Phasenkorrektur des Entscheider-Eingangssignals stattgefunden hat, so ergibt sich bis zum nächsten Symbol die Phasendrehung

$$\Delta\psi(iT) = \Delta\omega \cdot T;$$

setzt man alle übrigen Fehlereinflüsse wie Kanalrauschen, Intersymbol-Interferenz, ungenaue Symboltakt-Synchronisation usw. zunächst zu null, so ist das Entscheider-Eingangssignal als

$$r_0(iT) = d(i) \cdot e^{j\Delta\psi(iT)}$$

zu schreiben. Das während eines Symbolintervalls entstandene Phasenfehler-Inkrement $\Delta\psi(iT)$ lässt sich aus dem Vergleich zwischen den Entscheider-Eingangs- und Ausgangsdaten abschätzen. Unter der Voraussetzung, dass keine Fehlentscheidung stattgefunden hat, d.h. $\hat{d}(i) = d(i)$, schreibt man

$$\begin{aligned} \frac{\mathrm{Im}\{r_0(iT) \cdot \hat{d}^*(i)\}}{|\hat{d}(i)|^2} &= \frac{\mathrm{Im}\{d(i) \cdot e^{j\Delta\psi(iT)} \cdot d^*(i)\}}{|d(i)|^2} \\ &= \sin(\Delta\psi(iT)) \approx \Delta\psi(iT). \end{aligned} \tag{10.3.12}$$

Eine wichtige Voraussetzung zur korrekten Schätzung des Phasenfehlers besteht darin, dass während eines Symbolintervalls die Entscheidungsschwelle infolge der Drehung nicht überschritten wird; für M-PSK muss also z.B. gelten

$$\Delta\psi(iT) = \Delta\omega \cdot T < \pi/M.$$

Da sich die Phasenfehler bei konstanter Frequenzablage von Symbol zu Symbol akkumulieren, erhält man die endgültige Korrekturphase $\hat{\psi}(iT)$ am Ausgang eines *integrierenden Systems*, z.B. eines digitalen rekursiven Filters 1. Ordnung mit einem Pol bei $z = 1$.

$$G(z) = a_0 \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} \tag{10.3.13}$$

Zur Vermeidung verzögerungsfreier Schleifen ist hier eine Verzögerung um einen Takt vorzusehen: Die zum Zeitpunkt iT gemessene Phasenabweichung kann erst zum nächsten Zeitpunkt $(i+1)T$ korrigiert werden. Daraus resultiert für Phasenregelkreise 1. Ordnung eine bleibende Regelabweichung, die im nächsten Abschnitt hergeleitet wird.

Prinzipiell enthält das entscheidungsrückgekoppelte Trägerregelungsverfahren – ebenso wie die im letzten Abschnitt behandelten konventionellen Verfahren – eine Phasenunsicherheit von $2\pi/M$, wenn M die Anzahl von diskreten Phasenwerten bezeichnet. Auch bei entscheidungsrückgekoppelten Verfahren ist also eine Phasen-Differenzcodierung erforderlich. Das Blockschaltbild eines entscheidungsrückgekoppelten Trägerregelungssystems 1. Ordnung ist in **Bild 10.3.5** wiedergegeben.

10.3.3 Linearisiertes Modell für den Phasenregelkreis

Wir sind in den vorangegangenen Betrachtungen davon ausgegangen, dass das empfangene Signal $\tilde{r}_0(iT)$ am Eingang der Trägerphasenregelung lediglich eine Frequenzablage auf-