

---

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

First Semester Examination  
2015/2016 Academic Session

December 2015 / January 2016

**EEE 443 – DIGITAL SIGNAL PROCESSING**  
**[PEMROSESAN ISYARAT DIGIT]**

Duration 3 hours  
[Masa : 3 jam]

---

Please check that this examination paper consists of **SIXTEEN (16)** pages and Appendices **FOUR (4)** pages of printed material before you begin the examination. This examination paper consist of two versions, The English version and Malay version. The English version from page **TWO (2)** to page **EIGHT (8)** and Malay version from page **NINE (9)** to page **SIXTEEN (16)**.

*Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEMBILAN (9)** muka surat dan Lampiran **EMPAT (4)** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini. Kertas peperiksaan ini mengandungi dua versi, versi Bahasa Inggeris dan Bahasa Melayu. Versi Bahasa Inggeris daripada muka surat **DUA (2)** sehingga muka surat **LAPAN (8)** dan versi Bahasa Melayu daripada muka surat **SEMBILAN (9)** sehingga muka surat **ENAM BELAS (16)**.*

**Instructions:** This question paper consists of **SIX (6)** questions. Answer **FIVE (5)** questions. All questions carry the same marks.

**[Arahan:** Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA (5)** soalan. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama]

Answer to any question must start on a new page.

*[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru]*

**“In the event of any discrepancies, the English version shall be used”.**

**[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai]**

**ENGLISH VERSION**

1. (a) Assume that you want to process an analogue signal by using a digital signal processor. It is known that the maximum amplitude of the analogue signal that you want to use is 4 mV, and its minimum amplitude is -4 mV. In order to process the signal digitally, an analogue-to-digital converter (A/D) is used. This A/D samples the analogue signal at every 1 ms. By using an equal quantization step size, this A/D quantizes the signal into 21 levels. Define the range of the quantization error, if the following quantization approaches are been used:

- (i) Quantization by rounding. (10 marks)
- (ii) Quantization by truncation. (10 marks)

(b) A digital signal can be obtained by sampling an analogue signal. Your research team has been provided with two analogue signals,  $x_1(t)$  and  $x_2(t)$ :

$$x_1(t) = 6 \cos(60\pi t) + 3 \sin(300\pi t) + 2 \cos(340\pi t) + 4 \cos(500\pi t) + 10 \sin(660\pi t)$$

$$x_2(t) = 2 \cos(60\pi t) + 4 \cos(100\pi t) + 10 \sin(260\pi t) + 6 \cos(460\pi t) + 3 \sin(700\pi t)$$

Digital signal  $x_1(n)$  is obtained from  $x_1(t)$ , and  $x_2(n)$  is obtained from  $x_2(t)$ . Inspect whether the signal  $x_1(n)$  and  $x_2(n)$  are the same or not, when the sampling frequency used is:

- (i) 100 Hz (10 marks)
- (ii) 1000 Hz (10 marks)

- (c) Determine the output  $y(n]$  of a linear time invariant (LTI) system as shown in Figure 1. Given that:

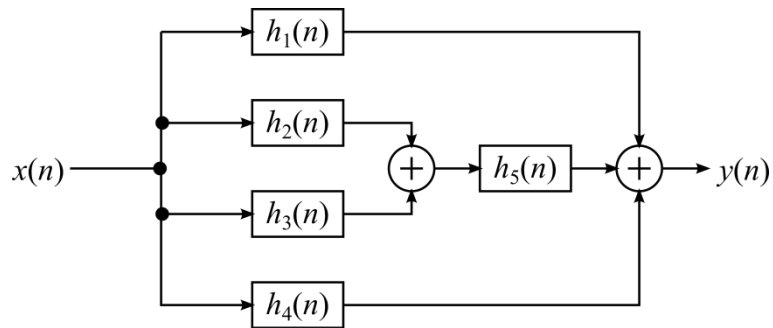


Figure 1

$$x(n) = \{5, 2, 1, 4\}$$

$$h_1(n) = \delta(n) + 0.5\delta(n-1)$$

$$h_2(n) = -2(0.5)^n u(n)$$

$$h_3(n) = 2\delta(n)$$

$$h_4(n) = \delta(n-1) + 0.5\delta(n-2)$$

$$h_5(n) = 0.5\delta(n) - 0.25\delta(n-1)$$

(60 marks)

2. You and your R&D team are given a responsibility to fabricate the digital filter as given in Figure 2. However, due to some technical restrictions in your workplace, your team are facing some difficulties to assemble this filter. Therefore, your group leader asked you to determine several options for this filter.

