Chapter 01 연습문제

1.2 음성 신호를 마이크를 통하여 전기적 신호로 바꾸어 구리 선을 통하여 전달할 때, 구리선의 길이가 길어 질수록 신호의 세기가 작아 집니다. 이것은 어떤 현상 때문일까요? 그리고 이러한 문제를 해결하여 무선으로 신호를 멀리 보내는 방법에 대하여 설명하세요.

(Sol) 구리 선은 일종의 저항기로 동작합니다. 도선의 저항은 단면적에 반비례하고 길이에 비례합니다. 그러므로 길이가 길수록 저항 성분이 커져서 신호의 세기가 작아질 수 밖에 없습니다.

1.5 현재 서비스되는 이동통신은 디지털 통신 기술을 이용하고 있습니다. 현재 이동통신 서비스 사업자별 서비스 주파수를 조사하세요.

(Sol) 2013년 9월 현재 다음과 같습니다. (출처: 국내 이동통신 사업자별 주파수할당 현황, 미래전파공학 연구소)

구 분	대역(MHz) (상향/하향)	사업자	할당기간	비 고
800 / 900MHz	819~824(5)/864~869(5)	KT	'12.7.1~'22.6.30	경매할당('11.8)
	824~839(15)/869~884(15)	SKT	'11.7.1~'21.6.30	재할당(10년)
	839~849(10)/884~894(10)	LGU+	'11.7.1~'21.6.30	재할당(10년)
	905~915(10)/950~960(10)	KT	'11.7.1~'21.6.30	재할당(10년)
1.8GHz	1715~1725(10) 및 1730~1735(5) /1810~1830(20)	SKT	'13.8.30~'21.8.29	경매할당('13.8)
	1735~1740(5)/1830~1840(10)	KT	'13.8.30~'21.8.29	경매할당('13.8)
	1745~1755(10)/1840~1850(10)	KT	'11.7.1~'21.6.30	재할당(10년)
	1755~1765(10)/1850~1860(10)	SKT	~'21.12.15	경매할당('11.8)
	1770~1780(10)/1860~1870(10)	LGU+	'11.7.1~'21.6.30	재할당(10년)
2.1GHz	1885~1920(35)	미할당	-	IMT-TDD
	1920~1930(10)/2110~2120(10)	LGU+	'12.8.29~'22.8.28	경매할당('11.8)
	1930~1940(10)/2120~2130(10)	SKT	~'16.12.3	'06.7.28 반납(LGU+)
	1940~1960(20)/2130~2150(20)	SKT	'02.12~'17.11	15년
	1960~1980(20)/2150~2170(20)	KT	'01.12.4~'16.12.3	15년
2.3GHz	2010~2025(15)	미할당	-	IMT-TDD
	2300~2327(27)	SKT	'12.3.30~'19.3.29	WiBro 재할당(7년)
	2330~2360(30)	KT	'12.3.30~'19.3.29	WiBro 재할당(7년)
	2363~2390(27)	미할당	-	하나로텔레콤 반납
2.6GHz	2500~2520(20)/2620~2640(20)	미할당	-	IMT-2000/IMT-Advanced
	2520~2540(20)/2640~2660(20)	LGU+	'13.8.30~'21.8.29	경매할당('13.8)
	2575~2615(40)	미할당	-	제4이통사 신청탈락

1.6 주파수는 무선 통신을 위한 기본 자원이라고 할 수 있습니다. 전파에 데이터를 실어 보내려면 특정 주파수를 사용할 수 있는 권리를 국가로부터 받아야 합니다. 우리나라는 주파수 경매제를 시행하고 있는데, 최근 이동통신 사업자를 대상으로 이루어진 주파수 경매의 사용 기간과 주파수 할당 대역 및 폭, 대가를 조사하세요. 이를 통해 눈에 보이지 않는 주파수가 매우 값비싼 가치를 지녔다는 것을 확인할 수 있습니다.

(Sol) 2013년 8월 30일 발표된 주파수 경매 결과는 다음과 같습니다.

