSCHWINGUNGSFILTERUNG.....	19
1.4 HARMONISCHE VERZERRUNG.....	7	3.4 EMI-FILTER.....	20
1.5 PHASENABGLEICH.....	9	3.5 VERBRAUCHSPROFILIERUNG.....	20
1.6 PHASENVERSCHIEBUNG.....	10	<b>4. ANT.....</b>	<b>21</b>
<b>2. REAKTION AUF DIE LAST.....</b>	<b>11</b>	4.1 AUSGANGSÜBERLEGUNGEN.....	21
2.1 PRÄMISSE.....	11	4.2 LAUFENDES PROJEKT.....	22
2.2 DAUERHAFT E ÜBERSPANNUNG BEI OHMSCHER LAST.....	12	4.3 PROJEKTDATEN UND SIMULATIONEN.....	25
2.3 PHASENVERSCHIEBUNG.....	14		
2.4 HARMONISCHE VERZERRUNG.....	16		



# 1. AKTUELLE VERSORGLUNGS-LAGE

In den letzten Jahren haben wir zwei sehr wichtige Phänomene bei der weltweiten Verteilung und Nutzung von Strom beobachtet:

- Der Übergang zum digitalen Zeitalter
- Verteilte Erzeugung

Diese beiden Phänomene haben erhebliche Auswirkungen auf die Verteilung von Strom und seine ordnungsgemäße Verwaltung.

Lassen Sie uns diese im Detail analysieren.

## 1.1 DER ÜBERGANG ZUM DIGITALEN ZEITALTER

Vor etwas mehr als einem Jahrzehnt begann in allen Bereichen eine echte Revolution, die auf den zunehmenden Einsatz digitaler Technologien zur Verbesserung der Leistung der Systeme zurückzuführen ist, die zur Ausführung der wichtigsten technologischen Funktionen eingesetzt werden. Computer werden heute in allen Einrichtungen und in allen Bereichen intensiv genutzt, von der häuslichen Umgebung bis hin zu den komplexesten industriellen Prozessen. Mittlerweile werden alle gängigen Maschinen von volldigitalen Computersystemen gesteuert und bedient. Und nicht nur das: Sie halten Einzug in unser Leben, Werkzeuge, die vor einigen Jahren noch unvorstellbar waren (Tablets, Smartphones usw.). Selbst grundlegende Konzepte

wie die Beleuchtung werden zunehmend auf digitale Technologien umgestellt, insbesondere mit dem Einsatz von LEDs. Im weiteren Verlauf der Diskussion werden wir uns mit den Auswirkungen dieses Phänomens auf Energiefragen und ein effizientes Energiemanagement befassen. Zunächst ist festzustellen, dass mit der zunehmenden Entwicklung der digitalen Technologien immer mehr nichtlineare Lasten an unsere Anlagen angeschlossen werden.





## 1.2 VERTEILTE ERZEUGUNG

Noch vor zwei Jahrzehnten war die Stromerzeugung im Wesentlichen zentralisiert, vor allem dank der Nutzung der Atomenergie, die es ermöglichte, große Kraftwerke zu errichten, um einen immer größeren und energieintensiveren Nutzerkreis zu bedienen. In den letzten Jahren hat sich jedoch auch die Erzeugung von elektrischer Energie erheblich verändert, vor allem dank der Photovoltaik, die auch dank starker Anreizmaßnahmen immer mehr Einzug in unser Leben hält, aber auch andere Technologien wie Windkraft, Wasserkraft, Kraft-Wärme-Kopplung usw. erfahren eine zunehmende Entwicklung.

Wie sich dieses Phänomen auf die Energieübertragung zu den Endverbrauchern auswirkt, würde den Rahmen dieser Diskussion sprengen, aber es ist sicher interessant, zunächst die Hauptunterschiede zwischen den beiden Ansätzen zu bewerten. Um die Diskussion zu vereinfachen, wird im Folgenden die Situation des Stromübertragungsnetzes in den beiden Fällen skizziert, um die Auswirkungen dieser Änderung auf den Endverbraucher qualitativ zu erfassen:

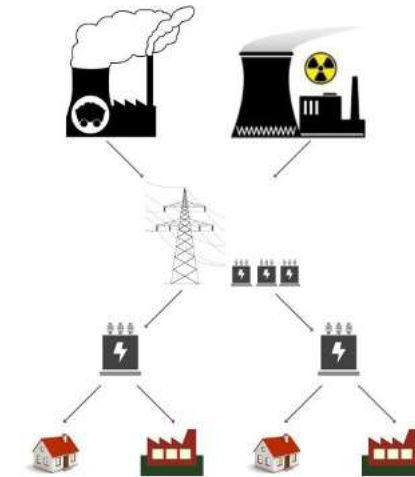


Abbildung 1: Zentral erzeugtes Übertragungsnetz

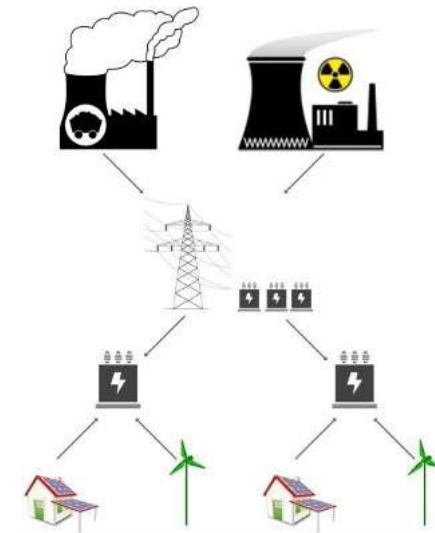


Abbildung 2: Übertragungsnetz für dezentrale Erzeugung

Wie wir aus den beiden obigen Abbildungen ersehen können, ist der wichtigste Unterschied, den wir feststellen können, topologisch. Insbesondere bei der dezentralen Stromerzeugung durchläuft der ins Netz eingespeiste Strom immer zentrale Verteilersysteme, bevor er zu den Endverbrauchern gelangt, während dies bei der dezentralen Stromerzeugung nicht immer der Fall ist. In der Praxis kann der Strom direkt vom Erzeuger zum Verbraucher übertragen werden, ohne dass er durch zentrale Verteilersysteme geleitet wird.

Dieses Phänomen hat erhebliche Auswirkungen auf die Qualität des von den Erzeugern gelieferten Stroms. Da es keine Zwischenschritte für die Verteilungsanlagen gibt, ist der von dezentralen Erzeugern gelieferte Strom weniger effizient als der von zentralen Erzeugern gelieferte. In den letzten Jahren hört man im elektrischen und elektrotechnischen Bereich immer öfter von Power Quality, also der Qualität der von den Stromleitungen zum Verbraucher übertragenen Energie.

### 1.3 ÜBERSpannung ODER UNTERSpannung

Überspannung ist ein Phänomen, bei dem das Netz Strom mit einer höheren Spannung als der Nennspannung überträgt. Das Phänomen kann vorübergehend oder dauerhaft sein. Im ersten Fall tritt die Abweichung vom Nennwert für einige Augenblicke oder einige Zyklen auf, mit Amplituden von einigen Volt bis zu Hunderten von Volt, oft verursacht durch das Zuschalten von induktiven Lasten, Transformatoren unter Last, usw... Natürlich kann diese Art von Störung auch Energieineffizienzen

erzeugen, aber das eigentliche Problem, das mit dieser Art von Störung verbunden ist, besteht darin, dass die an das System angeschlossenen Geräte beschädigt werden können. Im zweiten Fall kann die Störung als dauerhaft betrachtet werden, wenn die Versorgungsspannung konstant höher ist als die Nennbetriebsspannung, die in Italien bei einphasigen Niederspannungsnetzen 230 V und bei dreiphasigen Niederspannungsnetzen 400 V beträgt. Auch in diesem Fall könnte die Störung auf Dauer Schäden an den angeschlossenen Geräten verursachen, obwohl dieses Phänomen bei der Auslegung der Geräte berücksichtigt werden sollte, und eine Eingangsspannungstoleranz von  $\pm 10\%$  aufweisen sollten. Insbesondere führt bei den meisten linearen Lasten, die an Netze angeschlossen sind, eine Erhöhung der Spannung zu einer Verkürzung der Lebensdauer der Geräte und zu einem höheren Energieverbrauch, ohne dass sich die Leistung nennenswert verbessert.

