

Messung der frequenzcharakteristiken von passivfilter mittels des lehrsystems rc2000

Einleitung

In ganzer Reihe von Stromkreisen ist es notwendig, eine bestimmte Frequenz oder einen bestimmten Frequenzbereich zu unterdrücken oder hervorzuheben. Zur Realisierung dieser Anforderung nutzen wir meistens die Frequenzabhängigkeiten jeweiliger Elemente, nämlich einer Spule und eines Kondensators. Bei ihrer günstigen Anordnung, bzw. mit ihrer Kombination mit Widerständen, ist es möglich, bei geeigneter Größe des Widerstandes, der Induktivität der Spule und der Kapazität des Kondensators, sehr gute Ergebnisse zu erreichen.

Im Hinblick auf die entworfene Stromkreisanordnung und auf die entsprechenden Größen R , L und C ist es weiter notwendig, die Frequenzeigenschaften der zusammengesetzten Stromkreise zu überprüfen. Nachfolgend sind die Stromkreise in der Industriepraxis oder im Unterricht auszunutzen. In dieser Hinsicht ist das Modular-Bausteinsystem rc2000 für den Unterricht sehr tauglich und operativ. Man benutzt sein Messelement ADDU, das mit einem PC und einem entsprechenden Programm verknüpft ist. Diese Anordnung ermöglicht jeweilige Stromkreise sehr anschaulich zusammensetzen, mit den Stromkreisen zu experimentieren und die Frequenzeigenschaften graphisch darzustellen.

1. Grundtypen der Filter

Als **Filter** bezeichnet man Stromkreise, deren Aufgabe ist, das gewünschte Signal aus einer Mischung von Signalen aufgrund seiner Frequenzeigenschaften auszuwählen, dieses Signal zum Ausgang des Filters mit einer minimalen Schwächung durchzulassen und die anderen Signale, die die gewünschten Eigenschaften nicht erfüllen, mit einer maximalen Schwächung zu unterdrücken. Filter, die nur aus passiven Bausteinen zusammengesetzt sind, nennt man **Passivfilter**. Filter, die das Signal vom Eingang zum Ausgang übertragen, bezeichnet man als **Vierpole**. Fließt durch die beiden Klemmen des gleichen Paares der gleiche Strom, handelt es sich um sogenannte **Doppelschnittstelle**. Vollständigkeitshalber sind auch **Mehrschnittstellen** (z.B. *adder* bzw. *hub* in der Fernstechnik) zu erwähnen, auf die wir aber im weiteren Text nicht näher eingehen.

Die Eigenschaften der Doppelschnittstellen können wir graphisch mittels **Frequenzcharakteristiken** darstellen. Die **Übertragungsfunktion** ist mit der folgenden Gleichung angesetzt:

$$F(j\omega) = |F(j\omega)|e^{j\varphi(\omega)} \quad (1)$$

Die graphische Darstellung der Funktion $|F(j\omega)|$ für den **Frequenzbereich** $0 < \omega < \infty$ nennt man **Frequenzcharakteristik der Amplitude**, die graphische Darstellung der Funktion $\varphi(\omega)$ für den gleichen Frequenzbereich nennt man **Frequenzcharakteristik der Phase**, oder häufiger nur **Phasengang**. Anstatt der unabhängig variablen **Kreisfrequenz** ω können wir zu größerer Anschaulichkeit auch die unabhängig variable **Frequenz** f angeben.

Die Darstellung der Frequenzcharakteristik der Amplitude kann man vereinfachen, indem man den wirklichen Graph der Funktion durch **Asymptoten** ersetzt. Dann sind die Werte der Übertragungsfunktion in Dezibel angegeben, die Neigungen der Asymptoten sind in Dezibel pro Dekade angegeben.

Gemäß dem Spektrum der Signale und der Schwächung am Ausgang des Filters sind vier Grundtypen der Frequenzfilter zu unterscheiden:

- 1) **Tiefpassfilter** lässt Signale bis zu einer Grenzfrequenz f_{max} und tiefere Frequenzen mit einer minimalen Schwächung durch, alle anderen Signale mit Frequenzen höher als f_{max} werden abgeschwächt.
- 2) **Hochpassfilter** lässt Signale ab einer Grenzfrequenz f_{min} und höhere Frequenzen mit einer minimalen Schwächung durch, alle anderen Signale mit Frequenzen niedriger als f_{min} werden abgeschwächt.
- 3) **Bandpassfilter** lässt Signale ab einer minimalen Grenzfrequenz f_{min} bis zu einer maximalen Grenzfrequenz f_{max} mit minimaler Abschwächung durch, alle anderen Signale außerhalb des Frequenzintervalls von f_{min} bis f_{max} werden abgeschwächt.
- 4) **Bandstopffilter** schwächt Signale ab einer minimalen Grenzfrequenz f_{min} bis zu einer maximalen Grenzfrequenz f_{max} ab, alle anderen Signale außerhalb des Frequenzintervalls von f_{min} bis f_{max} werden mit minimaler Abschwächung durchgelassen.