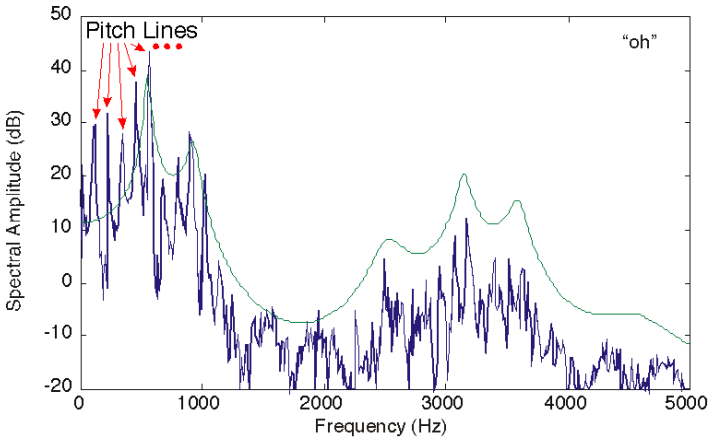
구분	주파수 대역			합계
	2.6㎓ 대역 40MHz	1.8㎓대역 35MHz	1.8㎓대역 15MHz	
낙찰자	LGU+	SKT	KT	-
낙찰가	4,788억원	10,500억원	9,001억원	2조 4,289억원

1.7 우리나라 정부는 각종 무선 통신 시스템을 위하여 대부분의 주파수를 서비스별로 지정해두었습니다. 대한민국 주파수 분배 표를 인터넷에서 찾아 주파수별 용도를 확인해보세요. 눈에 보이지 않는 주파수도 이미 포화 상태라 신규 무선 서비스가 매우 힘들다는 것을 알 수 있을 것입니다.

(Sol) 한국전파진흥협회 정보자료센터 (http://www.rapa.or.kr:9090/data/frequency.asp)에서 대한민국 주파수 분배도표를 구할 수 있습니다.

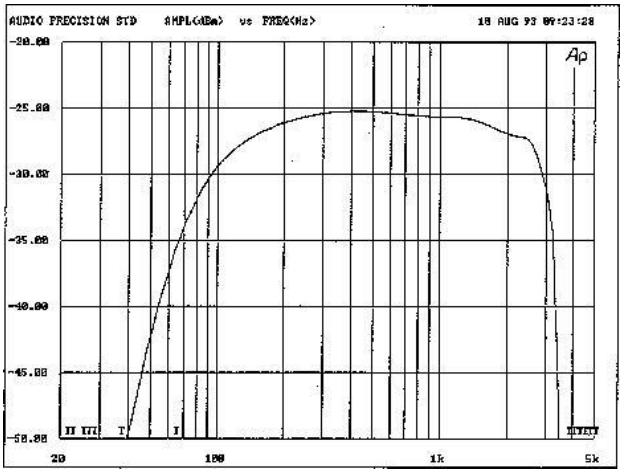
1.9 주파수에 따른 음성의 크기를 그림으로 나타낸 것을 음성의 주파수 스펙트럼(frequency spectrum)이라고 합니다. 인터넷에서 음성의 주파수 스펙트럼을 찾아 제시하고, 음성은 어떤 주파수 신호로 구성되었는지를 밝히세요. 그리고 신호 주파수에 따른 전화선의 전달 특성을 제시하세요.

(Sol) 음성 신호 스펙트럼의 예



〈출처: http://physics.stackexchange.com/questions/113933/what-does-an-analog-voice-transmission-look-like-in-the-visible-spectrum〉

전화선의 전달함수



〈출처: http://www.comrex.com/support/technotes/pots_fixing_bad_lines.html〉

Chapter 02 연습문제

2.7 다음 신호의 평균 전력을 구하세요.

(a) $10\cos(100t+\pi/3)$

(Sol) $10^2/2=50$

(b) $10\sin(5t)\cos(10t)$

(Sol) $10\sin(5t)\cos(10t)=5\ \sin(-5t)+\sin(15t)\ =5\sin(-5t)+5\sin(15t)$ 이므로 전력은 $25/2+25/2=25$ 입니다.