## 1.4 HARMONISCHE VERZERRUNG

Die Stromübertragung auf dem Netz sollte mittels einer Sinuswelle mit einer Frequenz von 50 Hz (in Italien) und einer Nennspannung von 230 V erfolgen. Diese Welle, die sich an linearen Impedanzen schließt, sollte im Stromkreis einen Strom erzeugen, der ebenfalls sinusförmig mit einer Frequenz von 50 Hz ist, mit einer Amplitude, die vom ohmschen Teil der Impedanz abhängt, und höchstens einer Phasenverschiebung hinsichtlich der Spannungswelle, die vom ideellen Teil der Impedanz abhängt. Der Begriff "sollte" bezieht sich sowohl auf die Eingangsspannung als auch auf die Erzeugung des Netzstroms, da im ersten Fall nicht sicher ist, dass die Spannungswelle am Eingang perfekt sinusförmig ist. Wenn dies der Fall ist, ist nicht sicher, dass die resultierende Stromwelle perfekt sinusförmig ist. Mathematisch gesehen ist die betreffende Welle in jedem Fall periodisch und kann sich daher in Fourier-Reihen entwickeln, die sie als Summe unendlicher sinusförmiger Komponenten mit unterschiedlicher Frequenz, Amplitude und Phase darstellen. Technisch gesehen werden die einzelnen Komponenten der Reihenentwicklung als Oberschwingungen bezeichnet; insbesondere ist auch die Sinuswelle mit der Grundfrequenz eine Oberschwingung.

Betrachtet man einen Stromkreis, der mit einer reinen Sinuswelle gespeist wird und nur an lineare Lasten angeschlossen ist, so hat die resultierende Stromwelle, wie bereits erwähnt, eine einzige Komponente mit der Frequenz der Stromversorgung und keine

Oberwellenkomponente mit einer anderen Frequenz als der Grundschwingung. Wohingegen in dem Fall, in dem mindestens eine der Lasten nichtlinear ist, Stromoberschwingungen mit einer anderen Frequenz als der Grundschwingung auftreten können. Vernachlässigt man das Phänomen der Zwischenharmonischen im Moment, so sind bei den elektrischen Lasten die resultierenden Stromkomponenten mit einem größeren Beitrag in der Regel diejenigen mit Frequenzen, die ein Vielfaches der Grundschwingung sind. Daher können die erzeugten Oberschwingungen numerisch geordnet werden, indem man sich auf das Vielfache der betreffenden Frequenz bezieht, d.h. zum Beispiel ist eine zweite Oberschwingung eine Oberschwingung mit der doppelten Frequenz der Grundschwingung. Darüber hinaus sind bei den meisten nichtlinearen Lasten, die an Netze angeschlossen sind (z. B. Schaltnetzteile), die Oberschwingungen mit der höchsten Amplitude diejenigen mit ungerader Ordnung, also die dritte, die fünfte, die siebte usw. Darüber hinaus tragen die Oberschwingungen in der Praxis in der Regel mit mehr Amplituden in den niedrigeren Ordnungszahlen bei und sind daher abnehmend, d. h. im Allgemeinen hat die dritte Oberschwingung eine größere Amplitude als die fünfte, die fünfte als die siebte und so weiter. Natürlich müssen auch in diesem Fall individuelle Situationen analysiert werden, da verschiedene nichtlineare Lasten, die an das betreffende Netz angeschlossen sind, einen unterschiedlichen Beitrag zu den Oberschwingungen erzeugen können, so dass die Summe dieser Beiträge unterschiedlich sein kann.

Bezogen auf die erzeugte Stromwelle kann n die gesamte harmonische Verzerrung wie folgt definiert werden:

$$THD_i = \frac{I_t - I_f}{I_f} = \frac{\sum_2^{\infty} I_n - I_f}{I_f}$$

wo:

$I_t$  ist der Gesamtstrom

$I_f$  ist der Strom bei Grundfrequenz

Das Gleiche gilt für die Spannungswelle:

$$THD_v = \frac{V_t - V_f}{V_f} = \frac{\sum_2^{\infty} V_n - V_f}{V_f}$$

*Ganz allgemein für die übertragene Leistung:*

$$THD_p = \frac{P_t - P_f}{P_f}$$

Dieser Index gibt, wie der Name schon sagt, Aufschluss über die Gesamtverzerrung in den Wellenformen. Je mehr der Wert größer als 0 ist, desto weiter entfernt sich natürlich die Wellenform vom Idealfall. Zudem verursacht das Bestehen von Oberschwingungsverzerrungen an sich Energieprobleme in den Anlagen. Es kann nämlich gezeigt werden, dass die Stromverzerrung auch Auswirkungen auf die Spannungswellenform hat, die die Lasten speist. Daher hat dieses Phänomen auch Auswirkungen auf die linearen Lasten, die an die Systeme angeschlossen sind, und führt zu weiteren Verlusten im System als Folge der erhöhten Verlustleistung an

der Leitungsimpedanz und der internen Impedanz des Generators.

Im Allgemeinen hat eine lineare Last eine fast unendliche Bandbreite, z. B. wandelt eine Glühbirne die gesamte von ihr gelieferte elektrische Leistung in einer praktisch unendlichen Bandbreite in Wärmeenergie um, d. h. wenn ich die Glühbirne z. B. mit 5 V bei einer Frequenz von 400 Hz versorge, erwärmt sich der Glühfaden in der Glühbirne, und es entsteht Wärme durch den Joule-Effekt.

Das Problem besteht darin, dass die fragliche Umwandlung keine Lichtemissionen im sichtbaren Bereich erzeugt, bzw. nur eine minimale Menge an Lichtemissionen im sichtbaren Bereich und vielleicht andere Emissionen in Lichtbereichen, die für das bloße Auge nicht sichtbar sind, z. B. Ultraviolett oder Infrarot, da der Glühfaden für den Betrieb mit der Netzfrequenz ausgelegt ist.

Dies hat drei sehr wichtige Auswirkungen:

- Ein Betrieb außerhalb der Nennwerte kann zu einem vorzeitigen Ausfall des Gerätes führen.
- Die abgegebene Lichtenergie hat eine unerwünschte Komponente, sodass gesagt werden kann, dass die überschüssige Energie nicht für die Funktion verwendet wird, für die das Gerät konzipiert ist, sondern im Grunde eine Störung darstellt.
- Die Emission von Strahlung außerhalb des sichtbaren Lichts kann für den menschlichen Körper, der ihr ausgesetzt ist, schädlich sein.

Würden wir andere Arten von Lasten wie Elektromotoren, Pumpen oder andere Dinge in Betracht ziehen, könnten die Folgen noch schlimmer sein.

Das allgemeine Ergebnis ist, dass solche Verzerrungen Energie an die Lasten übertragen, die diese zum Teil dazu nutzen, die Funktion zu verrichten, für die sie ausgelegt sind, und zum Teil Leistungsverluste erzeugen, die einen Lastausfall erhöhen können. Neben dem wirtschaftlichen Schaden, der sich aus dem erhöhten Energieverbrauch ergibt, entsteht also auch ein Schaden durch die Verkürzung der Nutzungsdauer der Geräte.

## 1.5 PHASENABGLEICH

Bei Dreiphasensystemen ist ein weiterer Faktor, der sich negativ auf die Qualität der Versorgung auswirkt, das Ungleichgewicht zwischen den Phasen, d. h. der Unterschied zwischen den Wellenformen auf den einzelnen Phasen der Versorgung. Diese Unterschiede sind im Allgemeinen entweder auf die Spannung mit der Grundfrequenz oder auf Oberwellen zurückzuführen. Solche Störungen treten in der Regel auf, wenn einphasige Lasten und dreiphasige Lasten auf der gleichen Leitung zusammengeschaltet werden. Auch dieses Phänomen hat sowohl energetische Auswirkungen auf die angeschlossenen Drehstromverbraucher als auch Folgen für den Wirkungsgrad und die Lebensdauer der Geräte. Aus der Literatur in diesem Bereich erfahren wir, dass die meisten Ineffizienzen bei den an das System angeschlossenen Drehstrommotoren entstehen.