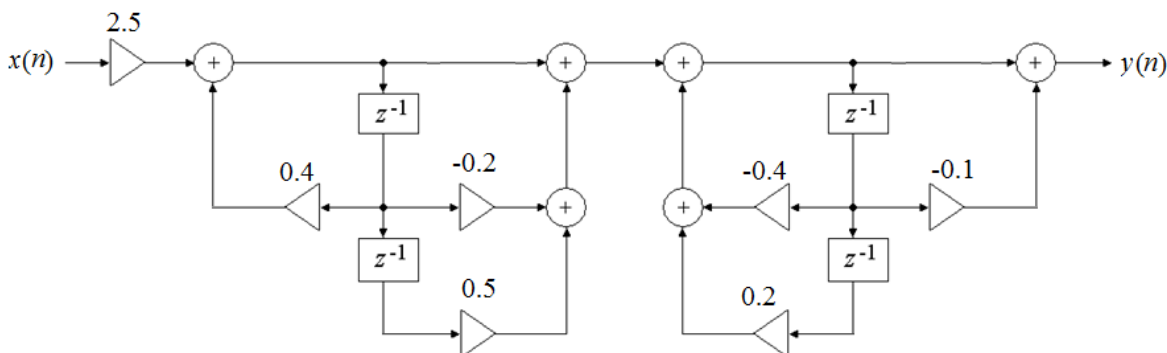


Figure 2

- (i) Determine equation  $H(z)=Y(z)/X(z)$  to present structure in Figure 2. (10 marks)
- (ii) Draw an equivalent structure of the block diagram in Figure 2, by using transpose operation. (20 marks)
- (iii) By using the concept of cascade filter, obtain one canonic filter structure from the equation obtained in part (i). (20 marks)
- (iv) Derive a parallel form II structure for the equation obtained in part (i). (50 marks)

3. (a) The signal that you want to observe contains an additive noise. In order to reduce the noise level, you have decided to use a 5-point moving average filter. This filter is defined as:

$$y(n) = \frac{1}{5} \sum_{k=0}^4 x(n-k)$$

Determine the output  $y(n)$  of the filter (for  $0 \leq n \leq 9$ ), if the corrupted input signal  $x(n)$  is:

$$x(n) = \{3, -1, -5, -4, 9, -2\}$$

(20 marks)

- (b) Determine  $y(n)$ , if  $y(n)$  is the result from a 5-points circular convolution between  $x_1(n)$  and  $x_2(n)$ . Given:

$$x_1(n) = \{2, -1, 0, 1, 4\}$$

$$x_2(n) = \{3, 1, 0, 0, 2\}$$

(20 marks)

- (c) You and your team are designing a linear time-invariant (LTI) system. The transfer function of the system is:

$$H(z) = \frac{6 - 10.8z^{-1}}{1 - 5.2z^{-1} + z^{-2}} = \frac{2}{1 - 0.2z^{-1}} + \frac{4}{1 - 5z^{-1}}$$

Draw the ROC of  $H(z)$  and determine  $h(n)$  for the following conditions:

- (i) The system is stable. (20 marks)
- (ii) The system is causal. (20 marks)
- (iii) The system is anticausal. (20 marks)

4. (a) Consider the parallel combination of three causal first-order LTI discrete-time systems shown in Figure 4(a), where the overall transfer function is given as

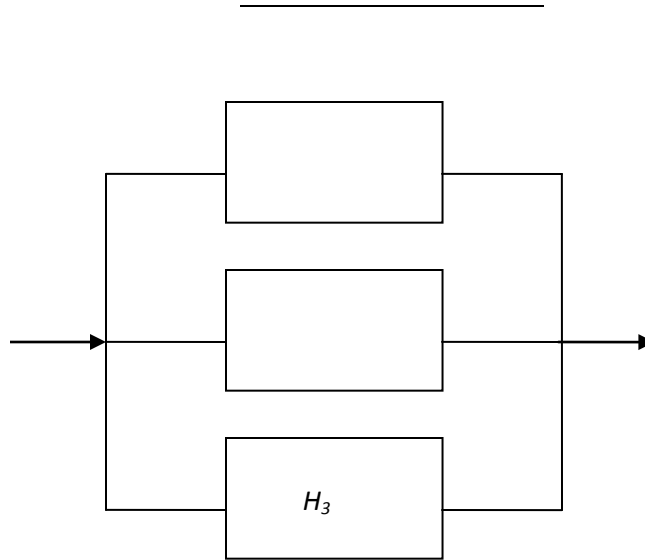


Figure 4(a)