Die Frequenzcharakteristiken der Amplitude der jeweiligen Filtertypen sind in der Abb. 1 dargestellt.

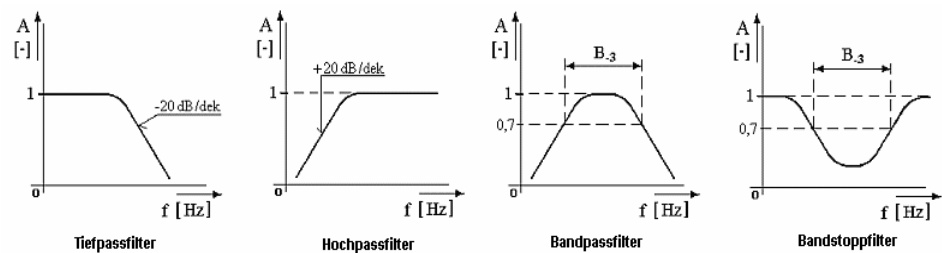


Abb. 1. Frequenzcharakteristiken der Amplitude der jeweiligen Filtertypen

Ein Tiefpassfilter ist aus einem **I-Glied** gebildet, ein Hochpassfilter aus einem **D-Glied** gebildet. Ein Bandpassfilter besteht aus einem **Wien-Glied**. Gebundene Resonanzstromkreise, zu deren auch ein **überbrücktes T-Glied** gehört, bilden einen Bandstopppfilter. Passivfilter sind aus passiven Grundstromkreisbausteinen zusammengesetzt, der Funktionswert der Übertragungsfunktion ist demnächst maximal gleich 1. Die Beispiele der Stromkreisordnung der jeweiligen Filtertypen mit Widerständen und Kondensatoren ist in der Abb. 2 dargestellt.

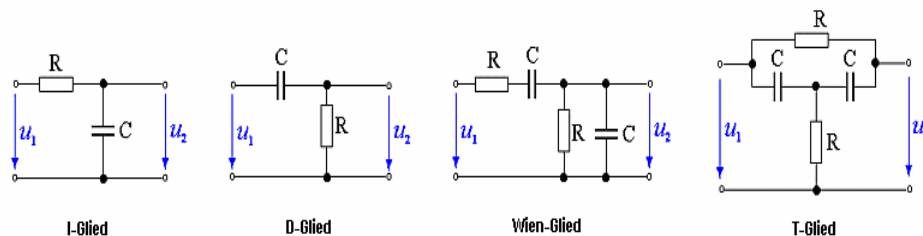


Abb. 2. Beispiele der Passivfilter mit Widerständen und Kondensatoren

Die eben beschriebenen Stromkreisordnungen der Passivfilter sind nicht die einzigen möglichen, die Stromkreise enthalten häufig nur Widerstände und Spulen, wobei durch Abnahme bzw. Zugabe einziger Wicklungen der Spule eine präzise Setzung der Grenzfrequenzen ermöglicht wird. Es gibt auch **Reaktanzfilter**, die nur aus Reaktanzbauelementen, nämlich Spulen und Kondensatoren, zusammengesetzt sind.

Neben den oben beschriebenen Passivfiltern gibt es auch **Aktivfilter**. Diese enthalten außer passiven – frequenzabhängigen Passivelementen – auch aktive Bausteine, z.B. Elektronenröhren (heute schon selten), Transistore oder Operationsverstärker, die die Verstärkung des übertragenen Signals sicherstellen. Die Übertragungsfunktion kann dann auch werte größer als 1 annehmen.