## 1.6 PHASENVERSCHIEBUNG

Eine weitere wichtige Störung, die bei an ein Stromnetz angeschlossenen Lasten auftritt, ist die Phasenverschiebung zwischen der Spannungswellenform und der erzeugten Stromwellenform. Die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom führt im Allgemeinen nicht zu Energieproblemen bei den Verbrauchern oder zumindest nicht zu Problemen hinsichtlich der von den Verbrauchern aufgenommenen Wirkenergie, vielmehr führt die Phasenverschiebung zu Ineffizienzen und einer größeren Leistungsaufnahme in der Stromübertragungsphase. Im Allgemeinen erzeugt auch eine lineare Last, die nicht vollständig ohmsch ist, eine Phasendifferenz des Stroms hinsichtlich der Versorgungsspannung, entweder im Voraus oder mit Verzögerung, je nachdem, ob es sich um eine ohmsch-kapazitive oder eine ohmsch-induktive Last handelt. Dies führt zur Übertragung der so genannten Blindleistung, d.h. der Leistung, die von den Verbrauchern nicht zur Verrichtung der Funktion verwendet wird, sondern lediglich zur Unterstützung des Magnetfelds. Das Problem besteht darin, dass die Blindleistung durch einen induktiven Strom übertragen wird, der die Last der an das Netz angeschlossenen elektrischen Leitungen erhöht, und dass darüber hinaus eine größere Stromzirkulation im Stromkreis zu größeren Verlusten an den Reihenimpedanzen des Stromkreises führt, insbesondere an der internen Impedanz des Generators und an der Leitungsimpedanz, wodurch ohmsche Verluste (d. h. Wirkleistung) im System entstehen.

Hier sind 2 Faktoren wichtig für die Energie- und Wirtschaftsbilanz des Systems:

- In einigen Fällen verursacht die Nutzung von Blindstrom Kosten für den Nutzer in Form von Strafgebühren auf der Rechnung.
- Der zirkulierende Blindstrom erzeugt auf der Leitung einen Verlust an Wirkenergie.

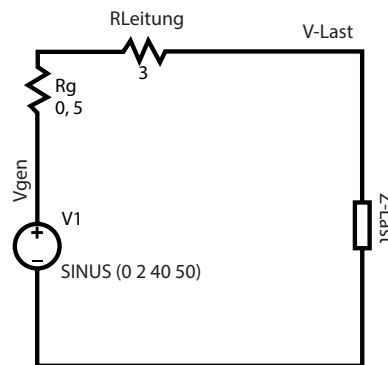
Darüber hinaus lässt sich einfach zeigen, dass sich dieser Faktor auch auf die Versorgungsspannung der Lasten auswirkt, da der Spannungsabfall auf der Leitung bei gleicher Gesamtleistungsaufnahme eine geringere Nutzspannung an der Last erzeugt, d. h. die Stromübertragung wird höchst ineffizient.

Sehr häufig wird hinsichtlich der elektrischen Netzen vom Leistungsfaktor gesprochen, der sich auf das Verhältnis zwischen der gesamten übertragenen Leistung (Scheinleistung) und der Wirkleistung bezieht. Dieser Faktor wird gewöhnlich mit den so genannten Kosten verwechselt. Insbesondere die letztgenannte Aussage ist nur dann richtig, wenn nur lineare Lasten betrachtet werden, so dass bei einem Netz mit linearen Lasten die Kosten dem Leistungsfaktor entsprechen. Im Allgemeinen berücksichtigt der Leistungsfaktor jedoch auch die gesamte harmonische Verzerrung.

## 2. REAKTION AUF DIE LAST

### 2.1 PRÄMISSE

In diesem Abschnitt wird, auch anhand einiger Simulationen, das Verhalten der Lasten bei Vorliegen der oben genannten Störungen analysiert. Der Einfachheit halber nehmen wir einen Stromkreis für einen Haushalt mit einer Vertragsleistung von 3 kW, der sich wie folgt schematisch darstellen lässt: Für die Simulationen wird ein Modell mit konzentrierten Parametern verwendet.



*Im Besonderen:*

- $R_g$  ist der "innere" Widerstand des Generators
- $R_{Leitung}$  ist der Leitungswiderstand des Netzes und ist hauptsächlich auf das Vorhandensein von Stromkabeln für die Stromverteilung zurückzuführen. Der Einfachheit halber werden die kapazitiven und induktiven Effekte der Impedanz

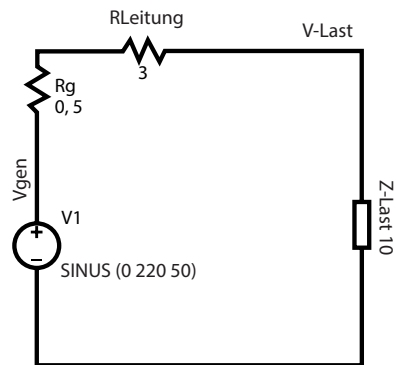
vernachlässigt; der eingestellte Widerstandswert von 3 Ohm entspricht etwa 350 m Kabel mit einem durchschnittlichen Querschnitt von 2 mm<sup>2</sup>.

- Z-Last ist die Lastimpedanz, schematisch dargestellt als äquivalente Impedanz vom Generator aus gesehen. Die betrachtete Schaltung kann in zwei Abschnitte unterteilt werden, einen Teil für die Stromversorgung und einen Teil für die Last.

Um die Energiebilanz des Stromkreises zu bewerten, werden wir eine Reihe von Faktoren berücksichtigen, die von Zeit zu Zeit nützlich sein werden. Im Allgemeinen werden wir uns hingegen auf die vom Generator gelieferte Wirkleistung und die von der Last aufgenommene Wirkleistung konzentrieren, damit wir die Effizienz der Leistungsübertragung in verschiedenen Situationen bewerten können.

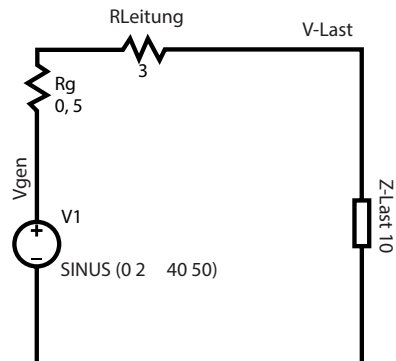
## 2.2 DAUERHAFTE ÜBERSpannung BEI OHMSCHER LAST

Betrachten wir als erstes Beispiel das Vorliegen einer rein ohmschen Last und analysieren wir die Auswirkungen einer Spannungsversorgung oberhalb der optimalen Spannung am System, wobei wir von einer optimalen Spannung von 220 V ausgehen:



Vom Generator gelieferte Wirkleistung: 1785 W

Von der Last aufgenommene Wirkleistung: 1322 W



Vom Generator gelieferte Wirkleistung: 2124 W

Von der Last aufgenommene Wirkleistung: 1573 W

Um es noch einmal zusammenzufassen:

OHMSCHE LAST – AUSWIRKUNGEN VON SPANNUNGSSCHWANKUNGEN IM DAUERHAFTEN ZUSTAND		
	Optimale Netzspannung	Hohe Netzspannung
Versorgungsspannung:	220 V	240 V
Netzstrom:	16,28 A	17,73 A
Leistungsfaktor:	≈ 1	≈ 1
Gesamte harmonische Verzerrung:	0 %	0 %
Resistive Lastimpedanz:	10 Ohm	10 Ohm
Vom Generator gelieferte Leistung:	1785 W	2124 W
An der Last abgegebene Leistung:	1322 W	1573 W



## Überlegungen

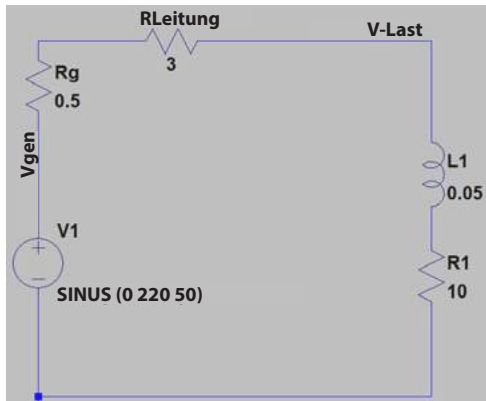
Zunächst ist zu bedenken, dass im vorliegenden Fall die vom Generator bereitgestellte Gesamtleistung bei optimaler Stromversorgung um etwa 16 % geringer ist. Natürlich ist aufgrund der Linearität der Schaltung auch die an die Last abgegebene Leistung um 16 % geringer, aber wie wir bei der Behandlung der Auswirkungen hoher Spannungen auf die Lasten gesehen haben, führt dies nicht immer zu einer Steigerung des Wirkungsgrads der betreffenden Last, zum Beispiel wenn es sich um eine oder mehrere parallel geschaltete Glühlampen handelt. Die Speisung mit einer höheren Spannung bei der Grundfrequenz führt sicherlich zu einer höheren Lichtenergie im sichtbaren Bereich, aber auch zu einer höheren Energie in den anderen Emissionsbereichen der Leuchte, so dass die Gesamtlichtleistung im sichtbaren Bereich nicht um 16 %, sondern um einen geringeren Prozentsatz erhöht wird. Darüber hinaus bedeutet die Überschreitung des für die betreffende Leuchte optimalen Spannungsbereichs eine Verkürzung der Lebensdauer um weit mehr als 16 %. Untersuchungen von Omran zeigen bei Glühlampen, dass die Lebensdauer einer Glühbirne bei einer Spannung von 240 V um 55 % geringer ist als bei ihrer Nennbetriebsspannung.

