Zusammenfassung Leistungsberechnung bei nicht sinus-förmigen Grössen (Power Elektronik)

Alex Murray

In aet1 und aet2 hatten wir gelernt, die Blindleistung, Wirkleistung und Scheinleistung in Funktion von Strom- und Spannungsspitzenwert und deren Phasenverschiebung φ zu berechnen. Wir hatten auch gelernt, dass $\cos\varphi$ der Leistungsfaktor ist.

Dies funktionierte nur mit der Annahme, dass Strom und Spannung rein sinusförmige Funktionen waren. Bei der Leistungselektronik ist dies häufig nicht mehr der Fall. Baugruppen wie zum Beispiel Gleichrichter oder Schaltwandler verzerren Strom und Spannung, sodass Oberschwingungen entstehen.

Die Phasenverschiebung kann schlecht definiert werden. Man spricht nicht mehr von $\cos\varphi$, sondern vom Leistungsfaktor λ, welcher aus dem Verhältnis $\frac{Q}{P}$ berechnet wird. Die Berechnung von Q und P muss neu hergeleitet werden.

In diesem Versuch geht es um die Leistungsberechnung von nicht-Sinusförmigen grössen. Es wird auch behandelt, wie anhand der Fourierreihe ein Signal zerlegt werden kann, um die Leistung in eimen Frequenzabhängigen Widerstand zu berechnen.

In der ersten Aufgabe sind zwei periodische Signale vorgegeben, ein Spannungssignal und ein Stromsignal. Der lineare Mittelwert wird berechnet, indem man das Signal über eine Periode integriert und durch die Periodenlänge teilt. Bei einem sinusförmigen Signal würde aus dieser Berechnung natürlich Null resultieren. Der Effektivwert wird ähnlich berechnet: Das *Quadrat* des Signals wird über eine Periode integriert, durch die Periodenlänge geteilt, und dann wird die Wurzel gezogen. Bei einem Sinusförmigen Signal würde aus dieser Berechnung der wohlbekannte Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ entstehen.

Weil das Stromsignal einweggleichgerichtet wurde (vermutlich), entsand aus dieser Berechnung auch der Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$, nur durch zwei geteilt weil die Hälfte des Signals fehlt.

Als nächstes mussten die Blind-, Wirk-, und Scheinleistungen allgemein (und somit auch der Leistungsfaktor λ) in Funktion der Verschiebung θ berechnet werden.

Die Scheinleistung ist unabhängig von θ und lässt sich aus den Effektivwerten von Strom und Spannung berechnen.

Die Wirkleistung wird berechnet, indem die Momentanleistung $(u(t) \cdot i(t))$ über eine Periode integriert wird und durch die Periodendauer geteilt wird (arithmetischer Mittelwert). In diesem Fall ergibt sich eine Cosinusfunktion mit Offset. Die Wirkleistung wird bei einem θ von exakt einer halben Periodendauer (180°) Null. Der Maximalwert entspricht der Leistung der ersten Harmonischen.

Die Oberwellen des Rechtecksignals haben keinen Einfluss auf die Wirkleistung. Dies zeigt, dass die Wirkleistung bei Signalen mit Oberwellen nie der Scheinleistung entspricht und immer Blindleistung vorhanden ist.

Die Blindleistung wird nach wie vor mit der Formel von Pythagoras aus S und P berechnet. Der Leistungsfaktor ist bei $\theta = 0°$ am grössten und bei $\theta = 180°$ ist sie Null.

Für die Berechnung der Fourierkoeffizienten a_k und b_k wurden die Integralgrenzen so gewählt, dass die Funktion gerade wird. Die b_k Koeffizienten einer geraden Funktion sind Null. Für die Periodendauer wurde 2π gewählt. Die Fourierkoeffizienten des Stromsignals wurden unabhängig von der Verschiebung berechnet.

Aus den Fourierkoeffizienten lassen sich die Amplitude und die Phase der Oberwellen berechnen. Dabei können die koeffizienten a_k und b_k zu $\underline{c}_k$ (komplexe Zahl) umgerechnet werden um sich das Leben zu vereinfachen. Dabei ist aufgefallen, dass die Amplitude der einzelnen Harmonischen unabhängig von θ ist. Die Phase jedoch nicht.

Im zweiten Teil des Versuchs ist ein Stromverlauf gegeben, der durch einen frequenzabhängigen Widerstand fliesst. Die Frequenzabhängigkeit ist durch den Skineffekt gegeben.

Der Effektivwert des Stromes wird zuerst nach der "klassischen Methode" berechnet. Der erhaltene Wert gilt natürlich nur bei frequenzunabhängigen Widerständen. Nach der "richtigen" Methode muss die die Fourierreihe des Stromes berechnet werden. Da in diesem Fall die Funktion wieder gerade ist, sind alle b_k Koeffizienten Null. Zur Berechnung des Leistungsspektrums wird für jede Harmonische der Widerstand ausgerechnet. Da das Amplitudenspektrum die Spitzenwerte anzeigt müssen die Werte in Effektivwerte umgerechnet werden (mit Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ skalieren). Im Leistungsspektrum ist gut zu sehen, dass die erste Oberwelle die grösste Leistung liefert. Die Werte streben bei steigender Ordnungszahl schnell nach Null.

Im Vergleich zur "klassischen Methode" ist der "richtige" Effektivwert etwa um den Faktor 4 grösser. Die Spannung über dem Widerstand sieht recht verzerrt aus. Jeweils zu den Zeiten, bei denen die Steigung des Stromes ändert, gibt es einen grossen Spannungspeak.

Für die Ermittlung von allgemeinen Formeln wurde mupad eingesetzt. Die numerische Berechnung der Fourierkoeffizienten und die grafische Darstellung erfolgten mit MATLAB.

In diesem Versuch lernte ich zum ersten Mal, dass $\cos\varphi$ nur bei harmonischen Spannungs- und Stromverläufe Bedeutung hat. Bei verzerrten Signalen muss auf die allgemeine Methode mit Integralrechnungen zurückgegriffen werden. Ich hatte mich bis jetzt nicht mit Leistungselektronik auseinandergesetzt, doch ich fand den Versuch interessant und ich konnte dabei Neues lernen.