2. Experimentale untersuchung mithilfe des modularen bausatzsystems rc2000

Der idealisierte Funktionsverlauf der Frequenzcharakteristik der Amplitude eines Filters ist der Abb. 3 zu entnehmen. Selbstverständlich können wir nicht so eine Form der Charakteristik durch eine herkömmliche Schaltung der Stromkreiselemente erzielen. Das Problem besteht darin, dass es im Bereich der Grenzfrequenzen f_{min} und f_{max} zu einer sprungartigen Änderung der Übertragungseigenschaften des Filters kommen sollte, welches jedoch in der analogen Technik nicht realisierbar ist. In der analogen Technik verlaufen alle zeitabhängigen Änderungen fließend und dem idealisierten Verlauf können wir uns nur annähern. So einen Verlauf kann man jedoch in der digitalen Technik mithilfe von **digitalen Filtern** erreichen.

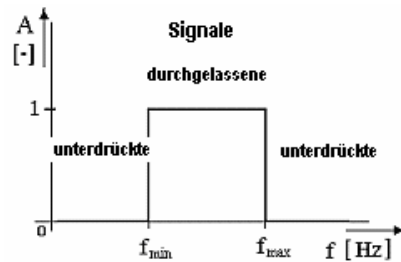


Abb. 3. Der idealisierte Funktionsverlauf der Frequenzcharakteristik der Amplitude eines Filters

Während der Messung im Lehrsystem rc2000 schalten wir im Elementmodul (*COMPONENT BOARD*) einen Filter, der mit einer harmonischen Spannung u_1 aus einem Generator (*FUNKTION GENERATOR*) gespeist ist. Zum Modul *PC INTERFACE (Analog and Digital Data Unit ADDU)* schalten wir den untersuchten Stromkreis. Der Baustein *ADDU* ist mit einem PC verbunden, wobei im PC ein Steuerprogramm läuft, welches mehrere Betriebsarten ermöglicht. Für die Messung der Tief- und Hochpassfilter wählen wir die Betriebsart *Oszilloskop im Zweikanalbetrieb* (program *OSCILLOSCOPE*) und wir führen dann die Messung der Ausgangsspannung durch. Die Ergebnisse der Messung sind in den Abb. 4 und 5 dargestellt ($R = 5\text{ k}\Omega$, $C = 100\text{ nF}$). Die Messung im Frequenzintervall nehmen wir mit Hilfe des Programms *Frequenzcharakteristik (FREQUENCY CHARACTERISTIC)* vor, welches die Messung der Frequenzcharakteristik der Amplitude und der Phase eines Stromkreises ermöglicht. Die festgestellten Reaktionen (der Ausgangsspannung) sind im System rc2000 mithilfe der Betriebsart *SEQUENCE* aufgezeichnet. Diese ermöglicht vier Graphen für unterschiedliche Werte der Bauelemente im Stromkreis (verschiedene Widerstände R) in einem Bild aufzuzeichnen, die gemessenen Werte können wir nachfolgend analysieren.

