論 文

E級高效率同調電力增幅器의 動作特性에 관한 硏究

正會員 金 正 祺*

A Study on the Operation of the Class E High-Efficiency Tuned Power Amplifier

Jung Ki KIM*, *Regular Member*

要 約 병렬 인덕터와 직렬공진회로를 부하로 갖는 E급 동조전력 증폭기의 duty cycle변화에 따른 콜렉터 전압과 전류, 기본 주파수 성분, 부하회로소자 및 출력전력능력에 관한 방정식을 유도하여 최적동작상태의 특성을 해석하며 실제 콜렉터 포화전압을 고려하여 duty cycle이 50%일 때 증폭효율이 90%이상된다는 것을 이론과 실험을 통하여 고찰하였다.

ABSTRACT This paper presents an exact analysis of the class E tuned power amplifier with a shunt inductor. The following performance parameters are determined for optimum operation with any switch duty ratio: the collector current and voltage waveforms, the peak values of collector current and voltage, the output power, the power output capability, and the values of the load network elements. The analysis shows that the maximum power output capability occurs at a duty ratio of 50 percent. The measured collector efficiency of experiments is 93 percent with 0.93W at 1MHz. This amplifier is especially applicable at portable transmitters because its colletor efficiency is extremely high.

1. 서 론

1981년 M. Kazimierczuk는 병렬 인덕터와 직렬공진회로를 부하로 갖는 E급 동조전력 증폭기를 고안하여 duty cycle이 50%일 때 이 증폭기의 특성을 근사적으로 해석하였다[1]. 본 논문에서는 duty cycle변화에 따른 콜렉터 전압과 전류, 기본 주파수 성분, 부하회로소자 및 출력전력능력에 관한 방정식을 유도하여 최적동작상태의 특성을 해석하며 실제 콜렉터 포화전압을 고려하여 duty cycle이 50%일 때 증폭효율이 90%이상 된다는 것을 이론과 실험을 통하여 고찰하였다.

2. E급 동조전력 증폭기의 동작원리

1개의 트랜지스터와 병렬 인덕터 및 직렬공진회로로 구성된 E급 동조전력 증폭기의 기본회로를 그림 1 (a)에 보였다.

그림에서 트랜지스터는 duty cycle에 따라 동작주파수 $f=\omega/2\pi$로 구동되어 스위칭 작용을 한다. 커패시턴스 C_r은 2개의 직렬 커패시턴스 C_r와 C로 나누어지며 C_r는 동작 주파수 f에서 L_r와 함께 직렬공진회로를 구성한다.

E급 증폭기는 트랜지스터의 on-off시 발생하는 전력손실을 줄여 고효율로 동작시키기 위해서 다음 조건이 만족되어야 한다.

$$i_c(2\pi)=0 \tag{1}$$

$$\frac{di_c(\omega t)}{d(\omega t)}\Big|_{\omega t=2\pi}=0 \tag{2}$$

이 증폭기의 동작원리를 그림 2에서 duty cycle $D=0.5$일 때의 파형으로 설명하였다.

3. E급 동조전력 증폭회로 해석

증폭회로를 해석하기 전에 트랜지스터는 포화

* 中央大學校工科大學電子工學科
Dept. of Electronic Engineering, Chungang University, Seoul, 151 Korea
論文番號 : 84-18 (接受 1984. 9. 7)

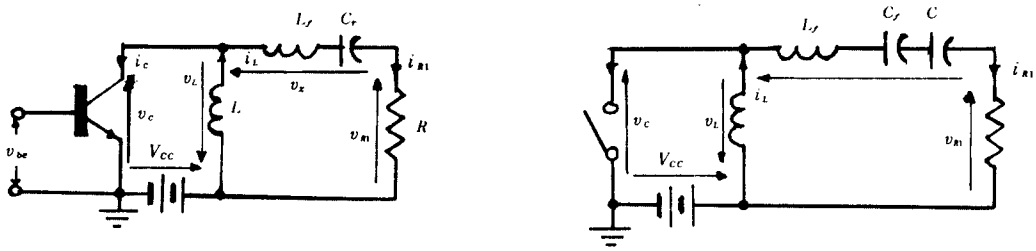

그림 1 병렬 인덕터로 구성된 E급 증폭기. (a) 기본회로 (b) 등가회로
Class E amplifier with shunt inductor
(a) Basic circuit, (b) Equivalent circuit

저항과 포화전압이 0이며 off저항은 무한히 크고 지연시간, 축적시간, 하강시간이 0인 이상적인 스위칭 작용을 하며 부하회로소자는 선형적이며 자려공진 주파수가 증폭기의 동작 주파수보다 훨씬 높고 손실이 없는 소자로 가정한다.

