

APLICACIONES RECIENTES DEL AMPLIFICADOR CLASE E EN RF

Pilar Molina Gaudó

Arturo Mediano Heredia

Jesús Navarro Artigas

Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones

Universidad de Zaragoza

pimolina@posta.unizar.es

amediano@posta.unizar.es

jenavarr@posta.unizar.es

RESUMEN

Este artículo resume el estado del arte actual de los amplificadores de potencia de RF en clase E. De lo relativo a ellos aparecido en la literatura técnica, se presentan únicamente aplicaciones publicadas desde el año 1998 hasta la actualidad en el rango de frecuencias entre 10 MHz y 10 GHz (la más avanzada existente hasta la fecha).

Las referencias incluidas permiten llevar a cabo el contraste crítico de las diferentes alternativas de diseño presentadas.

1. INTRODUCCIÓN

La clase E fue desarrollada y patentada por N.O. Sokal y A.D. Sokal [1] en 1975 y se caracteriza por una estructura simple que utiliza un único dispositivo activo. La red resonante de salida incluía, como principal innovación, una capacidad en paralelo con el dispositivo. Esta capacidad será aportada de manera externa, o bien estará constituida, en parte o completamente por la capacidad parásita de salida del dispositivo. En los amplificadores de clase E la eficiencia teórica alcanzable es del 100%.

Sus ventajas principales son, además de su mayor eficiencia, la mayor fiabilidad, la reducción del tamaño y del peso de los equipos y sobre todo, su diseño predecible y consistente gracias a la existencia de procesos de diseño claros y definidos [2].

Todas estas ventajas convierten a la configuración clase E en idónea para un gran número de aplicaciones de radio, cada vez a frecuencias mayores como muestra este artículo.

2. APLICACIONES RECIENTES DEL CLASE E

En los últimos años ha habido una gran utilización del amplificador clase E en frecuencias superiores a los 10 MHz, llegando hasta la decena de GHz para aplicaciones de comunicaciones. El avance en frecuencias en la utilización del clase E se ha debido a la publicación en 1995 de la tesis de Thomas B. Mader [3] y de los estudios de este último en colaboración con Zoya Popovic [4] en los que se explicitan los criterios de diseño de la etapa en clase E utilizando líneas de transmisión. El aumento en frecuencia de las aplicaciones se debe también a:

- El uso de una señal sinusoidal como driver de entrada.
- Las técnicas de linealización que han permitido la aplicación de esta clase de amplificación a señales digitales con modulaciones avanzadas en amplitud, fase y frecuencia.
- La inclusión en el proceso de diseño de la no linealidad de la capacidad parásita de salida [2].

La tabla siguiente muestra las mencionadas aplicaciones ordenadas en sentido de frecuencia creciente. Para cada una de ellas se detalla, siempre que ha sido posible, la potencia de salida, la eficiencia, la PAE ("power-added-efficiency", que incluye la potencia de entrada) y el dispositivo utilizado.

Referencia	Frecuencia	Aplicación/ Innovación	P_{out}	h [%]	PAE [%]	Dispositivo	Método de diseño
[5]	10 MHz	Amplificador	200 W	86%	84%	IRFP440 MOSFET	[6]
[7]	13.56 MHz	Amplificador industrial	400W	86%	84%	IRFP450LC MOSFET	[1]
[8]	27.12 MHz	Amplificador industrial	490W	83%	10 W	AP ARF448A MOSFET	[1,6]
[9]	144 MHz	Amplificador VHF	54 W	70%	5 W	Motorola LD MOS MRF183	[1]
[10]	480 MHz	Doblador	23.5 dBm	40%	35%	Siemens CLY5 MESFET	[3,4]
[11]	500 MHz	Comparar con clase A y F	27.4 dBm	83%	80%	Siemens CLY5 MESFET	[3,4]
[12]	800 MHz	Amplificador para GSMK	21.3 dBm	78%	74%	QN896 HBT	[20, 4]
[13]	885 MHz	Amplificador pre-antena	1.5 W	91%	79%	MRF557 Bipolar	[4]
[14]	935 MHz	Combinador de potencia de amplificadores	34.7 dBm	-	67%	Siemens CLY5 MESFET	[4]
[15]	1 GHz	Validación de ecuaciones,	26 dBm	60%	65%	Siemens CLY5 MESFET	-

