

参考文献

- (1) 成田誠之助：デジタルシステム制御 理論と応用（昭晃堂），1980
 - (2) 明石一，今井弘之：詳解制御工学演習 8章サンプル値制御系（共立出版），1981
 - (3) G.F.フランクリン，J.D.パウエル，羽根田博正訳：ダイナミックシステムのデジタル制御（森北出版），1981
 - (4) 横田英一：マイクロコンピュータ Z-80 の使い方（オーム社），1981
 - (5) 美多勉，原辰次，近藤良：基礎デジタル制御（コロナ社），1988
 - (6) 金原昭臣，黒須茂：デジタル制御入門（日刊工業新聞社），1990
 - (7) Charles L. Phillips, H. Troy Nagle, JR.，横山隆一，佐川雅彦，貴家仁志訳：デジタル制御システム 解析と設計（日刊工業新聞社），1990
 - (8) 荒木光彦：デジタル制御理論入門（朝倉書店），1991
 - (9) 相良節夫，和田清，中野和司：デジタル制御の基礎（コロナ社），1992
 - (10) 岩田彰：デジタル信号処理（コロナ社），1995
 - (11) 高木章二：デジタル制御入門 改訂2版（オーム社），1999
 - (12) 高橋進一，池原雅章：デジタルフィルタ（倍風館），1999
 - (13) 樋口龍雄，川又政征：デジタル信号処理（昭晃堂），2000
 - (14) 三谷政昭，有井貴志：DSPによるデジタル信号処理プログラミング入門（森北出版），2000
 - (15) 松尾芳樹：デジタル制御（昭晃堂），2001
 - (16) 辻峰男，坪井克剛，山田英二：誘導機デジタルベクトル制御系の安定解析法，電気学会論文誌 D，第 123 巻，1 号，pp.21-29，2003
 - (17) 森泰親：演習で学ぶデジタル制御（森北出版），2012
 - (18) 辻峰男：電気回路講義ノート，長崎大学学術研究成果リポジトリ(NAOSITE),2014
 - (19) 辻峰男：自動制御の理論と応用，長崎大学学術研究成果リポジトリ(NAOSITE),2015
 - (20) 辻峰男：パワーエレクトロニクスと電動機制御入門，長崎大学学術研究成果リポジトリ(NAOSITE),2015
- * (18),(19),(20)は Google でタイトルを入力して自由にダウンロード可能

付録

零次ホールドの伝達関数のゲインと位相特性

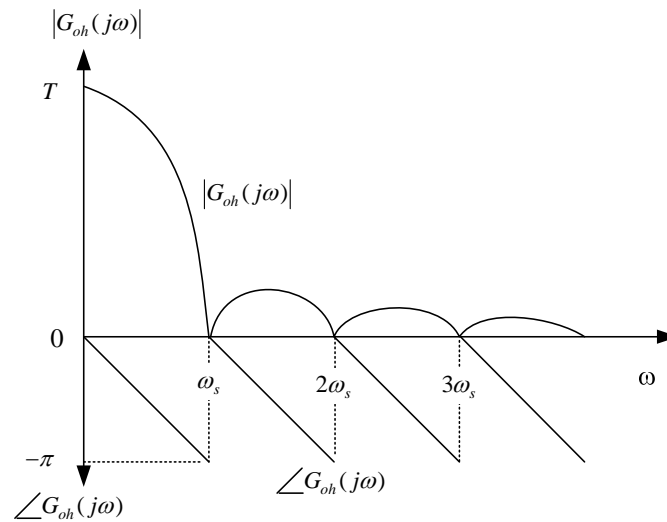
$s = j\omega$ とおくと、以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} G_{oh}(j\omega) &= \frac{1 - e^{-j\omega T}}{j\omega} = \frac{1 - \cos \omega T + j \sin \omega T}{j\omega} \\ &= \frac{1}{\omega} \{ \sin \omega T - j(1 - \cos \omega T) \} = \frac{2}{\omega} \sin\left(\frac{\omega T}{2}\right) e^{-j\omega T/2} \\ &= \frac{2}{\omega} \sin\left(\frac{\omega\pi}{\omega_s}\right) e^{-j\pi \frac{\omega}{\omega_s}} \end{aligned}$$