(c) $e^{j\omega t}\cos\omega_0 t$

(Sol) $\frac{1}{T_0}\int_{-T_0/2}^{T_0/2}|\,e^{j\omega t}\cos\omega_0 t\,|^2 dt=\frac{1}{T_0}\int_{-T_0/2}^{T_0/2}\cos^2\omega_0 t dt=\frac{1}{2}$

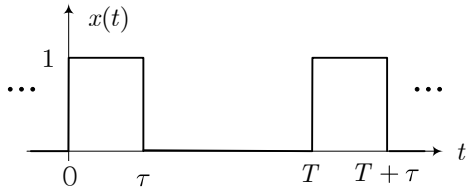
(d) $x(t)=10\cos\left(2\pi f_c t+\frac{\pi}{3}\right)$

(Sol) $10^2/2=50$

(e) $x(t)=\sqrt{50}\cos\ 100t\ +\sqrt{50}\sin\ 100t$

(Sol) $x^2(t)=(\sqrt{50}\cos 100t+\sqrt{50}\sin 100t)^2=50(\cos 100t+\sin 100t)^2=50$

(f) $x(t)$: 다음과 같은 주기 신호



(Sol) $\frac{1}{T}\int_0^{\tau}x^2(t)dt=\frac{\tau}{T}$

2.8 다음 표현을 최대한 간단히 나타내세요.

(a) $\frac{\sin[\pi(t-2)/2]}{t^2+4}\delta(t-1)$

(Sol) 델타함수의 특성을 이용하면, $\frac{\sin[\pi(t-2)/2]}{t^2+4}\delta(t-1)=-\frac{1}{5}\delta(t-1)$

(b) $\left(\frac{\sin k\omega}{\omega}\right)\delta(\omega)$

(Sol) $\frac{\sin k\omega}{k\omega}=\mathrm{Sa}(k\omega)$ 이므로, $\left(\frac{\sin k\omega}{\omega}\right)\delta(\omega)=k\mathrm{Sa}(k\omega)\delta(\omega)=k\delta(\omega)$

(c) $\int_{-5}^{5} 7e^{2t}\cos t\delta(t)dt$

(Sol) $7e^{2t}\cos t = f(t)$ 로 치환하면 $\int_{-5}^{5} 7e^{2t}\cos t\delta(t)dt = \int_{-5}^{5} f(t)\delta(t)dt = f(0) = 7$

(d) $\int_{-5}^{5} 7e^{2t}\cos t\delta(t-2)dt$

(Sol) $7e^{2t}\cos t = f(t)$ 로 치환하면 $\int_{-5}^{5} 7e^{2t}\cos t\delta(t-2)dt = \int_{-5}^{5} f(t)\delta(t-2)dt = f(2) = 7e^{4}\cos 2$

(e) $\int_{-\infty}^{\infty} g(\tau)\delta(t-\tau)d\tau$

(Sol) $\int_{-\infty}^{\infty} g(\tau)\delta(t-\tau)d\tau = g(t) * \delta(t) = g(t)$

(f) $\int_{-\infty}^{\infty} e^{(x-1)}\cos[\pi(x-5)]\delta(x-3)dx$

(Sol) $e^{(x-1)}\cos[\pi(x-5)] = f(x)$ 로 치환하면

$\int_{-\infty}^{\infty} e^{(x-1)}\cos[\pi(x-5)]\delta(x-3)dx = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\delta(x-3)dx = f(3) = e^{2}\cos(-2\pi) = e^{2}$

2.11 주기 함수 $x(t)$가 다음과 같을 때 물음에 답하세요.

$$x(t) = 3\cos t + \cos(5t - 2\pi/3) + 2\cos(8t + 2\pi/3)$$

(b) 지수 푸리에 급수로 표현하고, 진폭과 위상 스펙트럼을 그림으로 나타내세요.

(Sol) $x(t) = \frac{3}{2}e^{jt} + \frac{3}{2}e^{-jt} + (\frac{1}{2}e^{-j\frac{2\pi}{3}})e^{j5t} + (\frac{1}{2}e^{j\frac{2\pi}{3}})e^{-j5t} + (e^{-j\frac{2\pi}{3}})e^{j8t} + (e^{j\frac{2\pi}{3}})e^{-j8t}$

2.16 삼각 푸리에 급수가 다음과 같이 주어졌을 때, 주기 T_0의 주기 함수임을 증명하세요.

$$x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(nw_0 t + \theta_n)$$

(Sol) $x\ t$ 가 T_0의 주기 함수라고 가정한다면 다음 조건을 만족합니다.

$$x(t) = x\ t + T_0$$

$$x(t+T_0) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos\ n\omega_0\ t + T_0\ + \theta_n$$

$$= c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos\ n\omega_0 t + n\omega_0 T_0 + \theta_n$$

$\omega_0 = 2\pi / T_0$ 이고 삼각 함수의 특징으로 $\cos\ at + 2\pi n + \theta_n\ = \cos\ at + \theta_n$ 이므로

$$x\ t\ = x\ t + T_0$$

그러므로 $x\ t$ 는 주기 T_0인 주기 함수입니다.