Ein weiterer Faktor, der berücksichtigt werden muss, ist der ohmsche Energieverlust durch das Netz. Im Falle der optimalen Stromversorgung haben wir einen Verlust von  $(1785 - 1322) \text{ W} = 463 \text{ W}$ , während wir im Falle der höheren Spannungsversorgung wiederum  $(2124 - 1173) \text{ W} = 551 \text{ W}$  haben. Relativ gesehen ist der prozentuale Verlust derselbe, aber in absoluten Zahlen ist der

Leistungsverlust bei der höheren Spannung größer, da etwa 100 W mehr auf der Leitung abgeführt werden, was bedeutet, dass mehr Energie am Zähler verbraucht wird und die Stromkabel sich stärker erwärmen und ineffizienter werden.

## 2.3 PHASENVERSCHIEBUNG

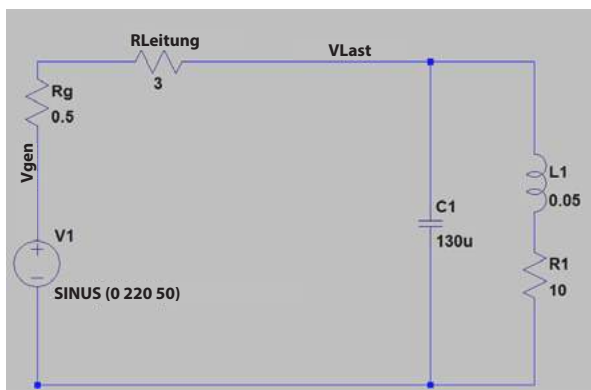
Betrachten wir nun das Vorliegen einer ohmsch-induktiven Last im Stromkreis:



Vom Generator gelieferte Leistung: 632 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 561 W

Wir führen parallel zur Last eine kapazitive Impedanz ein, um aus derselben Schaltung eine äquivalente ohmsche Impedanz zu erhalten, wie sie vom Generator aus gesehen wird:



Vom Generator gelieferte Leistung: 758 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 573 W

Um es noch einmal zusammenzufassen:

OHMSCHE LAST – AUSWIRKUNGEN VON SPANNUNGSSCHWANKUNGEN IM DAUERHAFTEN ZUSTAND		
	Ohmsche äquivalente Last	Äquivalente Last ohmsch-induktiv
Versorgungsspannung:	220 V	220 V
Netzstrom:	5,73 A	8,03 A
Leistungsfaktor:	0,99	0,66
Gesamte harmonische Verzerrung:	0 %	0 %
Vom Generator gelieferte Leistung:	758 W	632 W
An der Last abgegebene Leistung:	561 W	573 W

## Überlegungen

Für den vorliegenden Fall können wir zwei wichtige Überlegungen anstellen:

1. Die vom Generator abgegebene Leistung ist bei einer induktiven ohmschen Last etwa 18 % höher als bei ihrer ohmschen Äquivalente.
2. Die tatsächlich an der Last verbrauchte Leistung ist etwa 3 % höher.

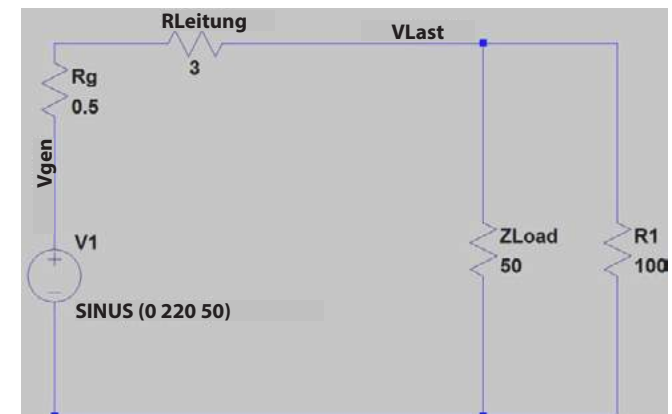
Mit der ersten Aussage können wir sagen, dass wir durch die Verbesserung des Leistungsfaktors des Stromkreises auch eine erhebliche Einsparung bei der verbrauchten Gesamtleistung erzielen, sodass die Energiebilanz in diesem Fall positiv ausfällt. Zudem stellen wir fest, dass die Last davon profitiert, da die von ihr verbrauchte Leistung unter den gleichen Bedingungen etwas höher ist als im vorherigen Fall.

Natürlich wird diese Bedingung bei einer Versorgungsspannung von 220 V überprüft, bei höheren Spannungen ist das Problem ausgeprägter, da das Einfügen von induktiven Lasten eine Phasenverschiebung mit einem daraus resultierenden Spannungsabfall an der Last aufgrund des Effekts der Leitungsimpedanz erzeugt. Die Situation verbessert sich vom energetischen Standpunkt aus durch die Umphasung des Systems, in der gleichen Weise, wie wir sie soeben analysiert haben. In Realität befinden wir uns im vorherigen Zustand der dauerhaften Überspannung der Last, damit sie unter ihren optimalen Betriebsbedingungen arbeitet, muss die Verlustleistung

mit an der Last auf jeden Fall umgestaltet werden. Dieser letzte Faktor führt zu noch größeren Einsparungen und ist daher ein erstrebenswertes Element, das wir im Folgenden behandeln werden.

## 2.4 HARMONISCHE VERZERRUNG

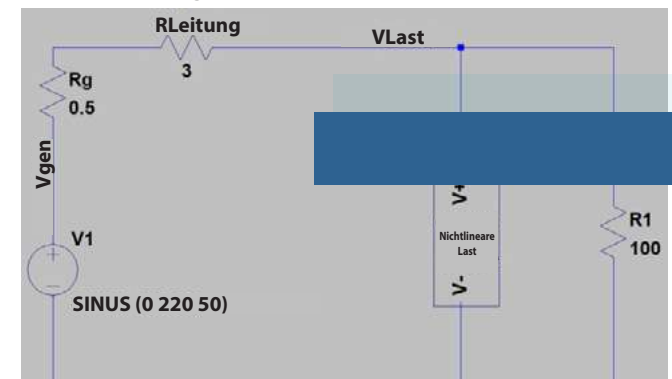
Betrachten wir nun das Vorliegen von gemischten linearen und nichtlinearen Lasten im Stromkreis:



Vom Generator gelieferte Leistung: 654 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 592 W

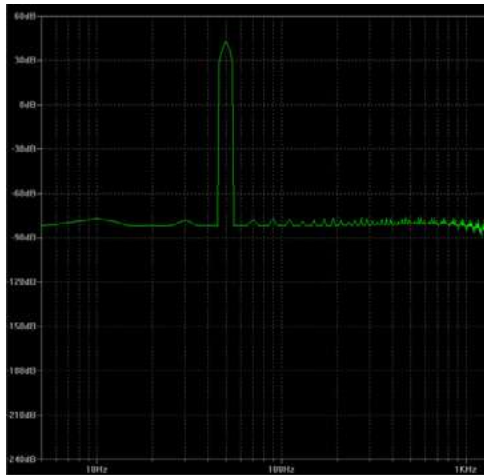
Wir ersetzen die 50-Ohm-Last durch eine Last gleicher Leistung, die jedoch nicht linear ist:



Vom Generator gelieferte Leistung: 656 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 586 W

Betrachten wir diese Situation im Detail, betrachten wir die Fourier-Transformation der Spannung an der Last im Bereich von 0 - 1 kHz.



