halber ein gedächtnisfreier Kanal angenommen wird, Intersymbol-Interferenzen also ausgeklammert werden.

Hierbei beschreibt $\tilde{n}(iT)$ die zu den Zeitpunkten $t = iT$ abgetastete additive Rauschgröße am Matched-Filter-Ausgang; vor der endgültigen Phasenkorrektur $\psi(iT)$ fasst die vorhandenen Phasenstörungen zusammen, also

$$\psi(iT) = \Delta\omega\, T \cdot i + \psi_j(iT), \quad \psi_j(iT) \hat{=} \text{Phasenjitter}. \tag{10.3.14}$$

Die Wirkung des Kanalrauschens auf die Phasenschätzung lässt sich wie folgt formulieren: Am Entscheidereingang ist das Rauschsignal

$$n(iT) = \tilde{n}(iT) \cdot e^{-j\,\hat{\psi}(iT)} \tag{10.3.15}$$

überlagert, dessen statistische Eigenschaften gegenüber $\tilde{n}(iT)$ bei langsamen Veränderungen von $\psi(iT)$ unverändert sind (vgl. Rotationsinvarinaz schwach stationärer komplexer Prozesse, Seite 43). Die Schätzung der Phasenabweichung unter Rauschein-

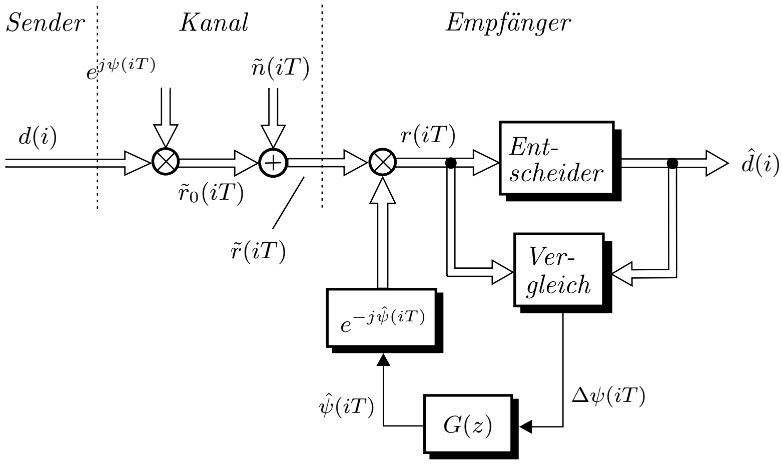

Bild 10.3.6: Symboltakt-Modell eines Übertragungssystems

fluss ergibt mit (10.3.12) für $\hat{d}(i) = d(i)$

$$\begin{aligned} \frac{1}{|d(i)|^2} \cdot \mathrm{Im}\{r(iT) \cdot d^*(i)\} \quad &= \quad \frac{1}{|d(i)|^2} \cdot \mathrm{Im}\{[\tilde{r}_0(iT) + n(iT)] \cdot d^*(i)\} \\ = \sin(\Delta\psi(iT)) + \mathrm{Im}\left\{\frac{n(i)}{d(i)}\right\} \quad &\approx \quad \Delta\psi(iT) + \psi_n(iT). \end{aligned} \tag{10.3.16}$$

Betrachtet man die Nutzdaten und das Kanalrauschen als Zufallsprozesse $D(i)$ und $N(iT)$ und nimmt deren statistische Unabhängigkeit an, so erhält man für die Leistung des Phasenrauschens infolge $N(iT)$

$$\sigma^2_{\psi_n} = \frac{\sigma^2_N}{2} \cdot \mathrm{E}\left\{\frac{1}{|D(i)|^2}\right\}; \tag{10.3.17}$$

für ein QPSK-Signal gilt z.B. $\sigma^2_{\Psi_n} = \sigma^2_N/2$. Aus den vorangegangenen Betrachtungen ist das in **Bild 10.3.7** wiedergegebene linearisierte Ersatzsystem für den Phasenregelkreis abzuleiten.

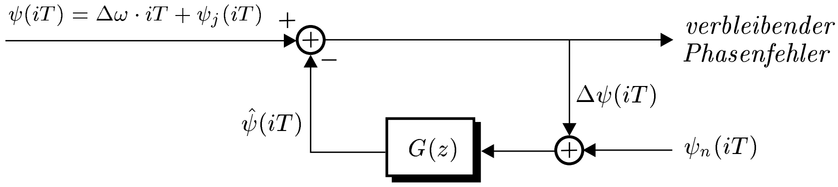

Bild 10.3.7: Linearisiertes Ersatzsystem für den Phasenregelkreis

10.3.4 Statischer Phasenfehler infolge Frequenzverwerfung

Aus dem linearen Ersatzsystem sind auf einfache Weise die verschiedenen Komponenten des nach der Regelung verbleibenden Phasenfehlers zu errechnen. Wir betrachten zunächst den Einfluss einer *Frequenzverwerfung* und setzen dazu

$$\psi(iT) = \Delta\omega T \cdot i; \tag{10.3.18a}$$

die Z-Transformierte dieses Eingangssignals des Phasenregelkreises ist

$$Z\{\psi(iT)\} = \Delta\omega T \cdot \frac{z}{(z-1)^2}. \tag{10.3.18b}$$

Die Z-Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises lautet

$$F(z) = \frac{1}{1+G(z)}. \tag{10.3.19a}$$

Setzt man ein *Schleifenfilter 1. Ordnung* gemäß (10.3.13) an, so ergibt sich hieraus

$$F_1(z) = \frac{z-1}{z-1+a_0}. \tag{10.3.19b}$$

Zur Sicherstellung der Stabilität des Phasenregelkreises muss für den Koeffizienten a_0 gelten

$$0 < a_0 < 2. \tag{10.3.19c}$$

Am Ausgang des Phasenregelkreises 1. Ordnung erhält man mit (10.3.18b) und (10.3.19b)

$$Z\{\Delta\psi(iT)\} = \Delta\omega T \cdot \frac{z}{(z-1)(z-1+a_0)}, \tag{10.3.20}$$

woraus sich durch Anwendung des Endwertsatzes [KK02] der Z-Transformation der folgende statische Phasenfehler ergibt:

$$\begin{aligned}\overline{\Delta\psi} = \lim_{i\to\infty} \Delta\psi(iT) &= \lim_{z\to 1}(z-1)\cdot Z\{\Delta\psi(iT)\} = \lim_{z\to 1} \frac{\Delta\omega T z}{z-1+a_0} \\ \overline{\Delta\psi} &= \frac{\Delta\omega T}{a_0}.\end{aligned} \tag{10.3.21}$$