Chapter 03 연습문제

3.7 다음 신호의 푸리에 변환을 구하세요.

(a) $x(t) = \begin{cases} |t|, & -1 \le t \le 1 \\ 1, & 1 < |t| \le 2 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$

(Sol) $x(t) = \text{rect}(t/4) \text{-} \Lambda(t) \quad X(\omega) = 4\text{Sa}(2\omega) \text{-} \text{Sa}^2(\omega/2)$

(e) $x(t) = \text{rect}(t-1) + \text{rect}(t+1)$

(Sol) $X(\omega) = \text{Sa}(\omega/2)\,\text{e}^{j\omega} + \text{Sa}(\omega/2)\,\text{e}^{-j\omega} = \text{Sa}(\omega/2)(e^{j\omega} + \text{e}^{-j\omega}) = 2\text{Sa}(\omega/2)\cos\omega$

(f) $x(t) = t\text{Sa}(t)$

(Sol) $x(t) = t\text{Sa}(t) = t\dfrac{\sin t}{t} = \sin t \leftrightarrow X(\omega) = -j\pi\{\delta(\omega-1) + \delta(\omega+1)\}$

Chapter 04 연습문제

4.14 변조 신호 $x(t)=\mathrm{Sa}(t)$ 이고 반송파 신호가 $c(t)=A\cos(\omega_c t)$ 일 때, DSB-SC 변조 신호의 주파수 영역 표현식과 대역폭을 구하세요.

(Sol) $\varphi_{\text{DSB-SC}}(t)=\mathrm{Sa}(t)A\cos(\omega_c t)$, 대역폭은 2[rad/s]

4.15 $x(t)=2\cos(2000\pi t)$ 의 변조 신호를 변조 지수 $m=0.5$, $c(t)=10\cos(2\pi\times10^6 t)$ 의 캐리어 주파수로 DSB-LC 변조할 때, 다음 문제를 푸세요.

(a) DSB-LC 변조 신호 $\phi_{\text{DSB-LC}}(t)$를 제시하세요.

(Sol) $\phi_{\text{DSB-LC}}=10k\{4+2\cos(2000\pi t)\}\cos(2\pi 10^6 t)$

(b) DSB-LC 변조 신호의 전력 효율 η를 구하세요.

(Sol) 11.1%

(c) 송신기에서 송신 안테나의 저항이 25Ω 일 때, 송신 안테나에서의 평균 전력을 구하세요.

(Sol) $36k^2$ W

4.17 SSB 변조에 대해 다음 문제를 푸세요.

(c) 신호 $x_1(t)$ 와 $x_2(t)$ 를 SSB 변조하려고 할 때 $x_1(t)$ 와 $x_2(t)$ 의 대역폭이 각각 ω_1 ω_2 이며 두 변조 신호에 대한 반송파 주파수는 각각 ω_{c1} ω_{c2} 입니다. 그리고 두 신호의 대역폭은 반송파 주파수보다 아주 작다고 가정합니다. $|\omega_{c1}-\omega_{c2}|$ 의 최솟값을 구하고, 이때 변조된 신호의 대역폭을 구하세요.

(Sol) $\omega_{C1}<\omega_{C2}$ 라면 $|\omega_{c1}-\omega_{c2}|\geq\omega_1$

4.18 사람의 음성 신호는 $x_1(t)$, 오케스트라의 음악 신호는 $x_2(t)$ 일 때, 음성은 300~3400[Hz]의 주파수 특성을 보이며, 사람이 들을 수 있는 주파수 범위는 15~20000[Hz]입니다. 다음 문제를 푸세요.

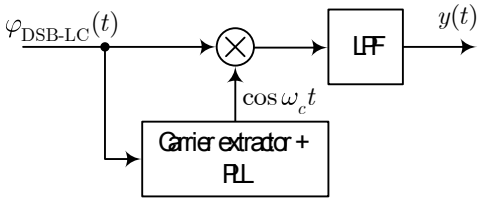
(a) 사람의 음성만을 DSB-SC 변조하려고 할 때 반송파 주파수 ω_c 의 범위를 결정하세요. 단, 가청 주파수밖에 존재하도록 하세요.