Vollständig lineare Schaltung mit nichtlinearer Last

Gesamte harmonische Verzerrung: 0,000473 %

Gesamte harmonische Verzerrung: 3,550619 %

Um es noch einmal zusammenzufassen:

INDUKTIVE OHMSCHES LAST - HARMONISCHE WIRKUNG		
	Ohmsche äquivalente Last	Äquivalente Last ohmsch-induktiv
Versorgungsspannung:	220 V	220 V
Netzstrom:	4,21 A	4,46 A
Leistungsfaktor:	$\approx 1$	0,95
Gesamte harmonische Verzerrung:	$\approx 0 \%$	3,55 %
Vom Generator gelieferte Leistung:	654 W	656 W
An der Last abgegebene Leistung:	592 W	586 W

## Überlegungen

Für den vorliegenden Fall lassen sich drei Überlegungen anstellen:

- Die Ausgangsleistung des Generators ist im Falle eines nichtlinearen Stromkreises etwa 0,4 % höher als im Falle seines ohmschen Äquivalents.
- Die an die Last übertragene Gesamtleistung ist um etwa 1 % höher.
- Die an die Last übertragene Leistung bei einer Frequenz von 50 Hz ist um 3,5 % geringer, da dieser Prozentsatz außerhalb des Bandes übertragen wird.

In diesem Fall erzeugt die nichtlineare Last einen Strom mit einem hohen Anteil an Oberschwingungen außerhalb des Bandes, der an sich keine Probleme für die anderen Lasten verursacht, da er nur zwischen dem Generator und der betreffenden Last zirkuliert. Das Problem besteht darin, dass die Spannungsschwankungen an der Leitungsimpedanz ebenfalls einen hohen Oberwellengehalt aufweisen und daher die gesamte Versorgungsspannung der Verbraucher mit Oberwellenverzerrungen behaftet ist, die, wie bereits erwähnt, von der Leistung der verzerrenden Last und der Leitungsimpedanz abhängen, wobei diese Verzerrungen natürlich von den ohmschen Lasten absorbiert und in Wärme umgewandelt werden. Dies bringt vermutlich keinen Vorteil in Bezug auf den Wirkungsgrad, sondern mitunter sogar erhebliche Nachteile in Bezug auf die Lebensdauer des Geräts mit sich. Wir können also feststellen, dass, obwohl es aus der Sicht der Energiebilanz zunächst so aussieht, als gäbe es keine konsistenten Schwankungen (1 %), aus der Sicht des Wirkungsgrads der Lasten noch konsistentere Schwankungen (3 - 4 %) bestehen, so dass die von der Last aufgenommene Gesamtleistung praktisch 5 % niedriger ist, wenn man die für die Funktion nutzbare Leistung (die bei 50 Hz abgegebene Leistung) betrachtet.

## 3 GESTEHENDE TECHNOLOGIEN

### 3.1 OPTIMIERUNG DER SPANNUNG

Die Spannungsoptimierung ist eine energiesparende Technik, bei der ein Transformator in Reihe mit der Versorgungsleitung geschaltet wird, um die der Last zur Verfügung stehende Spannung zu verringern oder zu erhöhen.

Die Optimierung kann statisch oder dynamisch erfolgen, je nachdem, ob die Spannung fest um einen bestimmten Prozentsatz abgesenkt oder während des normalen Betriebs der Schaltung dynamisch verändert wird. Bei bestimmten nichtlinearen Lasten (z. B. Schaltnetzteilen) kann der Rückgang der Spannung sogar zu einem Anstieg des Verbrauchs führen. Diese Lasten arbeiten nämlich mit konstanter Leistung, d. h. sie nehmen auch bei Spannungsschwankungen immer die gleiche Menge an Strom auf, sodass ein Rückgang der Spannung zu einem Anstieg des Stroms im Knotenpunkt und damit in der Leitung führt, und dieser Strom erhöht somit die Verluste in den Übertragungskabeln.

## 3.2 LEISTUNGSFAKTORKORREKTUR

Als Leistungsfaktorkorrektur wird jede Maßnahme bezeichnet, die dazu dient, den Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) einer bestimmten Last zu erhöhen (oder, wie man allgemein sagt, zu verbessern), um den Wert des im System zirkulierenden Stroms bei gleicher aufgenommener Wirkleistung zu verringern. Der Zweck der Blindleistungskompensation besteht vor allem darin, die Energieverluste zu verringern und die Scheinleistungsaufnahme im Verhältnis zu den vorhandenen Maschinen und Leitungen an einem Industriestandort zu reduzieren. Die Umstellung der Anlagen gewann an Bedeutung, als der Stromversorger durch die CIP-Tarifmaßnahmen (Nr. 12/1984 und Nr. 26/1989) Vertragsklauseln einführte, die den Nutzer unter Androhung von Strafzahlungen zur Umstellung seiner Anlage verpflichteten. In Stromkreisen mit besonderen Verbrauchern wie Glühlampen, Wassererhitzern, bestimmten Arten von Öfen ist die Scheinleistungsaufnahme die gesamte Wirkleistung. In Stromkreisen mit Verbrauchern, die Wicklungen enthalten, wie Motoren, Schweißgeräte, Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen und Transformatoren wird ein Teil der aufgenommenen Scheinleistung zur Erregung von Magnetkreisen verwendet und daher nicht als Wirkleistung, sondern als Leistung genutzt, die allgemein als Blindleistung bezeichnet wird. Aus der Sicht der Gesamtenergiebilanz verringert die Blindleistungskorrektur die vom Stromkreis aufgenommene Blindenergie, aber

nicht direkt die eingesetzte Wirkenergie, d. h. die Verringerung der Wirkenergie ist im Allgemeinen eine Folge der Tatsache, dass die Verluste auf den Leitern abnehmen, da die Reihenimpedanz der Leiter von einem geringeren Gesamtstrom durchquert wird. In Realität wird nicht die gesamte Wirkenergie eingespart, da die geringere Verlustleistung auf den Leitern zu einem geringeren Spannungsabfall an der Last führt, was bei ohmschen Lasten eine größere Energiedissipation bedeutet.

Es ist klar, dass in diesem Fall die überschüssige Energie für die Last positiv ist, es sei denn, es handelt sich um dauerhafte Überspannungen. Im ersten Fall wird das gesamte System vor der Last und nach dem Generator umgeschaltet, sodass sich die Kosten am Ausgang des Generators verbessern, aber nicht notwendigerweise in jedem Glied des Kreislaufs. Im zweiten Fall werden die Lasten einzeln umgeschaltet, was zu einer Verbesserung der Gesamtkosten nach dem Generator führt, und im dritten Fall gibt es eine Mischlösung aus den ersten beiden. Normalerweise wird die Blindleistungskompensation von Lasten dadurch erreicht, dass ein Blindleistungsgenerator parallel zu den Lasten in Gegenphase zur Blindleistung der Last geschaltet wird, sodass die Ausgangsblindleistung aufgehoben wird. Der einfachste Erzeuger von Blindleistung in Sinusstromkreisen ist der Kondensator, daher werden ein oder mehrere Kondensatoren parallel zu den Lasten geschaltet, um eine Kostenverbesserung zu erzielen. Es gibt jedoch

auch andere Techniken wie statische Kompensatoren oder Aktivfilter.

### 3.3 HARMONISCHE FILTERUNG

Die Filterung von Oberschwingungen in Stromnetzen erfolgt in der Regel durch den Einbau von Geräten in den Stromkreis, um die gesamte harmonische Verzerrung des Stroms zu verringern und damit auch die Verzerrungseffekte auf die Spannung zu verbessern. Es gibt 2 Hauptkategorien von Filtern, die für diesen Zweck geeignet sind:

- **Passivfilter**
- **Aktivfilter**

Im ersten Fall gibt es eine weitere Unterscheidung zwischen abgestimmten und induktiven Filtern. Abgestimmte Filter sind spezielle rlc-Filter, die auf eine bestimmte Frequenz abgestimmt und in der Regel mit Masse verbunden sind. In einigen Fällen können auch Bandpass- oder Hochpassfilter verwendet werden, um für Störungen bei diesen Frequenzen einen niederohmschen Weg zur Masse zu schaffen und Störungen an ihrer Quelle zu beseitigen. Bei den Netzdrosseln hingegen ist das Prinzip das der LR-Tiefpassfilter, d. h. die Netzdrossel bildet mit dem nachgeschalteten ohmschen Kreis einen

Tiefpassfilter, der bei Frequenzen fern von 50 Hz keine Leistung durchlässt. Diese Art von Lösung verbessert natürlich die Situation an der Last, indem sie den Gesamtverzerrungsfaktor verringert, aber aus der Sicht der Energiebilanz

bleibt die Situation unverändert, da die Störungen nach dem Durchqueren des Zählers in die Erde geleitet werden und daher die in die Erde abgeleitete Energie weiterhin berücksichtigt wird. Aktivfilter sind aus Sicht der Last parallele Stromgeneratoren, die einen Strom einspeisen, der gleich und entgegengesetzt zu dem der verzerrenden Last außerhalb des Bandes ist, und so die von den Lasten erzeugten Oberschwingungsströme auslöschen.