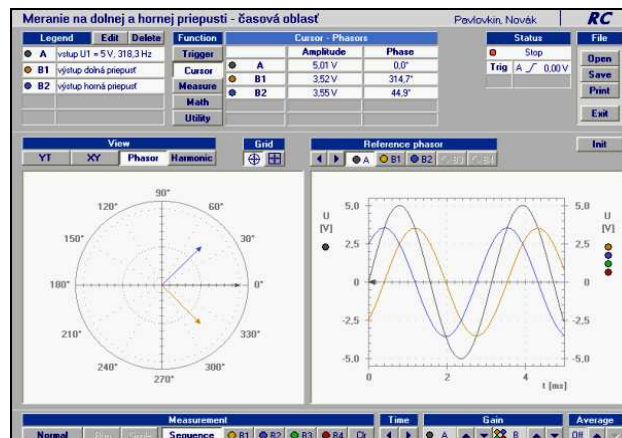


Abb. 4. Zeitabhängige Messung der des Tief- und Hochpassfilters

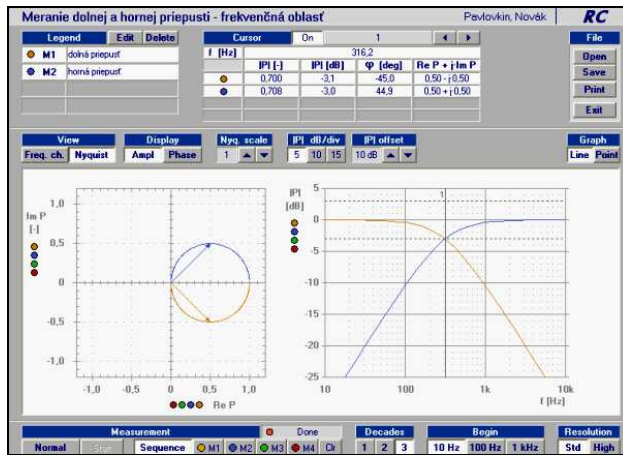


Abb. 5. Frequenzabhängige Messung des Tief- und Hochpassfilters

Bei einem Bandpassfilter haben wir im System rc2000 die beiden Charakteristiken, also die Frequenzcharakteristik der Amplitude und der Phase gemessen. Die Ergebnisse sind in den Abb. 6 und 7 aufgezeichnet.

Bei einem Bandstopffilter haben wir im System rc2000 ebenfalls die beiden Charakteristiken, also die Frequenzcharakteristik der Amplitude und der Phase gemessen. Die Ergebnisse sind in den Abb. 8 und 9 dargestellt.

Aus den graphischen Darstellungen ergibt sich, dass das Modular-Baustein-system rc2000 eine schnelle und übersichtliche Modellierung und Untersuchung aller angeführten Filter ermöglicht. Als ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit durchlaufender Änderungen der Größe eines Widerstandes und der Kapazität eines Kondensators zu nennen, gemäß den wirklichen Stromkreiselementen.