(Sol) $\omega_c\geq 2\pi\ 23{,}400$ [rad/s]

4.21 중간 주파수가 455[kHz]인 슈퍼헤테로다인 AM 수신기가 있고, AM 방송 대역은 540~1600[kHz]입니다. 수신기의 국부 발진기가 방송 신호의 반송파 신호보다 높을 때, AM 방송을 수신하기 위한 국부 발진기의 주파수 범위를 구하세요.

(Sol) 995~2055 kHz

4.22 DSB-LC 변조된 신호 $\varphi_{\text{DSB-LC}}(t) = \{A + x(t)\}\cos\omega_c t$ 를 그림과 같이 동기식 검파기를 이용하여 복조할 때, 다음 문제를 푸세요.



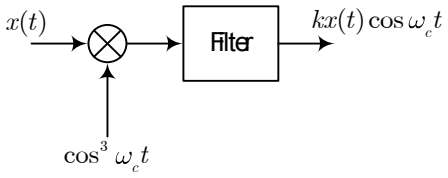
(a) $y(t)$ 를 구하세요.

(Sol) $y(t) = \{A + x(t)\}/2$

4.26 SSB 변조된 신호에 대해 신호 제곱 방식과 PLL을 이용하여 반송파 동기를 하려고 합니다. 이 방식으로 동기 검파가 가능한지를 밝히세요.

(Sol) SSB-SC에서는 제곱방식과 PLL을 이용하여 반송파 동기를 할 수 없다.

4.28 기저 대역의 대역폭이 B [Hz]인 변조 신호 $x(t)$ 를 DSB-SC 변조하여 $\varphi_{\text{DSB-SC}}(t) = kx(t)\cos\omega_c t$ 를 생성하려고 할 때, 다음 문제를 푸세요. 단, k 는 상수입니다.



(a) 변조 신호를 생성하기 위한 필터의 특성을 제시하세요.

(Sol) 중심주파수가 $\pm\omega_c$ 인 BPF

(b) ω_c 의 범위를 결정하세요.

(Sol) $\omega_c \geq 2\pi B$

Chapter 05 연습문제

5.8 각변조 신호 $\varphi_{\mathrm{EM}}(t)=10\cos(20000\pi t+2\pi\cos 2000\pi t)$에 대해 다음 문제를 푸세요.

(a) PM 변조 신호일 때 메시지 신호 $x(t)$를 구하세요. 단, $k_{\mathrm{P}}=10\pi$ 입니다. 그리고 카슨의 규칙을 이용하여 대역폭을 구하세요.

(Sol) 14.56kHz

(b) FM 변조 신호일 때 메시지 신호 $x(t)$를 구하세요. 단, $k_{\mathrm{F}}=10\pi^2$ 입니다. 그리고 카슨의 규칙을 이용하여 대역폭을 구하세요.

(Sol) 14.56kHz

5.9 순시 주파수가 $f_i(t)=f_c+10^3\mathrm{Sa}(100\pi t)$ [Hz]인 FM 변조에 대해 다음 문제를 푸세요.

(a) 주파수 편이를 구하세요. 단, $\mathrm{Sa}(100\pi t)$의 최댓값은 1, 최솟값은 $-2/(3\pi)=-0.2122$ 입니다.

(Sol) 606Hz

(b) 카슨의 규칙을 이용하여 FM 변조 신호의 대역폭을 구하세요.

(Sol) 1312Hz

5.10 $\varphi_{\mathrm{FM}}(t)=A_c\cos\{2\pi f_c t+20\pi\int_0^t\cos(1000\pi\tau)d\tau\}$ 일 때 다음 문제를 푸세요.

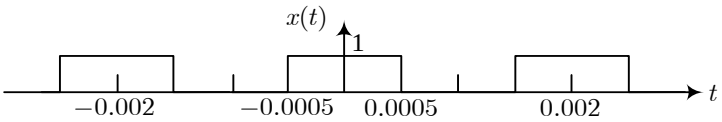
(a) 주파수 편이를 구하세요.

(Sol) 10Hz

(b) 카슨의 규칙을 이용하여 FM 변조 신호의 대역폭을 구하세요.