ただし、 $\omega_s \equiv 2\pi/T$

$$|G_{oh}(j\omega)| = \frac{2}{\omega} \left| \sin\left(\frac{\omega\pi}{\omega_s}\right) \right| = \frac{2\pi}{\omega_s} \frac{\left| \sin\left(\frac{\omega\pi}{\omega_s}\right) \right|}{\frac{\omega\pi}{\omega_s}} = T \frac{\left| \sin\left(\frac{\omega\pi}{\omega_s}\right) \right|}{\frac{\omega\pi}{\omega_s}}$$

$$\angle G_{oh}(j\omega) = \begin{cases} -\pi \frac{\omega}{\omega_s} & : (0 < \omega < \omega_s) \\ -\pi \frac{\omega}{\omega_s} + n\pi & : (n\omega_s < \omega < (n+1)\omega_s) \end{cases}$$



零次ホールドのゲイン，位相特性（片対数グラフ上ではない）

零次ホールドは低域通過フィルタの一種で、図より不要な高域の信号をどのように減衰させるか理解できよう。直流に対するゲインはサンプリング周期 T になる。


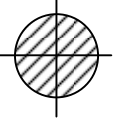
Z 変換表

$F(z) \equiv Z\{f(kT)\} \equiv Z(f(t)) \equiv Z(F(s))$ と書かれるが、 $f(t)$ の z 変換を求めるには、数列 $\{f(kT)\}$ を求めて z 変換する。 $F(s)$ の z 変換を求めるには、 $f(t)$ を求め、次に $\{f(kT)\}$ を求め、それから z 変換を求めるのが本来の意味である。

時間関数 $f(t)$	$f(t)$ のラプラス変換 $F(s)$	$f(kT)$ の z 変換 $F(z)$	数列 $f(kT)$
		1	1 : $k = 0$ 0 : $k \neq 0$
		z^{-n}	1 : $k = n$ 0 : $k \neq n$
$u(t)$, 1	$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$	1 : all k
t	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$	kT
		$\frac{z}{z-p}$	p^k
		$\frac{z}{(z-p)^2}$	$k p^{k-1}$
$\frac{t^2}{2}$	$\frac{1}{s^3}$	$\frac{T^2 z(z+1)}{2(z-1)^3}$	$\frac{(kT)^2}{2}$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z-e^{-aT}}$	e^{-akT}
$1 - e^{-at}$	$\frac{a}{s(s+a)}$	$\frac{(1 - e^{-aT})z}{(z-1)(z - e^{-aT})}$	$1 - e^{-akT}$
$t e^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^2}$	$\frac{T z e^{-aT}}{(z - e^{-aT})^2}$	$kT e^{-akT}$
$\sin \beta t$	$\frac{\beta}{s^2 + \beta^2}$	$\frac{z \sin \beta T}{z^2 - 2z \cos \beta T + 1}$	$\sin \beta kT$
$\cos \beta t$	$\frac{s}{s^2 + \beta^2}$	$\frac{z(z - \cos \beta T)}{z^2 - 2z \cos \beta T + 1}$	$\cos \beta kT$
$e^{-\alpha t} \sin \beta t$	$\frac{\beta}{(s+\alpha)^2 + \beta^2}$	$\frac{z e^{-\alpha T} \sin \beta T}{z^2 - 2e^{-\alpha T} z \cos \beta T + e^{-2\alpha T}}$	$e^{-\alpha kT} \sin \beta kT$
$e^{-\alpha t} \cos \beta t$	$\frac{s+\alpha}{(s+\alpha)^2 + \beta^2}$	$\frac{z(z - e^{-\alpha T} \cos \beta T)}{z^2 - 2e^{-\alpha T} z \cos \beta T + e^{-2\alpha T}}$	$e^{-\alpha kT} \cos \beta kT$