- (i) Find each of the transfer function , and . (30 marks)
- (ii) Develop the realization of the overall parallel system with each section realized in canonic direct form II. Show the working (drawing) for each transfer function. (30 marks)
- (iii) Determine the impulse response of the transfer function for the overall parallel system. (20 marks)

- (b) Given a causal linear time-invariant filter with system function given below, perform the filter realization using:

---

- (i) Direct-form I, and (10 marks)
- (ii) Direct-form II structures. (10 marks)

5. (a) Design a digital FIR lowpass filter with the following specifications;

using Rectangular, Hanning, Hamming and Blackman Window. What is the value of filter length?

(50 marks)

- (b) Let  $H(e^{j\omega})$  where  $h(0)$  is the first Determine the amplitude response and the locations of the zeros of

(30 marks)

- (c) What are the poles and zeros of an FIR filter that completely blocks the frequency  $\omega = \pi$  – in the  $z$ -plane. This filter yields real output given that input signal is real.

(20 marks)

6. (a) Design and implement a low-pass filter with the following conditions:
- (i) What order FIR equiripple filter is required to satisfy these specifications?  
(20 marks)
  - (ii) Repeat (i) above for an elliptic filter.  
(30 marks)
- (b) Design a digital low-pass filter that has a passband cutoff frequency with \_\_\_\_\_ and a stopband cutoff frequency with \_\_\_\_\_. The filter is to be designed using the bilinear transformation.
- (i) What order Butterworth, Chebyshev and Elliptic filters are necessary to meet the design specifications?  
(40 marks)
  - (ii) Using your results, what is the best filter to be used for the specifications if order of the filter is considered? Explain.  
(10 marks)

**VERSI BAHASA MELAYU**

1. (a) Andaikan anda mahu memproses isyarat analog dengan menggunakan pemproses isyarat digital. Telah diketahui bahawa amplitud maksimum isyarat analog yang ingin anda gunakan adalah 4 mV , dan amplitud minimum adalah -4 mV . Untuk memproses isyarat digital, penukar analog -ke-digital (A/D) digunakan. A /D ini mengambil sampel isyarat analog pada setiap 1 ms . Dengan menggunakan saiz langkah pengkuantuman yang sama, A /D ini mengkuantumkan isyarat ke dalam 21 peringkat. Tentukan julat ralat pengkuantuman , jika pendekatan pengkuantuman berikut telah digunakan:

- (i) Pengkuantuman melalui pembundaran. (10 markah)
- (ii) Pengkuantuman melalui pemangkasan. (10 markah)

(b) Isyarat digital boleh diperolehi dengan pensampelan isyarat analog. Pasukan penyelidikan anda telah dibekalkan dengan dua isyarat analog ,  $x_1(t)$  dan  $x_2(t)$ :

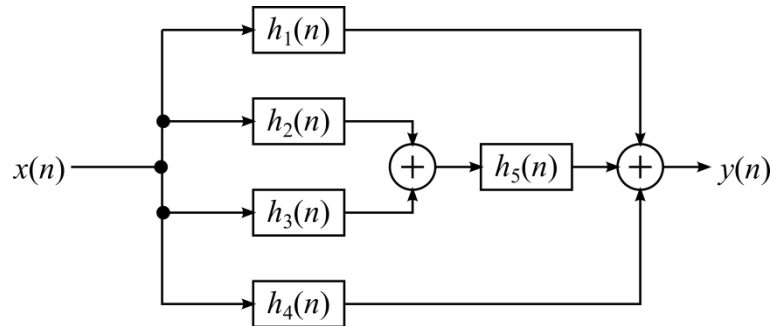
$$x_1(t) = 6 \cos(60\pi t) + 3 \sin(300\pi t) + 2 \cos(340\pi t) + 4 \cos(500\pi t) + 10 \sin(660\pi t)$$

$$x_2(t) = 2 \cos(60\pi t) + 4 \cos(100\pi t) + 10 \sin(260\pi t) + 6 \cos(460\pi t) + 3 \sin(700\pi t)$$

Isyarat digital  $x_1(n)$  diperolehi daripada  $x_1(t)$ , dan  $x_2(n)$  diperolehi daripada  $x_2(t)$ . Periksa samaada isyarat  $x_1(n)$  dan  $x_2(n)$  adalah sama atau tidak, apabila frekuensi pensampelan yang digunakan ialah:

- (i) 100 Hz (10 markah)
- (ii) 1000 Hz (10 markah)

- (c) Tentukan keluaran  $y(n)$  daripada sistem linear masa tak berubah (LTI) yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Diberikan:



Rajah 1

$$x(n) = \{5, 2, 1, 4\}$$

$$h_1(n) = \delta(n) + 0.5\delta(n-1)$$

$$h_2(n) = -2(0.5)^n u(n)$$

$$h_3(n) = 2\delta(n)$$

$$h_4(n) = \delta(n-1) + 0.5\delta(n-2)$$

$$h_5(n) = 0.5\delta(n) - 0.25\delta(n-1)$$

(60 markah)

2. Anda dan kumpulan R&D anda telah diberi tanggungjawab untuk merekapipta penapis digital seperti yang diberikan dalam Rajah 2. Walau bagaimanapun, disebabkan beberapa kekangan teknikal di tempat anda bekerja, pasukan anda menghadapi kesukaran untuk memasang penapis ini. Oleh itu, ketua kumpulan anda telah meminta anda untuk menentukan beberapa pilihan untuk penapis ini.

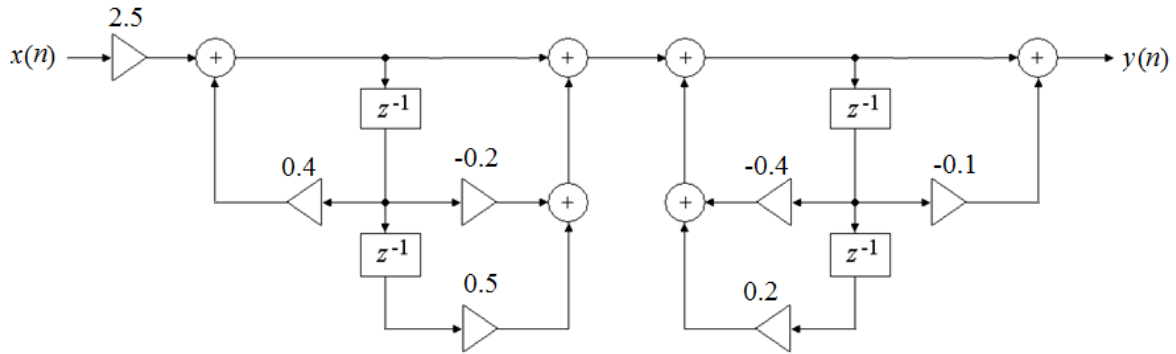


Figure 2

- (i) Tentukan persamaan  $H(z)=Y(z)/X(z)$  untuk mewakili struktur dalam Rajah 2. (10 markah)
- (ii) Lukiskan struktur setara bagi gambarajah blok dalam Rajah 2, dengan menggunakan operasi alihan. (20 markah)
- (iii) Dengan menggunakan konsep penapis latta, dapatkan satu struktur penapis kanonik daripada persamaan yang diperolehi di bahagian (i). (20 markah)
- (iv) Terbitkan struktur selari bentuk II untuk persamaan yang diperolehi di bahagian (i). (50 markah)

3. (a) Isyarat yang anda mahu perhatikan mengandungi hingar tambahan. Dalam usaha untuk mengurangkan tahap hingar tersebut, anda telah membuat keputusan untuk menggunakan penapis purata 5-titik bergerak. Penapis ini ditakrifkan sebagai:

$$y(n) = \frac{1}{5} \sum_{k=0}^4 x(n-k)$$

Tentukan keluaran  $y(n)$  daripada penapis (untuk  $n \leq 9$ ), jika isyarat masukan yang tercemar  $x(n)$  ialah:

$$x(n) = \{3, -1, -5, -4, 9, -2\}$$

(20 marks)

- (b) Tentukan  $y(n)$ , jika  $y(n)$  ialah keputusan daripada konvolusi bulatan 5-titik antara  $x_1(n)$  dan  $x_2(n)$ . Diberikan:

$$x_1(n) = \{2, -1, 0, 1, 4\}$$

$$x_2(n) = \{3, 1, 0, 0, 2\}$$

(20 marks)

- (c) Anda dan kumpulan anda merekabentuk sistem linear masa tidak berubah (LTI). Fungsi pindah bagi sistem ini ialah:

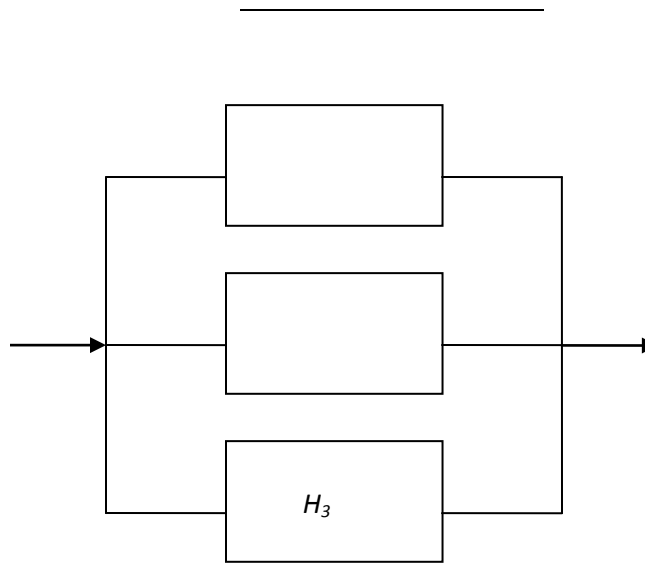
$$H(z) = \frac{6 - 10.8z^{-1}}{1 - 5.2z^{-1} + z^{-2}} = \frac{2}{1 - 0.2z^{-1}} + \frac{4}{1 - 5z^{-1}}$$

Lukiskan ROC untuk  $H(z)$  dan tentukan  $h(n)$  untuk keadaan-keadaan berikut: conditions:

- (i) Sistem adalah stabil. (20 marks)
- (ii) Sistem adalah kausal. (20 marks)
- (iii) Sistem adalah anti-kausal. (20 marks)

...13/-

4. (a) Pertimbangkan satu penggabungan secara selari tiga LTI sistem isyarat diskret yang ditunjukkan dalam Rajah 4(a) di mana keseluruhan fungsi pindah adalah seperti berikut:



**Figure 4(a)**

- (i) Cari fungsi-pindah bagi setiap satu , , dan (30 markah)
- (ii) Bangunkan kerealisasian untuk sistem selari keseluruhan dengan setiap bahagian dalam bentuk langsung II. Tunjukkan jalan kerja (lukisan) bagi setiap fungsi-pindah. (30 markah)

- (iii) Tentukan sambutan dedenyut untuk fungsi-pindah untuk keseluruhan sistem selari tersebut.

(20 markah)

- (b) Diberikan rangkap pindah tertib kedua untuk penapis digit seperti di bawah, lakukan realisasi penapis menggunakan struktur berikut:

---

- (i) Struktur Bentuk terus I, dan (10 markah)

- (ii) Struktur Bentuk terus II. (10 markah)

5. (a) Rekabentuk satu penuras laluan rendah digital FIR dengan spesifikasi yang diberikan seperti berikut;

menggunakan Tetingkap Segiempat Tepat (Rectangular), Hanning, Hamming and Blackman. Apakah nilai panjang penuras?

(50 markah)

- (b) Biarkan  $\omega_c$ , di mana  $\omega_c$  adalah yang pertama i.e.,  $\omega_c$ . Tentukan sambutan amplitud  $A$  dan lokasi sifar bagi  $H(\omega)$ .  
(30 markah)
- (c) Apakah kutub dan sifar daripada satu penuras FIR yang dapat menahan frekuensi  $\omega_c$  – dengan selengkapnya di dalam satah  $\omega_c$ . Penuras ini menghasilkan keluaran nyata memandangkan isyarat masukan adalah nyata.  
(20 markah)
6. (a) Rekabentuk dan laksanakan satu penuras lulus rendah dengan syarat-syarat yang diberikan di bawah:
- (i) Apakah tertib penuras setara-riak FIR yang diperlukan untuk memenuhi spesifikasi-spesifikasi ini?  
(20 markah)
- (ii) Ulangi (i) di atas untuk satu penuras elips.  
(30 markah)
- (b) Rekabentuk satu digital penapis lulus rendah yang mempunyai frekuensi potong lulus jalur  $\omega_c$  dengan  $\omega_c$  dan frekuensi potong jalur berhenti  $\omega_s$  dengan  $\omega_s$ . Penapis ini direkabentuk menggunakan penjelmaan dwilelurus.