(Sol) 1020Hz

5.12 FM 변조된 신호 $\varphi_{\mathrm{FM}}(t)=\cos\{10000\pi t+100\pi\int_0^t x(\tau)d\tau\}$ 에 대해 다음 문제를 푸세요. 단, 변조 신호 $x(t)$는 다음과 같은 주기 신호입니다.



(a) $\varphi_{\mathrm{FM}}(t)$의 순간 주파수 $\omega_i(t)$와 주파수 편이를 구하세요.

(Sol) 25Hz

(b) $x(t)$를 푸리에 급수 전개한 후 변조 신호의 대역폭을 구하세요. 단, 진폭이 가장 큰 주파수 성분보다 크기가 15% 이하인 주파수 성분은 무시합니다.

(Sol) 1500Hz

(c) 카슨의 규칙을 이용하여 $\varphi_{\mathrm{FM}}(t)$의 대역폭을 구하세요.

(Sol) 3050Hz

5.13 각종 변조 신호의 대역폭 개념을 다시 한 번 상기하고자 합니다. $x(t)$, $y(t)$는 기저 대역 신호로서 대역폭이 각각 10[kHz], 20[kHz]이고 $|dx(t)/dt| \le 2000$ 일 때, 다음 변조 신호에 대한 대역폭을 구하세요. 각변조의 경우 카슨의 규칙을 이용하세요.

(a) $\varphi(t) = 10\cos(2\pi 10^5 t + 2\sin 1000\pi t + 10\sin 5000\pi t)$

(Sol) 5700Hz

(b) $\varphi(t) = x(t)\cos(10^6\pi t) - y(t)\sin(10^6\pi t)$

(Sol) 40kHz

(c) $\varphi(t) = x(t)y(t)\cos(10^6\pi t)$

(Sol) 60kHz

(d) $\varphi(t) = y(t)\cos\{2\pi 10^6 t + 20\pi x(t)\}$

(Sol) 100kHz

5.16 스테레오 FM 방송에서 왼쪽 마이크의 신호는 $x_L(t) = 20\mathrm{Sa}(20\pi t)$, 오른쪽 마이크의 신호는 $x_R(t) = 100\mathrm{Sa}^2(10\pi t)$이고 파일럿 신호의 주파수가 f_c일 때, 다음 문제를 푸세요.

(b) 스테레오 FM 신호의 기저 대역 스펙트럼을 그리세요. 기존의 FM 방송이 아닌 경우, 가능한 한 최소의 파일럿 주파수 f_c를 구하세요.

(Sol) 10Hz

Chapter 06 연습문제

공개된 답안 없음

Chapter 07 연습문제

7.7 [그림 7-5]의 라인 코드에 대한 다음 문제를 푸세요.

(a) 에러 검출 기능이 있는 부호를 열거하고, 에러 검출이 가능한 이유를 설명하세요.

(Sol) AMI-NRZ와 AMI-RZ는 1이 짝수번째 발생할 때마다 극성이 바뀐다. 이것을 통하여 약간의 에러 검출이 가능하다.

(b) PSD에 DC 성분이 존재하는 라인 코드를 제시하세요.

(Sol)Unipolar NRZ, Unipolar RZ, Polar NRZ, Polar RZ

7.8 200[Hz]의 정현파를 샘플링 주파수 150[Hz]로 샘플링한 경우, 그 결과를 수식으로 나타내세요.

(Sol) $X_s(\omega) = 150\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} \{\delta(\omega - 300\pi n - 400\pi) + \delta(\omega - 300\pi n + 400\pi)\}$

7.9 목소리 신호의 대역이 300~3400[Hz]이고, 32레벨로 양자화하여 PCM 신호를 구현하려고 합니다. 8000[sps]로 샘플링할 때 다음 문제를 푸세요.

(a) 이진으로 표시한 PCM 신호의 데이터율을 bps로 나타내세요.

(Sol) 40kbps

(b) 이진 PCM 데이터를 서로 다른 4개 레벨의 심벌로 매핑한 경우의 심벌률을 구하세요.

(Sol) 20ksps

(c) 위 (b)의 결과를 펄스 성형했을 때 신호의 최소 대역폭을 구하세요.

(Sol) 기저대역에서 최소 대역폭은 10kHz

(d) 위 (c)의 롤-오프 계수가 0.5일 때 신호의 대역폭을 구하세요.