Zur korrekten Einspeisung dieser Ströme sind natürlich sehr hohe Schaltfrequenzen erforderlich, die mehr als das Doppelte der Frequenz der maximalen Kompensationsoberschwingung betragen, sodass sie besonders effiziente und schnelle interne Bauelemente benötigen, in der Regel werden IGBTs verwendet, um mit der geforderten Schaltfrequenz zu arbeiten. Das macht solche Geräte natürlich besonders teuer. Darüber hinaus ist die Situation aus Sicht der Energiebilanz ähnlich wie bei Passivfiltern, da je nach Wirkungsgrad der Filter i eine entsprechende Menge an Leistung aufgenommen wird, um Störungen zu kompensieren. Das Interessante daran ist, dass Aktivfilter auch die Systemkosten verbessern können, da sie auch als Blindleistungsgeneratoren fungieren. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass Filter mit unterschiedlichen Kapazitäten parallel geschaltet

werden können, ohne dass die Schaltung gestört wird oder die Gefahr einer Resonanz besteht.

### 3.4 EMI-FILTER

Der EMI-Filter ist ein Passivfilter, der in den meisten elektronischen Geräten zu finden ist und dafür sorgt, dass diese Geräte die Vorschriften zur elektromagnetischen Verträglichkeit einhalten, insbesondere die Vorschriften zu leitungsgebundenen Emissionen. Der EMI-Filter ist im Wesentlichen ein Tiefpassfilter, der als letzte Stufe zwischen das Gerät und die Stromversorgung geschaltet wird, um die Rauschkomponenten zu dämpfen, die jedes elektronische Gerät tendenziell abgibt. Natürlich muss der Filter bei der Netzfrequenz (50-60 Hz) durchlässig sein, damit das Gerät ordnungsgemäß funktionieren kann, während er in dem von der Norm festgelegten Frequenzbereich (150kHz-30MHz) agieren muss.

### 3.5 VERBRAUCHSPROFILIERUNG

Es gibt eine Reihe von Geräten auf dem Markt, die es ermöglichen, ein Profil des Nutzerverbrauchs zu erstellen, d. h. zu verstehen, wie die Nutzer in einem bestimmten Zeitraum Strom verbrauchen. Natürlich führen solche Systeme per se nicht zu einer Verbesserung des Stromverbrauchs des Nutzers, aber sie haben 2 wesentliche Auswirkungen, die eine Optimierung des Verbrauchs ermöglichen:

- Das Verbrauchsbewusstsein der Nutzer kann zu mehr Aufmerksamkeit und Einsparungen führen.



- Die Einführung eines Expertensystems, das diese Daten analysiert und verarbeitet, kann zu einem effizienteren Energiemanagement und erheblichen Einsparungen führen, ohne dass die Verbrauchsgewohnheiten geändert werden müssen.

## 4. ANT

### 4.1 AUSGANGSÜBERLEGUNGEN

Bevor wir auf die Vorzüge des Projekts eingehen, ist es sinnvoll, einige Klarstellungen zu den in den vorangegangenen Kapiteln behandelten Problemen und den derzeit auf dem Markt befindlichen Lösungen vorzunehmen.

Wir haben uns anschließend mit Systemen zur Spannungsoptimierung befasst, von denen es verschiedene Typen auf dem Markt gibt. Es handelt sich dabei in der Praxis um Geräte, die einfach die Netzspannung reduzieren, manche statisch, andere dynamisch, letztere einschließlich Spannungsstabilisatoren. Es ist klar, dass in diesem Fall ein System zur Spannungsoptimierung nützlich sein könnte, um Geld zu sparen, aber man muss sehr vorsichtig sein, wie es funktioniert. Eine statische Absenkung der Spannung ist sicherlich keine effiziente Lösung, da das Anheben oder Absenken der Spannung gewöhnlich von den Lastbedingungen abhängt. Natürlich muss

man in diesem Fall auch auf den Zustand der Zuleitung achten, da dies zu Betriebsproblemen führen oder die Verbraucher beschädigen könnte. In der Praxis kann eine Überspannung oder eine dauerhafte Unterspannung für ein System positiv oder negativ sein, je nachdem, ob es sich um Lasten mit variabler Leistung oder um Lasten mit konstanter Leistung handelt (gespeist – nichtlinear), deren korrekte Funktionsweise nicht von vornherein vorhergesagt werden kann.

Anschließend haben wir uns mit der Blindleistungskompensation und den Filtersystemen befasst, auch hier gibt es hinsichtlich der Energie- und Anlagensicherheit viel zu klären. Nehmen wir insbesondere den Fall eines Systems mit einer überwiegend ohmsch-induktiven Last und einer dauerhaften Überspannung an. In diesem Fall kommt es je nach Leistungsfaktor der Last zu einem Spannungsabfall von einem bestimmten Wert zwischen dem Generator und der Last. Dieser Spannungsabfall könnte die Last auf den Nennspannungswert bringen. Die Installation eines Leistungsfaktorkorrektur- und Filtersystems bringt als Vorteil eine Erhöhung des Leistungsfaktors, daher eine geringere Stromzirkulation im Serienzweig des Stromkreises und daher eine Erhöhung der Nutzspannung an der Last. Letzteres führt sehr oft zu einer größeren Verschwendung von Wirkenergie, die vom Verhältnis der Leitungsimpedanz zur Lastimpedanz abhängt. Dasselbe gilt, wie wir aus den Simulationen ersehen konnten, für den Oberschwingungsbeitrag zu den Netzströmen und -spannungen. In diesem Fall

akzentuiert und verschärft durch die Tatsache, dass bei Vorliegen von Oberschwingungsstörungen auch das Problem der Sicherheit der Lasten und des gesamten Systems besteht.

Das Projekt ANT ist aus dem Bedürfnis entstanden, die positiven Beiträge der einzelnen in Frage kommenden Technologien in einem einzigen Produkt zu vereinen. Die eigentliche Neuheit und der wichtigste Mehrwert des Produkts liegt in seinem dynamischen Ansatz für das Lastmanagement: Das Gerät ist in der Lage, das Stromnetz, an das es angeschlossen ist, sowohl hinsichtlich der Stromversorgung als auch der Last von Augenblick zu Augenblick zu analysieren und die Lasten in jeder Betriebskonfiguration optimal zu versorgen. Das Gerät ist in der Lage, die Netzparameter mit einer Genauigkeit von 0,1 % sowohl im Spannungs- als auch im Stromspektrum zu analysieren. Durch die Analyse des Emissionsgrades der Lasten ist es in der Lage, die interne Zusammensetzung des Netzes zu verstehen und den Beitrag der einzelnen Impedanzen zu interpretieren, insbesondere den Unterschied zwischen den Lastimpedanzen und den Übertragungs- und Störimpedanzen, so dass das Gerät in der Lage ist, die Leistungsübertragung auf die Lastimpedanzen zu optimieren und die Übertragungs- und Störverluste zu minimieren.

Das Projekt ANT wurde als Antwort auf die wachsende Notwendigkeit der Optimierung der Leistungsübertragung zwischen einem Stromerzeuger und einem Netz von daran angeschlossenen Verbrauchern entwickelt.

Unter Optimierung verstehen wir in diesem Zusammenhang eine Reihe von Maßnahmen zur Verbesserung der Netzqualität am Eingang des Netzes und zur Kompensation der negativen Auswirkungen durch die Einspeisung von Lasten, wie wir in den analysierten Simulationen gesehen haben.

Es ist darauf hinzuweisen, dass es in der derzeitigen Zusammensetzung des Systems keine gleichwertigen Alternativlösungen gibt. Es gibt jedoch Ersatzprodukte, die der vorgeschlagenen Lösung nahe kommen.

## 4.2 AKTUELLES PROJEKT / GERÄTEBESCHREIBUNG

System zur Anpassung der Impedanz elektrischer Verbraucherstromkreise an die Impedanz des Generators, zur Verbesserung der Effizienz von Installationen, zum Schutz von Geräten und zur Energieeinsparung.

Sobald das Gerät an das Stromnetz angeschlossen ist, kann es alle Betriebsparameter des Netzes analysieren, sowohl die externe Stromqualität als auch interne Störfaktoren. Es kann Störungen dämpfen und die Energie nutzen, um die Spannung und den internen Stromfluss zu optimieren. Es ist zudem in der Lage, das Lastprofil auf den Phasen und die Versorgungsspannungen auszugleichen, so dass es auch in der Lage ist, die 3 Phasenströme auszugleichen. Das Betriebsprofil ist vollständig konfigurierbar und kann auch aus der Ferne verwaltet werden, ebenso wie die Daten der Netzanalyse.

