und besitzt demnach bei tiefen Frequenzen den Wert

$$T_{gr0} = \frac{1}{\pi} \sum_i a_i ,$$

der für jede Ordnung in Abb. 11.38 mit angegeben ist. Außerdem ist die Polgüte $Q_i = \sqrt{b_i}/a_i$ angegeben. Da sie durch die Umnormierung nicht beeinflußt wird, hat sie dieselben Werte wie bei den Bessel-Filtern.

Um eine Kontrolle von aufgebauten Teilfiltern zu ermöglichen, haben wir in Abb. 11.38 zusätzlich die Größe v_i/v_g aufgeführt. Dabei ist v_i diejenige Frequenz, bei der die Phasenverschiebung des betreffenden Teilfilters −180° bei zweiter Ordnung bzw. −90° bei erster Ordnung erreicht. Diese Frequenz ist wesentlich leichter zu messen als die Grenzfrequenz der Gruppenlaufzeit.

Der Frequenzgang der Gruppenlaufzeit ist in Abb. 11.39 für Allpässe erster bis zehnter Ordnung graphisch dargestellt.

In welcher Reihenfolge man bei der Dimensionierung eines Allpasses vorgeht, soll folgendes Zahlenbeispiel erläutern: Ein Signal mit einem Frequenzspektrum von 0 bis 1 kHz soll um $t_{gr0} = 2$ ms verzögert werden. Damit keine zu großen Phasenverzerrungen auftreten, muß die Grenzfrequenz des Allpasses $v_g \geqq 1$ kHz sein. Nach Gl. (11.9a) folgt daraus die Forderung

$$T_{gr0} \geqq 2\,\text{ms} \cdot 1\,\text{kHz} = 2{,}00 .$$

Aus Abb. 11.38 kann man entnehmen, daß man dazu mindestens ein Filter 7. Ordnung benötigt. Bei ihm ist $T_{gr0} = 2{,}1737$. Damit die Gruppenlaufzeit genau 2 ms beträgt, muß nach Gl. (11.9) die Grenzfrequenz

$$v_g = \frac{T_{gr0}}{t_{gr0}} = \frac{2{,}1737}{2\,\text{ms}} = 1{,}087\,\text{kHz}$$

gewählt werden.

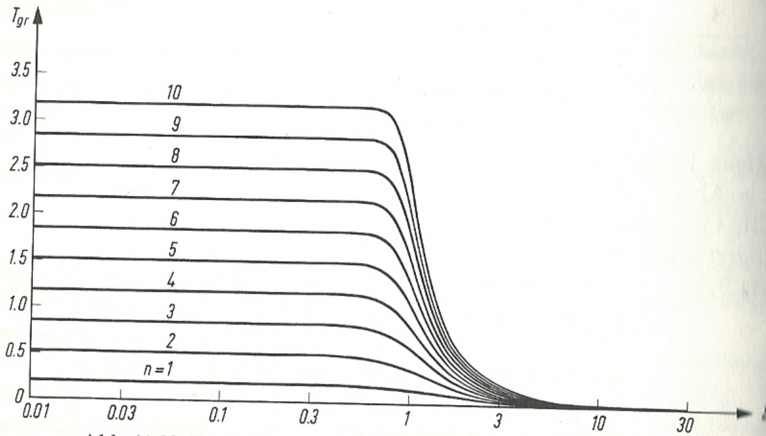

Abb. 11.39. Frequenzgang der Gruppenlaufzeit für 1. bis 10. Ordnung

11.8.2 Realisierung von Allpaß-Filtern 1. Ordnung

Wie man leicht sieht, besitzt die Schaltung in Abb. 11.40 bei tiefen Frequenzen die Verstärkung +1 und bei hohen Frequenzen −1. Die Phasenverschiebung geht also von 0 auf −180°. Die Schaltung ist dann

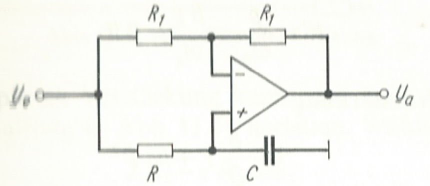

Abb. 11.40. Allpaß erster Ordnung

ein Allpaß, wenn der Betrag der Verstärkung auch bei mittleren Frequenzen gleich 1 ist. Um dies nachzuweisen, berechnen wir die komplexe Verstärkung:

$$\underline{v} = \frac{1 - pRC}{1 + pRC} = \frac{1 - RC\,\omega_g P}{1 + RC\,\omega_g P} .$$

Der Betrag der Verstärkung ist also tatsächlich konstant gleich Eins. Der Koeffizientenvergleich mit Gl. (11.25) liefert die Dimensionierung

$$RC = \frac{a_1}{2\pi v_g} .$$

Der Allpaß 1. Ordnung in Abb. 11.40 läßt sich sehr gut als Weitwinkel-Phasenschieber einsetzen. Man kann durch Variation des Widerstandes R Phasenverschiebungen zwischen 0 und −180° einstellen, ohne die Amplitude zu beeinflussen. Die Phasenverschiebung beträgt

$$\varphi = -2 \arctan (2\pi v RC).$$

11.8.3 Realisierung von Allpaß-Filtern 2. Ordnung

Einen Allpaß zweiter Ordnung kann man beispielsweise dadurch realisieren, daß man von der Eingangsspannung die Ausgangsspannung eines selektiven Filters subtrahiert. Dann wird die Verstärkung der Anordnung

$$\underline{v} = 1 - \frac{\frac{v_r}{Q} P'}{1 + \frac{1}{Q} P' + P'^2} = \frac{1 + \frac{1 - v_r}{Q} P' + P'^2}{1 + \frac{1}{Q} P' + P'^2} .$$

Man erkennt, daß sich für $v_r = 2$ die Übertragungsgleichung eines Allpasses ergibt. Sie ist jedoch noch nicht auf die Grenzfrequenz des All-