(1) 정상상태 방정식

그림 1 (b)에서 기본 방정식은

$$i_c(\omega t) = i_L(\omega t) - i_{R1}(\omega t) \tag{3}$$

$$v_c(\omega t) = V_{cc} - v_L(\omega t) \tag{4}$$

직렬동조 출력회로의 정현파 출력전류는

$$i_{R1}(\omega t) = I_{R1}\sin(\omega t + \phi) \tag{5}$$

그림 2에서 스위치가 개방될 때

$$i_c(\omega t) = 0, \quad 0 < \omega t \le 2\pi(1-D) \tag{6}$$

$$i_L(\omega t) = i_{R1}(\omega t) = I_{R1}\sin(\omega t + \phi), \quad 0 < \omega t \le 2\pi(1-D) \tag{7}$$

$$v_L(\omega t) = \omega L \frac{di_L(\omega t)}{d(\omega t)} = \omega L\, I_{R1}\cos(\omega t + \phi), \quad 0 < \omega t \le 2\pi(1-D) \tag{8}$$

$$v_c(\omega t) = V_{cc} - \omega L\, I_{R1}\cos(\omega t + \phi), \quad 0 < \omega t \le 2\pi(1-D) \tag{9}$$

그림 2에서 스위치가 단락될 때

$$v_c(\omega t) = 0, \quad 2\pi(1-D) < \omega t \le 2\pi \tag{10}$$

$$v_L(\omega t) = V_{cc}, \quad 2\pi(1-D) < \omega t \le 2\pi \tag{11}$$

$$i_L(\omega t) = \frac{V_{cc}}{\omega L}(\omega t - 2\pi + 2\pi D) - I_{R1}\sin(2\pi D - \phi), \quad 2\pi(1-D) < \omega t \le 2\pi \tag{12}$$

$$i_c(\omega t) = \frac{V_{cc}}{\omega L}(\omega t - 2\pi + 2\pi D) - I_{R1}\left[\sin(\omega t + \phi) + \sin(2\pi D - \phi)\right], \quad 2\pi(1-D) < \omega t \le 2\pi \tag{13}$$

식(1)과 식(13)에서

$$I_{R1} = V_{cc}\frac{\pi D}{\omega L \sin \pi D \cos(\pi D - \phi)} \tag{14}$$

식(2)와 식(13)에서

$$I_{R1} = \frac{V_{cc}}{\omega L \cos\phi} \tag{15}$$

식(6), 식(13), 식(15)에서

$$i_c(\omega t) = \begin{cases} 0 & 0 < \omega t \le \pi \\ \dfrac{V_{cc}}{\omega L}\left\{\omega t - 2\pi + 2\pi D - \dfrac{1}{\cos\phi}\left[\sin(\omega t + \phi) + \sin(2\pi D - \phi)\right]\right\} & 2\pi(D-1) < \omega t \le 2\pi \end{cases} \tag{16}$$

식(14)와 식(15)에서

$$\tan\phi = \frac{\pi D - \sin\pi D\cos\pi D}{\sin^2\pi D} \tag{17}$$

$$\phi = \arctan\frac{\pi D - \sin\pi D\cos\pi D}{\sin^2\pi D} \tag{18}$$

$$\sin\phi = \frac{\pi D - \sin\pi D\cos\pi D}{\sqrt{(\sin^2\pi D)^2 + (\pi D - \sin\pi D\cos\pi D)^2}} \tag{19}$$

$$\cos\phi = \frac{\sin^2\pi D}{\sqrt{(\sin^2\pi D)^2 + (\pi D - \sin\pi D\cos\pi D)^2}} \tag{20}$$

식(16)과 식(17)에서

$$\begin{cases} 0 & 0 < \omega t \le 2\pi(1-D) \\ \dfrac{V_{cc}}{\omega L}\left\{\omega t - 2\pi + 2\pi D - \sin\omega t\right. \end{cases}$$

$$i_c(\omega t)\begin{cases} -\sin 2\pi D-\dfrac{(\cos\omega t-\cos 2\pi D)}{\sin^2\pi D} \\ \dfrac{(\pi D-\sin\pi D)}{} \end{cases}$$