ただし、 $k = 0, 1, 2, 3 \dots$

連続系の制御理論とデジタル制御理論の関連

	連続系	デジタル制御系
変換による解法	<p>ラプラス変換</p> <p>↓</p> <p>ブロック図</p> <p>↓</p> <p>特性方程式の根 s (閉ループ伝達関数の分母 = 0)</p> <p>↓</p> <p>安定条件 : $\text{Re}(s) < 0$ ← 実部</p>  <p style="text-align: center;">根 s が左半平面内</p>	<p>z変換</p> <p>↓</p> <p>ブロック図</p> <p>↓</p> <p>特性方程式の根 z (閉ループ伝達関数の分母 = 0)</p> <p>↓</p> <p>安定条件 : $z < 1$</p>  <p style="text-align: center;">根 z が単位円内</p>
時間領域の解法	<p>状態方程式 (微分方程式)</p> $\frac{dx}{dt} = Ax + Br$ <p style="text-align: right;">← 指令値</p> <p>↓</p> <p>安定条件 : A の固有値 s</p> $\text{Re}(s) < 0$ <p>特性方程式の根と A の固有値 s は一致する。</p>	<p>状態方程式 (差分方程式)</p> $x(k+1) = Ax(k) + Br(k)$ <p style="text-align: right;">← 指令値</p> <p>↓</p> <p>安定条件 : A の固有値 z</p> $ z < 1$ <p>特性方程式の根と A の固有値 z は一致する。</p>
周波数特性	<p>伝達関数 $G(s)$</p> <p>$s = j\omega$ と置いて</p> <p>$G(j\omega)$ を計算して求める。</p>	<p>伝達関数 $G(z)$</p> <p>$z = e^{j\omega T}$ と置いて</p> <p>$G(e^{j\omega T})$ を計算して求める。</p> <p>T : サンプルング周期</p>

連続系については文献(19)参照

索引

IIRフィルタ	33	振幅スペクトル	56	部分分数展開	6,44
アセンブラ	96	振幅特性	56	プログラムカウンタ	105
アドレスバス	97	真理値表	91	ブロック線図	19
割り込み処理プログラム	109	数列	1	負論理	91
安定条件	43	スタックポインタ	105	ベン図	91
安定判別	46,76	正論理	91	補償要素	30
位相スペクトル	56	Z80	97	マイコン	97
位相特性	56	z変換	2,18	むだ時間要素	26
位置アルゴリズム	29	零次ホールド	10,17	メインプログラム	109
移動平均フィルタ	34	前進オイラー法	28	メモリ	98
インパルス列	15	前進矩形近似	27	メモリマップ	99
エイリアシング	57,67	前進差分	28	有限整定制御	49,86
A/D変換器	9	双一次変換	28,46	余因子行列	78
H駆動	91,93	速度アルゴリズム	30	ラウスの方法	47
FIRフィルタ	33	側波帯	67	ラプラス変換	15
L駆動	91,93	対角化	71	RAM	98
演算時間	51,88	台形近似	27	離散化	27
機械語	96	台形公式	28	離散時間フーリエ変換	67
擬似微分	30	代表根	45	離散フーリエ変換	69
逆行列	78	タステイン変換	28	リミッタ	37
逆z変換	5	畳み込み和	21	量子化	10,95
行列式	78	単位ステップ関数	17	ルンゲクッタ法	36
極	42	デジタル制御系	9	レジスタ	97
後退オイラー法	28	定常偏差	14	ROM	98
後退矩形近似	27	データバス	97	論理回路	91
後退差分	28	デッドビート制御	49,86	ワインドアップ現象	39
公比	1	デルタ関数	15	割り込み	106
固有値	72	等比数列	1,2		
固有ベクトル	72	特性方程式	12,42		
最終値の定理	8	ド・モルガンの定理	92		
差分方程式	2,5,71	ナイキスト安定判別	63		
サンプラー	9	ナイキスト周波数	57		
サンプリング周期	3	2進数	94		
サンプリング定理	57	バイト	98		
サンプル値信号	15	パルス伝達関数	11		
サンプルホールド回路	9	PI制御	29,38		
CPU	97	PID制御	30		
周波数応答	55	ビット	95		
16進数	94	微分方程式	12		
状態遷移行列	81	標本化	15		
情報落ち	28	比例制御	11		
初期値の定理	7	フィルタ	30		
		フーリエ級数	64		
		フーリエ変換	65		