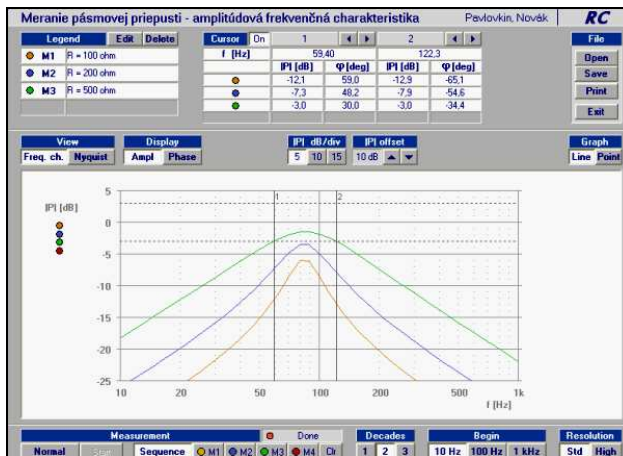


Abb. 6. Frequenzcharakteristik der Amplitude des Bandpassfilters

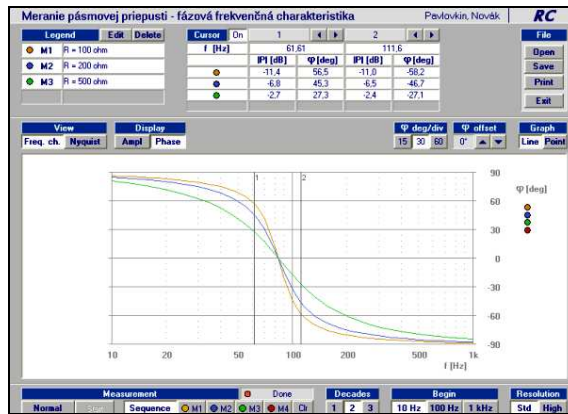


Abb. 7. Frequenzcharakteristik der Phase des Bandpassfilters

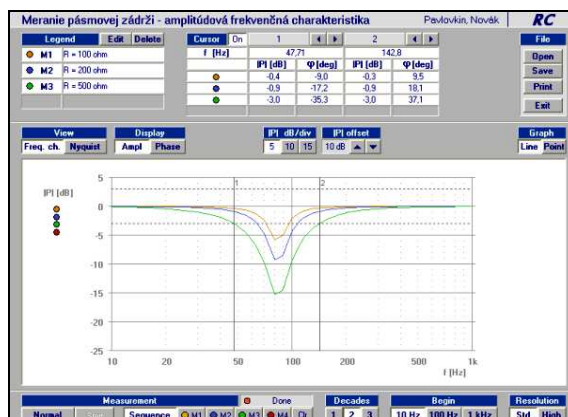


Abb. 8. Frequenzcharakteristik der Amplitude des Bandstopfilters

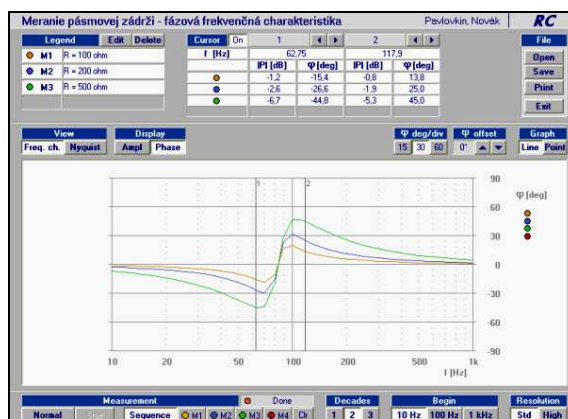


Abb. 9. Frequenzcharakteristik der Phase des Bandstopfilters

Abschluss

Die Verwendung der Frequenzfilter in Stromkreisen ist sehr umfangreich. Die Filter ermöglichen mehrfache Ausnutzung der Übertragungswege, gleichgültig ob es sich um eine Übertragung per Leitung oder per Funk handelt. Dies verbilligt die Realisierung und den Betrieb der Übertragungskanäle erheblich. Breite Möglichkeiten bieten die Filter auch auf dem Felde der Akustik, wo sie das Bass- bzw. Hörspektrum einer Aufzeichnung verstärken können. Somit können sie die Fehler eines Mikrofons oder mangelhafte akustische Bedingungen in einem Raum beheben, indem sie die unterdrückten Frequenzen hervorheben. Gleichfalls kann man die Filter zur Geräuschfiltrierung durch die Unterdrückung des akustischen Niveaus eines bestimmten Spektrums nutzen. Die gegenwärtige technologische Ebene ermöglicht auch ihre weitreichende Verwendung in der digitalen Technik.

Die Modellierung der Frequenzfilter mithilfe des Modular-Bausteinsystems rc2000 bestätigt somit ihre Verwertung sowohl in der Experimentalmethode, als auch bei der Präsentation des Lehrstoffes im Hochschulunterricht.

Die Verfasser des Aufsatzes danken der Slowakischen Grantagentur KEGA für die finanzielle Förderung der Forschung (Grant Nr. 005UMB-4/2011).

Literature

- Hubert Ch.I. (1982), *Electric circuits AC/DC*, New York: McGraw-Hill Book Company, s. 437-455. ISBN 0-07-030845-4.
- Pavlovkin J. (2007), *Počítačom podporované elektrolaboratórium využívané vo vyučovaní technických odborných predmetov*, „Acta Universitas Matthiae Belii“, Ser.: „Technická výchova“, No 7, Banská Bystrica: FPV UMB, s. 59–71. ISBN 978-80-8083-488-3.

Zusammenfassung

Der Aufsatz beschäftigt sich mit der Frequenzfilterproblematik, mit der Beschreibung, Verteilung, Zusammensetzung und Messung der Frequenzfilter mit Hilfe des Lehrsystems rc2000. Die Versuchsergebnisse, die mittels Frequenzcharakteristiken dargestellt sind, können sowohl in der Industriepraxis als auch im Elektronikunterricht ausgenutzt werden. Die breiten Möglichkeiten ihrer Ausnutzung in analogen und digitalen Stromkreisen sind ebenfalls angeführt.

Schlagerwörter: Elektronik in der Schule, Unterrichtssystem rc2000.

Mesuring of frequency characteristics of passive filters using the teaching system rc2000

Abstract

The article deals with frequency filters, with their description, sorting, composition and measurement, by means of the Teaching system rc2000. The results of experiments, which are presented using frequency characteristics, may be used both in the industry practice and electronics teaching. The wide possibilities of their use in analogue and digital circuits are also mentioned.

Key words: Electronics in school, Teaching system rc2000.

Pomiary charakterystyk częstotliwości filtrów pasywnych z wykorzystaniem systemu edukacyjnego rc2000

Streszczenie

W artykule zajęto się problematyką filtrów frekwencyjnych, ich opisem, rodzajami, zestawianiem oraz pomiarami z wykorzystaniem systemu edukacyjnego rc2000. Wyniki doświadczeń, które przedstawione są za pomocą charakterystyk częstotliwości, można wykorzystać zarówno w praktyce przemysłowej, jak i do nauczania elektroniki w szkołach. Podkreślone są szerokie możliwości wykorzystania filtrów frekwencyjnych w elektronicznych obwodach analogowych i cyfrowych.

Słowa kluczowe: elektronika w szkole, system edukacyjny rc2000.