$$2\pi(1-D)<\omega t\leq 2\pi \qquad (21)$$

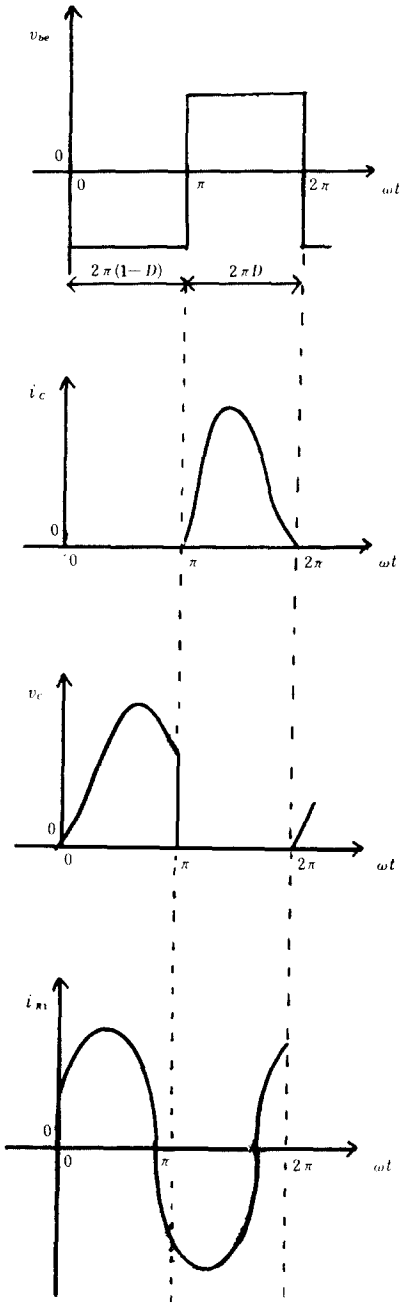

그림 2 최적동작상태의 파형 ($D=0.5$)
Waveforms for the amplifier optimum operation ($D=0.5$).

직류전원전류 I_{cc}는

$$I_{cc}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_c(\omega t)\,d(\omega t)$$
$$=\frac{V_{cc}}{2\pi\omega L}\Big\{2\pi^2D^2+1-2\pi D\sin 2\pi D-\cos 2\pi D-(\sin 2\pi D-2\pi D\cos 2\pi D)\cdot\frac{\pi D-\sin\pi D\cos\pi D}{\sin^2\pi D}\Big\} \qquad (22)$$

식(15), 식(20), 식(22)에서 출력전류 I_{R1}은

$$I_{R1}=2\pi\, I_{cc}\sqrt{(\sin^2\pi D)^2+(\pi D-\sin\pi D\cos\pi D)^2}\,/\,[\sin^2\pi D(2\pi^2D^2+1-2\pi D\sin 2\pi D-\cos 2\pi D)-(\sin 2\pi D-2\pi D\cos 2\pi D)\cdot(\pi D-\sin\pi D\cos\pi D)] \qquad (23)$$

식(21), 식(22)로부터 콜렉터 전류는

$$\frac{i_c(\omega t)}{I_{cc}}=\begin{cases} 0 & 0<\omega t\leq 2\pi(1-D) \\ 2\pi\{(\omega t-2\pi+2\pi D)-\sin\omega t-\sin 2\pi D)\sin^2\pi D-(\cos\omega t-\cos 2\pi D)(\pi D-\sin\pi D\cos\pi D)\} & \\ /\{(2\pi^2D^2+1-2\pi D\sin 2\pi D)\sin^2\pi D & \\ -(\sin\pi D-2\pi D\cos 2\pi D) & \\ \cdot(\pi D-\sin\pi D\cos\pi D)\} & \\ 2\pi(1-D)<\omega t\leq 2\pi \end{cases} \qquad (24)$$

식(9), 식(10), 식(15), 식(17)로부터 콜렉터 전압은

$$\frac{v_c(\omega t)}{V_{cc}}=\begin{cases} 1-\cos\omega t+\sin\omega t\cdot\dfrac{\pi D-\sin\pi D\cos\pi D}{\sin^2\pi D} & \\ 0<\omega t\leq 2\pi(1-D) & \\ 0 \qquad 2\pi(1-D)>\omega t\leq 2\pi \end{cases} \qquad (25)$$