Das Produkt umfasst die Basisvariante mit der Bezeichnung ANT Version 2.1, die TG-Variante, die die

oben näher beschriebenen Fernsteuerungsfunktionen des Geräts enthält, und die TL-Variante, die die oben näher beschriebenen Fernlesefunktionen enthält.

Das Gerät ist an das System anzuschließen, unabhängig davon, ob es sich um einen Haushalt oder ein Unternehmen handelt, und zwar hinter dem Zähler und dem Eingang zur Hauptverteilungsleitung. Sobald es an den Stromkreis angeschlossen ist, kann es die Impedanz berechnen, die das Messgerät gegenüber dem Stromkreis aufweist, und diese Impedanz optimieren, um die Energieübertragung zwischen dem Messgerät und dem System zu verbessern, wodurch der Energieverlust des Systems aufgrund von Faktoren, die nicht auf die Verwendung der Geräte zurückzuführen sind, wirksam verringert wird. Darüber hinaus wirkt das Gerät auch als Netzqualitätsoptimierer in Bezug auf die ankommende Leitung. Die Stromqualität ist die Eigenschaft des Stromnetzes, Strom effizient an die Verbraucher zu übertragen und Verschwendung so weit wie möglich zu vermeiden.

### **Fernsteuerung**

Das ferngesteuerte Gerät verfügt über alle Grundfunktionen und bietet darüber hinaus die Möglichkeit der vollständigen Fernsteuerung aller installierten Geräte. Die Fernsteuerung der Geräte ist sehr wichtig für die Verbesserung der Betriebsparameter der Geräte, da die Möglichkeit besteht, jedes einzelne Gerät aus der Ferne entsprechend der Standardbetriebssituation neu zu konfigurieren. Darüber hinaus ist es durch die Fernsteuerung möglich,

sich jederzeit vom eigenen Büro aus ein vollständiges Bild von der Betriebssituation der Geräte zu machen und, falls erforderlich, jedes Gerät zu umgehen, indem es vom System, an das es angeschlossen ist, getrennt wird. Zudem besteht die Möglichkeit, im Falle eines Geräteausfalls über die Art der aufgetretenen Störung informiert zu werden, und wenn ein Teil im Inneren des Geräts defekt ist, kann man im Voraus wissen, welches Teil ausgetauscht werden muss, und einen präziseren und effizienteren Service anbieten, natürlich mit der Möglichkeit, den Kunden direkt zu kontaktieren und ihn darüber zu informieren, dass eine Störung aufgetreten ist und ein Service angeboten wird.

### **Überwachung**

Das Produkt verfügt natürlich über ein internes Sensornetz, das die Funktion aller einzelnen internen Komponenten überprüft, um alle Betriebsparameter des Geräts zu überwachen, und ist daher in der Lage, Anomalien oder Fehlfunktionen des Systems sofort zu erkennen und dem Kundendienst das aufgetretene Problem und die möglichen Lösungen zur raschen Behebung des Problems anzuzeigen.

### **Software**

Aus architektonischer Sicht besteht das ferngesteuerte Produkt aus einem zentralen, dedizierten Server, der mit allen Geräten kommuniziert, sodass die Situation und die Betriebsparameter aller angeschlossenen Geräte immer deutlich sind. Das Unternehmen hat zudem die

Möglichkeit, jederzeit über eine Software den Status aller Geräte zu überprüfen, die Konfiguration jedes einzelnen Geräts zu ändern und es gegebenenfalls vom System zu trennen, und zwar auf einfache und schnelle Weise. Es besteht auch die Möglichkeit, anderen Nutzern, die einzelne Zonen betreuen, eine spezielle Software zur Verfügung zu stellen, mit der sie alle Geräte in ihrer Zone steuern können. Natürlich erhalten in jedem Fall sowohl das Unternehmen als auch der Dienstleister Benachrichtigungen über mögliche Fehlfunktionen der Geräte und ggf. die zu bearbeitenden Service-Tickets.

### **Fernablesung**

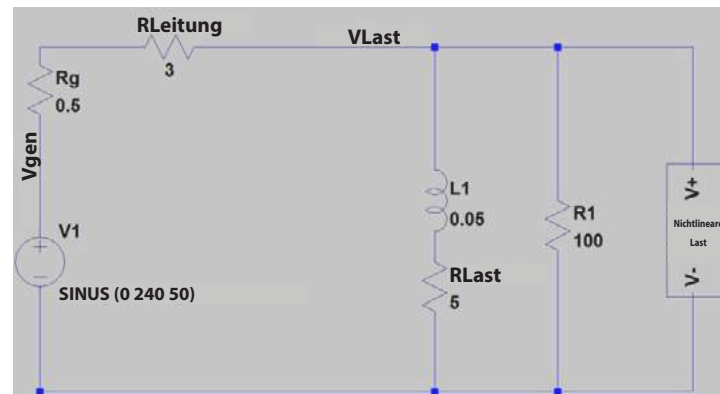
Das Produkt mit Fernablesung beinhaltet alle Funktionalitäten des ferngesteuerten Produkts, mit der Möglichkeit, auch alle Verbrauchsdaten der Nutzer zur Verfügung zu haben, alles auf einer einzigen, einfachen und funktionalen Plattform. Die Fernauslesefunktionen sind für das Unternehmen zugänglich, können aber auch, je nach Ermessen des Unternehmens, dem Servicenetz zur Verfügung gestellt werden, vor allem aber den einzelnen Nutzern, die das Gerät besitzen. Die Nutzer können ihre Verbrauchsprofile sowohl über das Internet auf der Website des Unternehmens als auch über Smartphones und Tablets mit einer einfachen und intuitiven Schnittstelle bequem abrufen. Die große Neuheit ist, dass dank des Systems nicht nur der Stromverbrauch, sondern auch der Wasser- und Gasverbrauch überwacht werden kann, und dass es sogar möglich ist, die Produktionsdaten aller Anlagen für erneuerbare Energien in der Immobilie zu steuern,

wie z. B. Photovoltaik, Mini-Windkraft, Solarthermie und andere Systeme.



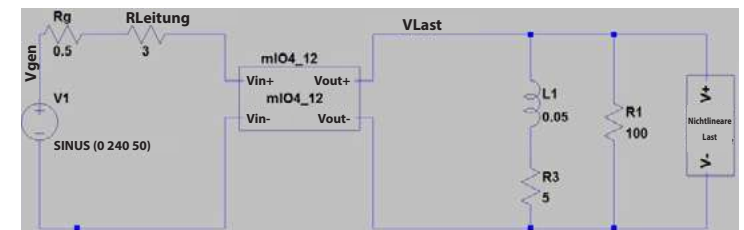
## 4.2 AUSLEGUNGSDATEN UND SIMULATIONEN

Sehen wir uns nun an, wie das System mit dem Stromnetz interagiert, indem wir eine reale Situation simulieren, in der dauerhafte Überspannungsphänomene, Phasenverschiebungen und das Vorliegen nichtlinearer Lasten bestehen. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, berücksichtigen wir in diesem Fall nicht die Nichtlinearität der Stromversorgungsleitung, d. h. es werden keine Störungen von außen berücksichtigt, sondern nur die in der internen Leitung erzeugten Störungen:



Vom Generator gelieferte Leistung: 1094 W

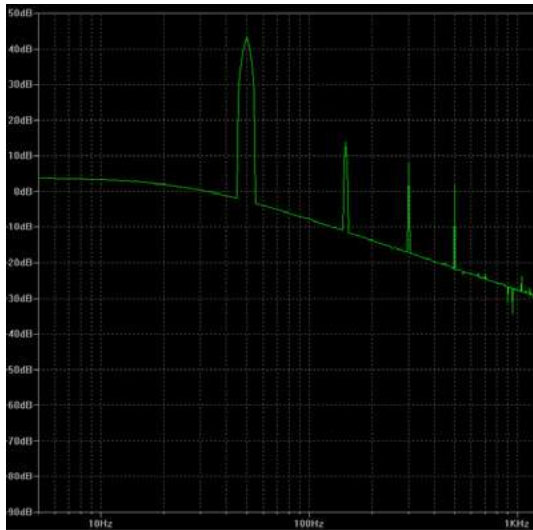
Von der Last aufgenommene Leistung: 738 W