(Sol) 15kHz

7.11 아날로그 신호 $x(t) = 5\cos 2000\pi t + 3\sin 6000\pi t + 8\cos 10000\pi t$ 에 대한 다음 문제를 푸세요.

(a) 이 신호의 나이퀴스트 샘플링 주파수를 구하세요.

(Sol) 30kHz

(b) 이 신호를 5000[Hz]로 샘플링할 때 얻을 수 있는 이산 시간 신호를 수식으로 나타내세요.

(Sol) $x_s(t) = \sum^{\infty} \{5\cos 2000\pi t + 3\sin 6000\pi t + 8\cos 10000\pi t\}\delta(t - n/5000)$

7.12 신호 $x(t) = A\sin(1500\pi t)$ 를 샘플링 주파수 3[kHz]로 샘플링 했을 때, 이 신호를 복원하기 위한 이상적인 복원 필터를 설계하세요.

(Sol) 차단주파수가 750~2250[Hz]인 LPF

7.13 주파수 대역이 500~2000[Hz]로 제한된 신호가 있습니다. 1초당 5000개의 샘플이 추출되어 PCM 신호가 만들어지고, 출력에서 SQNR은 20[dB] 이상입니다. 여기서 필요한 균등 양자화 레벨의 최소 개수와 샘플당 필요한 최소 비트 수를 구하세요. 그리고 PCM 출력을 4비트씩 묶어서 심벌로 표현할 때, 심벌률과 펄스 성형 후 전송에 필요한 최소 대역폭을 구하세요.

(Sol) 최소 비트수 4, 양자화 레벨 16개, 심벌률 5ksps, 기저대역에서 최소 대역폭 2.5kHz

7.14 0 또는 +3.3[V]의 값을 가진 유니폴라 RZ 부호 신호에 10^{-3} [W/Hz]의 PSD 를 가진 AWGN 잡음이 섞였을 때, 비트 오류 확률 P_e 가 10^{-4} 보다 작아지는 최대 비트 전송률을 구하려고 합니다.

(a) 유니폴라 RZ 부호에서 $P_e < 10^{-4}$ 를 만족하는 AWGN의 전력 σ_n^2 를 구하세요.

(Sol) $\sigma_n^2 = 5.5539 \times 10^{-5}$

(b) (a)의 결과를 이용하여 대역폭을 구하세요.

(Sol) 196Hz

(c) 유니폴라 RZ 신호의 비트 전송률을 구하세요.

(Sol) 188.5bit/s

Chapter 08 연습문제

8.10 10[kHz]의 대역폭을 가지는 16-PSK 전송 시스템의 최대 비트 전송 속도(bit rate)를 구하세요.

(Sol) 40kbps

8.11 1,000개의 부반송파를 사용하는 OFDM 시스템이 1[MHz]의 대역을 사용한다고 가정합니다. 각 물음에 답하세요.

(a) 만약 16-QAM 심벌을 전송한다면 몇 비트 정보를 전송할 수 있습니까?

(Sol) 4000 비트

(b) 한 개 부반송파의 심벌 전송율을 구하고, 각 부반송파의 간격을 구하세요.

(Sol) 4비트, 1000Hz

8.12 10[MHz]의 대역폭과 16개의 부반송파를 사용하고 대역폭 효율이 0.8[bps/Hz]인 OFDM 시스템이 있습니다. 전송 데이터는 16QAM에 의해 변조되었을 때, 이 시스템의 심벌전송률을 구하세요.

(Sol) 2Msps

8.14 64-QAM과 256-QAM의 변조 에러 확률을 구하세요. 심벌 에너지 E_S와 비트 에너지 E_b를 이용하여 두 가지로 표현하세요.

(Sol) 64-QAM $P_e < 3.5Q\left(\sqrt{\frac{6}{21}\frac{E_b}{N_0}}\right)$, 256-QAM $P_e < 3.75Q\left(\sqrt{\frac{1}{10.625}\frac{E_b}{N_0}}\right)$

8.16 QAM 변조 시스템에서 비트 전송율이 2400[bps] 또는 심벌 전송율이 1200[sps]일 때 AWGN 채널에서 비트 에러율 10^{-5}을 달성하기 위한 E_b/N_0를 구하세요.

(Sol) 9.0946