(2) 부하회로의 소자값

출력전압은 정현파이므로

$$v_{R1}(\omega t)=V_{R1}\sin(\omega t+\phi) \qquad (26)$$

여기서

$$V_{R1}=RI_{R1} \qquad (27)$$

기본 주파수 전압 v_{X1}은 C에만 걸리므로

$$v_{X1}(\omega t)=V_{X1}\cos(\omega t+\phi) \qquad (28)$$

여기서

$$V_{X1}=-\frac{I_{R1}}{\omega C} \qquad (29)$$

콜렉터 전압의 기본 주파수 성분은

$$v_{c1}(\omega t)=v_{R1}(\omega t)+v_{X1}(\omega t) \tag{30}$$

위상변이는

$$\tan\Psi=\frac{V_{X1}}{V_{R1}}=-\frac{1}{\omega CR} \tag{31}$$

식(25)로부터

$$\begin{aligned}V_{R1}&=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}v_c(\omega t)\sin(\omega t+\phi)\,d(\omega t)\\&=\frac{V_{cc}}{\pi}\left\{\left(\frac{1}{2}+\frac{\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\right.\\&\quad-\frac{(\cos 4\pi D-1)\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{4\alpha}\\&\quad\left.+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\frac{\beta}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\right\}\end{aligned} \tag{32}$$

여기서

$$\alpha=\sin^2\pi D,\quad \beta=\pi D-\sin\pi D\cos\pi D$$

$$\begin{aligned}V_{X1}&=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}v_c(\omega t)\cos(\omega t+\phi)\,d(\omega t)\\&=\frac{V_{cc}}{\pi}\left\{\left[\left(\cos 2\pi D-\frac{1}{2}\cos 4\pi D-\frac{1}{2}\right)\right.\right.\\&\quad-\left(\sin 2\pi D-\frac{\sin 4\pi D}{4}\right)\alpha\\&\quad\left.-\beta^2\sin 4\pi D/4\alpha\right]\Big/\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\\&\quad\left.-(\pi-\pi D)\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\Big/\alpha\right\}\end{aligned} \tag{33}$$

식(29), 식(23), 식(32), 식(33)으로부터

$$\begin{aligned}V_{R1}&=\frac{\omega LI_{R1}}{\pi}\left\{\left[\left(\frac{1+\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\alpha^2\right.\right.\\&\quad\left.+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\alpha\beta\right]\\&\quad\Big/(\alpha^2+\beta^2)-(\cos 4\pi D-1)\Big/4\Big\}\end{aligned} \tag{34}$$

$$\begin{aligned}V_{X1}&=\frac{\omega LI_{R1}}{\pi}\left\{\left[\left(\cos 2\pi D-\frac{1+\cos 4\pi D}{2}\right)\alpha\beta\right.\right.\\&\quad-\left(\sin 2\pi D-\frac{\sin 4\pi D}{4}\right)\alpha^2-\left.\frac{\beta^2\sin 4\pi D}{4}\right]\\&\quad\Big/(\alpha^2+\beta^2)-\pi+\pi D\Big\}\end{aligned} \tag{35}$$

식(27), 식(31), 식(34), 식(35)로부터

$$\begin{aligned}\frac{\omega L}{R}&=\pi(\alpha^2+\beta^2)\Big/\left[\left(\frac{1+\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\alpha^2\right.\\&\quad+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\alpha\beta\\&\quad\left.-\frac{\cos 4\pi D-1}{4}(\alpha^2+\beta^2)\right]\end{aligned} \tag{36}$$

$$\begin{aligned}\omega CR&=\left[\frac{\cos 4\pi D-1}{4}(\alpha^2+\beta^2)-\left(\frac{1+\cos 4\pi D}{2}\right.\right.\\&\quad\left.-\cos 2\pi D\right)\alpha^2-\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\alpha\beta\Big]\\&\quad\Big/\left[\left(\cos 2\pi D-\frac{1+\cos 4\pi D}{2}\right)\alpha\beta\right.\\&\quad\left.-\left(\sin 2\pi D-\frac{\sin 4\pi D}{4}\right)\alpha^2-\frac{\beta^2\sin 4\pi D}{4}\right]\end{aligned} \tag{37}$$

$$\begin{aligned}\Psi&=\arctan\left\{\left[\left(\cos 2\pi D-\frac{1+\cos 4\pi D}{2}\right)\alpha\beta\right.\right.\\&\quad-\left(\sin 2\pi D-\frac{\sin 4\pi D}{4}\right)\alpha^2-\frac{\beta^2\sin 4\pi D}{4}\\&\quad\left.-(\pi-\pi D)(\alpha^2+\beta^2)\right]\Big/\left[\left(\frac{1+\cos 4\pi D}{2}\right.\right.\\&\quad\left.-\cos 2\pi D\right)\alpha^2+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\alpha\beta\\&\quad\left.\left.-\frac{\cos 4\pi D-1}{4}(\alpha^2+\beta^2)\right]\right\}\end{aligned} \tag{38}$$