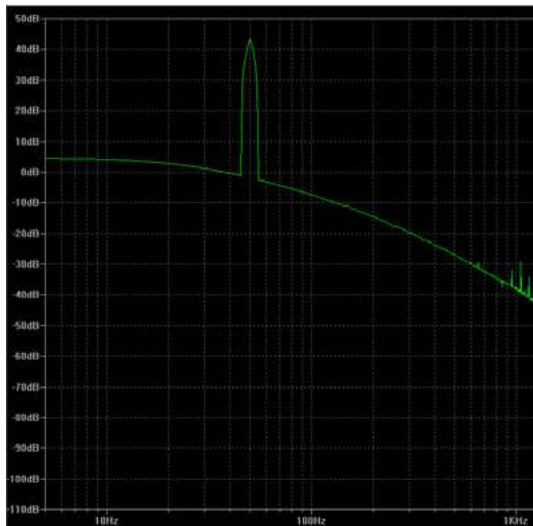
Vom Generator gelieferte Leistung: 843 W

Von der Last aufgenommene Leistung: 756 W

Oberschwingungsanalyse der Versorgungsspannung der Last (V<sub>Last</sub>):

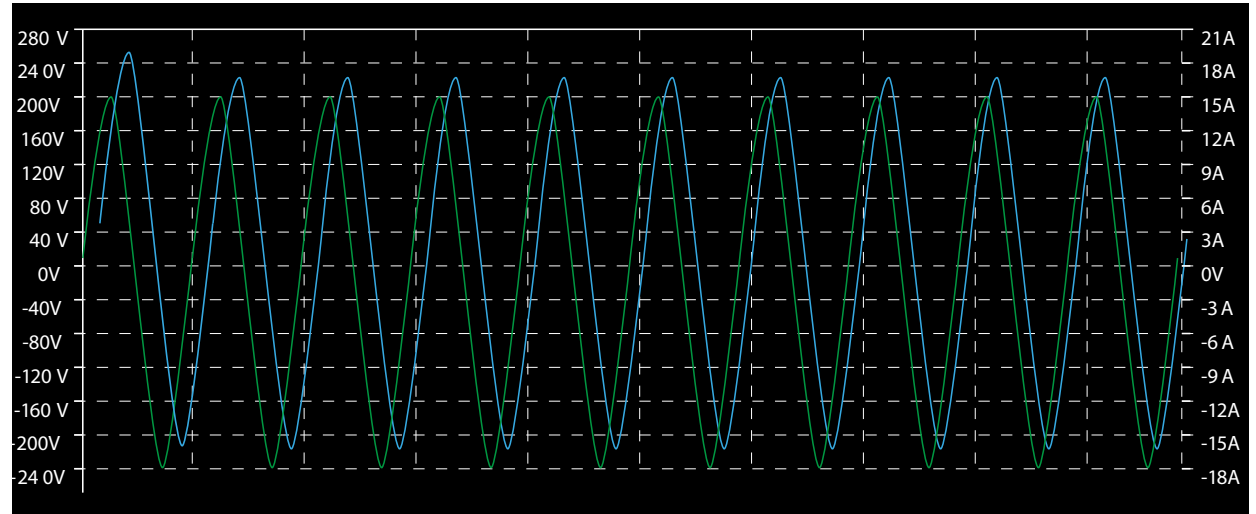


Gesamte harmonische Verzerrung: 3,479955 %

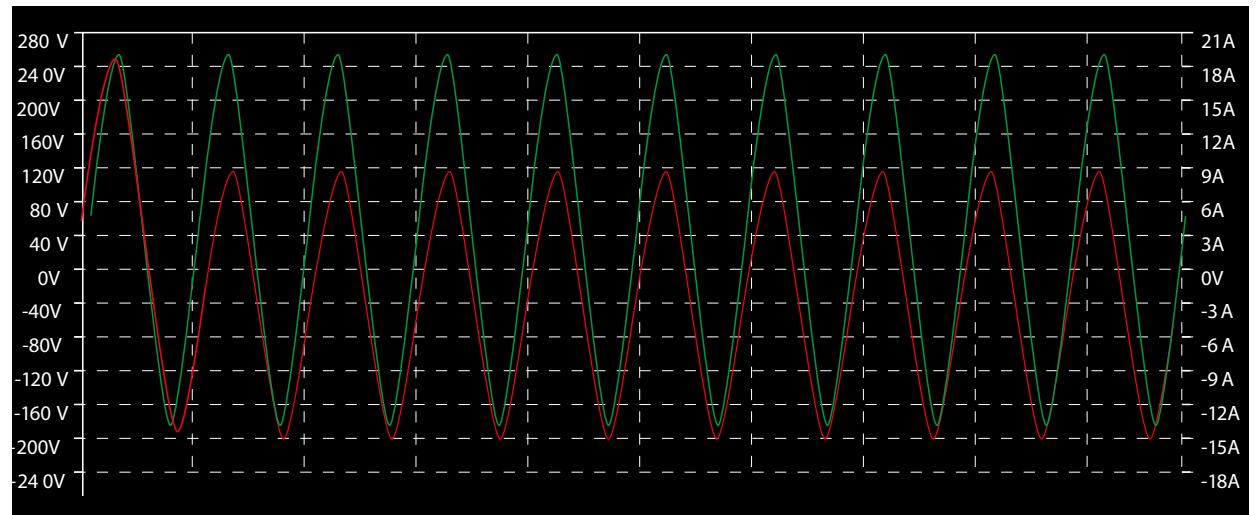


Gesamte harmonische Verzerrung: 3,479955 %

Die resultierenden Wellenformen:  
Ohne ANT:



Mit ANT



## ANT-Einspeisungswirkungen

	Ohne ANT	Mit ANT
Versorgungsspannung:	240 V	240 V
Netzstrom:	10 A	5 A
Leistungsfaktor:	0,64	0,99
Gesamte harmonische Verzerrung:	3,5 %	0,01 %
Vom Generator gelieferte Wirkleistung:	1094 W	843 W
An der Last abgegebene Wirkleistung:	738 W	756 W

### ÜBERLEGUNGEN

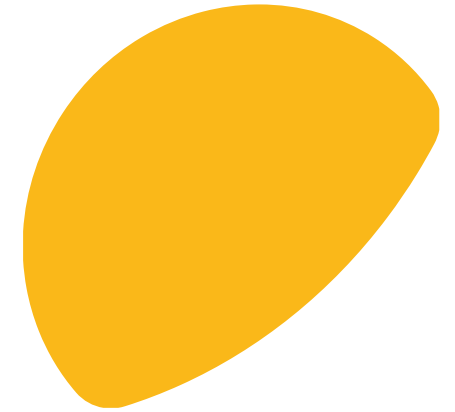
- Die vom Generator ohne das System abgegebene Wirkleistung beträgt mehr als 18 %;
- Der Wirkungsgrad auf die Last beträgt bei Systemaktivierung etwa 3%
- Die gesamte harmonische Verzerrung der Spannung an der Last ist beim Einschalten des Geräts vernachlässigbar, andernfalls würde sie etwa 3,5 % betragen. So wird die Last des Systems (50 Hz) auf über 3 % optimiert.
- Der Leistungsfaktor des Stromkreises steigt deutlich an und nähert sich dem maximal zulässigen Wirkungsgrad.
- Der Umlaufstrom ist nach dem Einschalten der Anlage um etwa 50 Prozent geringer und damit sind auch die Verluste auf dem Kabel deutlich geringer.

» **ESE**  
**buchstabiert,**  
**gelesen EASY,**  
**einfach** wie man  
Energie spart.





» Entdecken Sie  
die Welt von ESE  
und alle Möglichkeiten  
für Ihr Unternehmen!





***Eingetragener Sitz***  
Corso Giuseppe Garibaldi 86  
20121 Mailand (MI) Italien

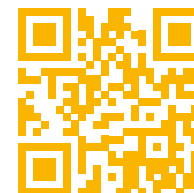
***Verwaltungssitz***  
Via San Martino, 87  
Parco dei Ciliegi  
82016 Montesarchio (BN) Italien

+39 02 87.368.229  
+39 02 87.368.222

info@ese.energy  
technische Unterstützung  
service@ese.  
energy Steuernummer:

08999150967  
Firmenregister: MI2061570

[www.ese.energy](http://www.ese.energy)  
Folgen Sie uns auf  



Scannen Sie den QR-Code  
und entdecken Sie **ESE.**  
**ENERGY**