- (i) Apakah tertib penuras Butterworth, Chebyshev dan Elliptic yang diperlukan untuk memenuhi spesifikasi rekabentuk ini?  
(40 markah)
- (ii) Dengan menggunakan keputusan anda, apakah penuras yang terbaik untuk digunakan bagi spesifikasi yang diberikan sekiranya tertib penuras diambilkira? Terangkan.  
(10 markah)

**Table 1: Properties of the z-transform**

|                                 | Time domain                        | z-domain                                  | ROC  |
|---------------------------------|------------------------------------|---|--|
| Notation                        | $x(n)$                             | $X(z)$                                    | ROC: $r_2 <  z  < r_1$   |
|                                 | $x_1(n)$                           | $X_1(z)$                                  | ROC <sub>1</sub>   |
|                                 | $x_2(n)$                           | $X_2(z)$                                  | ROC <sub>2</sub>   |
| Linearity                       | $a_1x_1(n) + a_2x_2(n)$            | $a_1X_1(z) + a_2X_2(z)$                   | At least the intersection of ROC <sub>1</sub> and ROC <sub>2</sub> |
| Time-shifting                   | $x(n-k)$                           | $z^{-k}X(z)$                              | That of $X(z)$ , except $z=0$ if $k>0$ and $z=\infty$ if $k<0$ .   |
| Scaling in the z-domain         | $a^n x(n)$                         | $X(a^{-1}z)$                              | $ a r_2 <  z  <  a r_1$  |
| Time reversal                   | $x(-n)$                            | $X(z^{-1})$                               | $(1/r_1) <  z  < (1/r_2)$  |
| Conjugation                     | $x^*(n)$                           | $X^*(z^*)$                                | ROC  |
| Real part                       | $\text{Re}\{x(n)\}$                | $\frac{1}{2}[X(z) + X^*(z^*)]$            | Includes ROC   |
| Imaginary part                  | $\text{Im}\{x(n)\}$                | $\frac{1}{2}j[X(z) - X^*(z^*)]$           | Includes ROC   |
| Differentiation in the z-domain | $nx(n)$                            | $-z \frac{dX(z)}{dz}$                     | $r_2 <  z  < r_1$  |
| Convolution                     | $x_1(n) * x_2(n)$                  | $X_1(z)X_2(z)$                            | At least the intersection of ROC <sub>1</sub> and ROC <sub>2</sub> |
| Correlation                     | $r_{x_1x_2}(l) = x_1(l) * x_2(-l)$ | $X_1(z)X_2(z^{-1})$                       | At least the intersection of ROC of $X_1(z)$ and $X_2(z^{-1})$     |
| Initial value theorem           | If $x(n)$ is causal                | $x(0) = \lim_{z \rightarrow \infty} X(z)$ |  |

**Table 2:** Some Common z-Transform Pairs

|    | Signal, $x(n)$              | z-Transform, $X(z)$   | ROC         |
|----|-----------------------------|---|-------------|
| 1  | $\delta(n)$                 | 1   | All $z$     |
| 2  | $u(n)$                      | $\frac{1}{1 - z^{-1}}$  | $ z  > 1$   |
| 3  | $a^n u(n)$                  | $\frac{1}{1 - az^{-1}}$   | $ z  >  a $ |
| 4  | $na^n u(n)$                 | $\frac{az^{-1}}{(1 - az^{-1})^2}$   | $ z  >  a $ |
| 5  | $-a^n u(-n-1)$              | $\frac{1}{1 - az^{-1}}$   | $ z  <  a $ |
| 6  | $-na^n u(-n-1)$             | $\frac{az^{-1}}{(1 - az^{-1})^2}$   | $ z  <  a $ |
| 7  | $(\cos \omega_0 n)u(n)$     | $\frac{1 - z^{-1} \cos \omega_0}{1 - 2z^{-1} \cos \omega_0 + z^{-2}}$       | $ z  > 1$   |
| 8  | $(\sin \omega_0 n)u(n)$     | $\frac{z^{-1} \sin \omega_0}{1 - 2z^{-1} \cos \omega_0 + z^{-2}}$           | $ z  > 1$   |
| 9  | $(a^n \cos \omega_0 n)u(n)$ | $\frac{1 - az^{-1} \cos \omega_0}{1 - 2az^{-1} \cos \omega_0 + a^2 z^{-2}}$ | $ z  >  a $ |
| 10 | $(a^n \sin \omega_0 n)u(n)$ | $\frac{az^{-1} \sin \omega_0}{1 - 2az^{-1} \cos \omega_0 + a^2 z^{-2}}$     | $ z  >  a $ |