식(26), 식(32)로부터

$$\begin{aligned}I_{R1}&=\frac{V_{cc}}{\pi}\left\{\left[\left(\frac{1+\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\alpha\right.\right.\\&\quad\left.+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\beta\right]\Big/\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\\&\quad\left.-\frac{(\cos 4\pi D-1)\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{4\alpha}\right\}\end{aligned} \tag{39}$$

식(23), 식(39)로부터

$$\begin{aligned}I_{cc}&=\frac{V_{cc}}{2\pi^2R}\left\{\left[\left(\frac{1+\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\alpha\right.\right.\\&\quad\left.+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\beta\right]\Big/(\alpha^2+\beta^2)\\&\quad\left.-\frac{\cos 4\pi D-1}{4\sin^2\pi D}\right\}[\alpha(2\pi^2D^2+1\\&\quad-2\pi D\sin 2\pi D-\cos 2\pi D)-(\sin 2\pi D\\&\quad\left.-2\pi D\cos 2\pi D)\beta]\right\}\end{aligned} \tag{40}$$

$$R=\frac{V_{R1}^2}{2P_0}$$

$$=\frac{V_{cc}^2}{2P_0\pi^2}\left\{\left[\left(\frac{1}{2}+\frac{\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\alpha+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\beta\right]\Big/\sqrt{\alpha^2+\beta^2}-\frac{(\cos 4\pi D-1)\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{4\alpha}\right\}^2 \quad (41)$$

$$L=\frac{R\pi(\alpha^2+\beta^2)}{\omega}\Big/\left[\left(\frac{1+\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\alpha^2+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-2\pi D\right)\alpha\beta-\frac{(\cos 4\pi D-1)(\alpha^2+\beta^2)}{4}\right] \quad (42)$$

$$C=\frac{1}{\omega R}\left[\frac{(\cos 4\pi D-1)(\alpha^2+\beta^2)}{4}-\left(\frac{1+\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\alpha^2-\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\alpha\beta-\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\alpha\beta\right]\Big/\left[\left(\cos 2\pi D-\frac{1+\cos 4\pi D}{2}\right)\alpha^2\beta^2-\left(\sin 2\pi D-\frac{\sin 4\pi D}{4}\right)\alpha^2-\frac{\beta^2\sin 4\pi D}{4}-(\pi-\pi D)(\alpha^2+\beta^2)\right] \quad (43)$$

$$\omega=\frac{1}{\sqrt{L_f C_f}} \quad (44)$$

$$Q_L=\frac{X_{cr}}{R}=\frac{C+C_f}{\omega RCC_f} \quad (45)$$

$$C_r=\frac{1}{\omega R Q_L} \quad (46)$$

$$L_f=\frac{Q_L\omega CR-1}{\omega^2 C} \quad (47)$$

(3) 첨두 콜렉터 전압과 전류

첨두 콜렉터 전류 i_{cmax}, 전압 v_{cmax}는 식(24), 식(25)을 미분하여 구할 수 있다.

$$i_{cmax}=2\pi I_{cc}\left[\left(2\pi D-2\arctan\frac{\beta}{\alpha}+\frac{2\alpha\beta}{\alpha^2+\beta^2}-\sin 2\pi D\right)\alpha-\beta\left(\frac{\alpha^2-\beta^2}{\alpha^2+\beta^2}-\cos 2\pi D\right)\right]\Big/\left[(2\pi^2D^2+1-2\pi D\sin 2\pi D-\cos 2\pi D)\alpha-\beta(\sin 2\pi D-2\pi D\cos 2\pi D)\right] \quad (48)$$

$$v_{cmax}=V_{cc}\left(1+\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}+\frac{\beta^2}{\alpha\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\right) \quad (49)$$

(4) 출력전력 및 출력전력 능력도

입력전력 P_i 및 출력전력 P_0는

$$P_i=I_{cc}\,V_{cc} \quad (50)$$

$$P_0=\frac{V_{R1}^2}{2R}=\frac{V_{cc}^2}{2\pi^2R}\left\{\left(\frac{1}{2}+\frac{\cos 4\pi D}{2}-\cos 2\pi D\right)\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}-\frac{(\cos 4\pi D-1)\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{4\alpha}+\left(\frac{\sin 4\pi D}{2}-\sin 2\pi D\right)\frac{\beta}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\right\}^2 \quad (51)$$

출력전력 능력도 P_{mc}는

$$P_{mc}=\frac{P_0}{i_{cmax}\cdot v_{cmax}}=\left[(2\pi^2D^2+1-2\pi D\sin 2\pi D-\cos 2\pi D)\alpha-\beta(\sin 2\pi D-2\pi D)\right]\alpha\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\Big/2\pi\left[\left(2\pi D-2\arctan\frac{\beta}{\alpha}+\frac{2\alpha\beta}{\alpha^2+\beta^2}-\sin 2\pi D\right)\alpha-\left(\frac{\alpha^2-\beta^2}{\alpha^2+\beta^2}-\cos 2\pi D\right)\beta\right](\alpha\sqrt{\alpha^2+\beta^2}+\alpha^2+\beta^2) \quad (52)$$

그림 3은 duty cycle변화에 따른 최적동작상태의 콜렉터 전압 및 전류파형이며 그림 4는 duty cycle변화에 따른 출력전력 능력도를 나타낸다. 그림 5는 duty cycle변화에 따른 첨두 콜렉터 전압 및 전류값의 크기를 나타낸다.

그림 4에서 $D=0.5$일 때 최대출력능력을 갖는 것을 알 수 있다.

4. 실험 및 결과

실험에 사용한 회로는 그림 1 (a)이며 동작 주파수는 1MHz이다. duty cycle은 최대전력능력을 나타내는 $D=0.5$로 정하고 $Q_L=20$, $P_0=1$[W]로 설계하였다. 이 때 소자값은 다음과 같이 구하였다.

부하저항 R의 값은 식(41)로부터

$$R=\frac{8(V_{cc}-V_{sat})^2}{P_0\pi^2(\pi^2+4)}=22.5[\Omega]$$

병렬 인덕턴스 L의 값은 식(42)로부터

$$L=\frac{R\pi(\pi^2+4)}{8\omega}=19.5[\mu H]$$

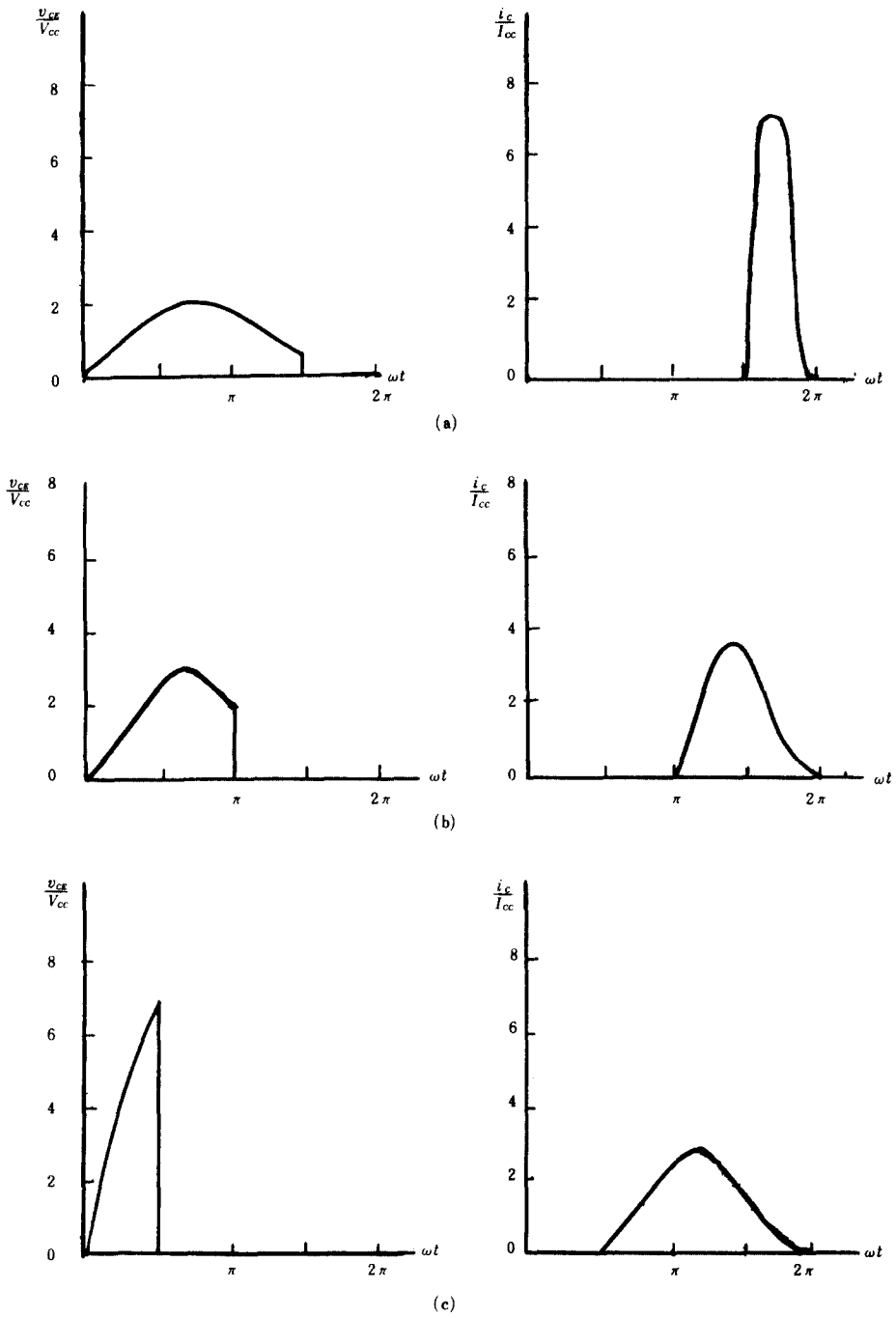

그림 3 duty cycle 변화에 따른 최적동작상태의 콜렉터 전압 및 전류파형
(a) $D=0.25$, (b) $D=0.5$, (c) $D=0.75$
Waveforms of the collector-to-emitter voltage and collector current for optimun opeation as a function of the switch duty ratio D.
(a) $D=0.25$, (b) $D=0.5$, (c) $D=0.75$.

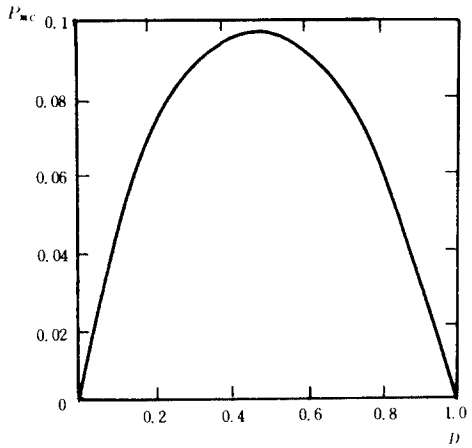

그림 4 Duty cycle변화에 따른 출력전력 능력도
The power-output capability as a function of the switch duty ratio.

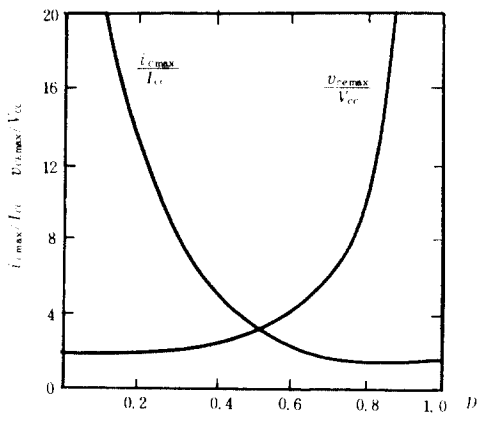

그림 5 Duty cycle변화에 따른 최대콜렉터전류 및 전압의 크기
The normaliyed peak collector current and collector-to-emitter voltageas functions of the switch duty ratio.

직렬공진회로의 커패시터 C_r의 값은 식(46)으로부터

$$C_r=\frac{1}{\omega R Q_L}=354\text{[pF]}$$

직렬공진회로의 이조 커패시터 C의 값은 식(43)으로부터

$$C=\frac{16}{\omega R\pi(\pi^2+12)}=1647\text{[pF]}$$

직렬공진회로의 인덕터 L_f의 값은 식(47)로부터

$$L_f=\frac{Q_L\omega CR-1}{\omega^2 C}=56.2\text{[}\mu\text{H]}$$

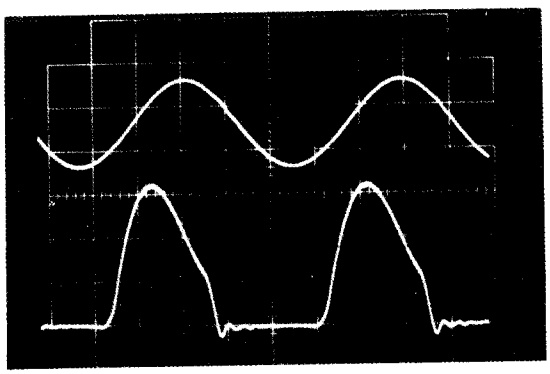

그림 6 출력전압과 콜렉터 전류 파형(수직 7V/div, 수평 200ns/div)
Waveformus of output voltaye and collector current (vertical : 7V/div, horizontal 200ns/div).

실험에 사용한 트랜지스터는 $f_T=300$[MHz]인 2N2219 NPN실리콘 스위칭 및 증폭용 트랜지스터이다.

실험결과 동작 주파수 1[MHz]에 0.93[W]의 출력전력을 얻었다. 이 때 직류입력전력이 1[W] 이므로 이 증폭기의 증폭효율은 93[%]이다. 이 증폭기의 전력손실은 on기간동안 존재하는 콜렉터 포화전압 및 off-on 천이기간시 일어나는 콜렉터 전압의 하강시간때문에 주로 일어난다.

그림 6은 출력전압과 콜렉터 전류의 파형을 나타낸다. 그림에서 트랜지스터가 off될 때 콜렉터 전류는 0이 되며 콜렉터 전류의 기울기가 0이다. 따라서 E급 동조전력 증폭기의 최적동작조건 식(1) 및 식(2)가 만족됨을 알 수 있다.

5. 결 론

병렬 인덕터를 갖는 E급 동조전력 증폭기 회로의 duty cycle변화에 따른 콜렉터 전압, 전류, 기본 주파수 성분, 부하회로소자 및 출력전력능력에 관한 식을 유도하여 해석하였다. 해석결과 $D=0.5$일 때 출력전력능력이 최대가 됨이 나타났다. 또한 실험을 통하여 E급 병렬인덕터 동조전력 증폭기의 효율이 93%이상이 되는 것을 증명하였다. 보다 낮은 포화전압 및 스위칭 속도가 빠른 트랜지스터를 사용하면 이상적인 E급 증폭기의 효율 100%에 접근함을 예측할 수 있었다.

E급 동조전력 증폭기는 펄스에 의해서 구동되므로 펄스 변조는 물론 유도한 식을 응하여 출

력전압이 전원공급전압에 따라 변화하므로 진폭변조가 가능하다는 것을 제시하였다.

E급 동조전력 증폭기는 효율이 극히 높으므로 전원소모가 주로 문제가 되는 휴대용 송신기에 가장 적합하게 사용될 수 있다.

본 논문은 문교부의 IBRD 교육차관자금에 의해서 연구된 것임.

參 考 文 獻

(1) M. Kazimierczuk, "Class E tuned power amplifier with shunt inductor," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-16, pp. 2-7, Feb. 1981.

(2) N. O. Sokal and A. D. Sokal, "Class E-A new class of high efficiency tuned single-ended switching power amp.," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-10, pp. 168-176, June 1975.

(3) N. O. Sokal, "Class E can boost the efficiency," Electronic Design," vol. 25, no. 20, pp. 96-102, Sept. 27, 1977.

(4) F. H. Rabb, "Idealized operation of the class E tuned power amplifier," IEEE Trans. Circuit Syst., vol. CAS-24, pp. 725-735, Dec. 1977.

(5) N. O. Sokal and F. H. Rabb, "Harmonic output of class E RF power amplifiers and load coupling network design," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-12, pp. 86-88, Feb. 1977.

(6) F. H. Rabb, "Effects of circuit variations on the class E tuned power amplifier," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-13, pp. 239-247, Apr. 1978.

(7) F. H. Rabb and N. O. Sokal, "Transistor power losses in the class E tuned power amplifier", IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-13, pp. 912-914, Dec. 1978.

(8) J. Ebert and M. Kazimierczuk, "Class E high-efficiency tuned power oscillator," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-16, pp. 62-66, Apr. 1981.

(9) N. O. Sokal, "Class E high-efficiency switching-mode tuned power amplifier with only one inductor and capacitor in load network-approximate analysis," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-16, pp. 380-384, Aug. 1981.

(10) M. Kazimierczuk, "Exact analysis of class E tuned power amplifier with only one capacitor in load natwork," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-18, pp. 214-221, Apr. 1983.

金 正 祺(Jung Ki KIM) 正會員

1942年 5 月 5 日生

1965年 2 月：延世大學校電氣工學科卒業

1969年 2 月：延世大學校大學院電氣工學科(工學碩士)

1975年 2 月：延世大學校大學院電氣工學科(工學博士)

1970年 3 月～1977年 2 月：光云工科大學 副敎授

1977年 3 月～現在：中央大學校電子工學科敎授

1982年12月～1983年12月：美코넬大學校客員敎授