Referencia	Frecuencia	Aplicación/ Innovación	P _{out}	h [%]	PAE [%]	Dispositivo	Método de diseño
		modelos no lineales					
[11]	1 GHz	Comparar con clase A y F	29.73dBm	-	73%	Siemens CLY5 MESFET	[3,4]
[16]	1.02 GHz	Verificación de un modelo no lineal	24 dBm	-	65%	Siemens CLY5 MESFET	[3,4]
[17]	1.98 GHz	2 etapas GSMK	1W	-	48%	CMOS IC (0.35um)	Otros
[10]	2.5 GHz	Dobrador a 5 GHz	330 mW	-	29%	Fujitsu FLK02WG	[3,4]
[18]	4.42 GHz	Topología para VCO	6.5 dBm	43%	-	GaAs MESFET IC (0.6um)	Otros
[19]	4.5 GHz	2 DC-DC Converters	Amplif. E 120 mW	95%	86%	Fujitsu FLK052WG	[3,4]
			Oscilador E 725 mW	-	57%		
[11]	5 GHz	Compara con clase A	0.61 W	81%	72%	Fujitsu FLK052WG	[3,4]
[11]	5.1 GHz	Compara con clase A y con el anterior	1.8 W	73%	60%	Fujitsu FLK202-MH14	[3,4]
[20, 21]	8.35 GHz	Compara con clase F. Combina 16 etapas para salida de 22.6W	1.7 W	57%	-	Fujitsu FLK202-MH14	[3,4]
			1.4 W	64%	48%		
[22]	10.1 GHz	Combinar 36 elementos	275 mW	-	48%	Alpha AFM08P2 MESFET	[3,4]
[23]	10 GHz	Compara con A para array	20 dBm	74%	62%	Alpha AFM04P2 MESFET	[3,4]

3. REFERENCIAS

- [1] N.O. Sokal and A.D. Sokal: "Class E – a new class of high efficiency tuned single-ended switching power amplifiers". IEEE Journal of solid State Circuits, vol 10, pp.168-176, June 1975.
- [2] Arturo Mediano Heredia, Contribución al estudio de los amplificadores de potencia de RF clase E. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1997.
- [3] T. B. Mader, *Quasi-Optical Class-E Power Amplifiers*. Ph. D. Thesis, University of Colorado, Boulder, CO, 1995.
- [4] Mader, T.B., Popovic, Z.: "The transmission line class E amplifier". IEEE Microwave and Guided Wave Lett., vol. 5, pp 290-292, September 1995.
- [5] Der-Stepanians, T., Rutledge, D.B., "10-MHz Class E Power Amplifiers". MSC#136-93. Department of Electrical Engineering, Caltech. 1998.
- [6] Davis, J.F., Rutledge, D.B.: "Industrial Class-E power amplifiers with low cost power MOSFETs and sine-wave drive". RF Design '97, Santa Clara, CA, Sept. 1997, pp 283-297.
- [7] Davis, J.F., Rutledge, D.B.: "A Low-Cost Class-E Power Amplifier with Sine-Wave Drive". Proc. MTT-S, Baltimore 1998, pp. 1113-1116.
- [8] Frey, R.: "500W, Class E 27.12 MHz Amplifier Using a Single Plastic MOSFET". Proc. MTT-S, Anaheim, CA, 1999, vol. 1, pp. 359-362.
- [9] Zirath, H., Rutledge, D.B.: "An LDMOS VHF Class-E Power Amplifier using a High-Q Novel Variable Inductor". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, No. 12, December 1999, pp. 2534-2538.
- [10] Weiss, M.D., Crites, M.H., Bryerton, E.W., Whitaker, J.F., Popovic, Z.: "Time-Domain Optical Sampling of Switched-Mode Microwave Amplifiers and Multipliers". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, No. 12, December 1999, pp. 2599-2604.
- [11] Mader, T.B., Bryerton, E.W., Markovic, M., Forman, M., Popovic, Z.: "Switched-Mode high-Efficiency Microwave Power Amplifiers in a Free-Space Power-Combiner Array". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 46, No. 10, October 1998, pp. 1391-1398.
- [12] Wong, G.K., Long, S.I.: "An 800 MHz HBT Class-E Amplifier with 74% PAE at 3 Volts for GSMK". Proc. of the 21st GaAs IC Symposium., Munich, October 1999, pp. 299-302.
- [13] Ortega González, F.J., Jiménez Martín, J., Asensio López, A., Torregosa Peñalva, G.: "High Efficiency Load-Pull harmonic Controlled Class-E Power Amplifier". IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol. 8, No. 10, October 1998, pp. 348-350.
- [14] Martin, A.L., Mortazawi, A.: "A Class-E Power Amplifier Based on an Extended Resonance Technique". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 48, No. 1, January 2000, pp. 93-97.
- [15] Rao Gudimetla, V.S., Zain, A.: "Design and Validation Of the Load Networks for broadband Class E amplifiers Using Nonlinear Models". Proc. MTT-S, Anaheim, CA, 1999., vol.2, pp. 823-826.
- [16] Markovic, M., Kain A., Popovic Z.: "Nonlinear Modeling of Class-E Microwave Power Amplifiers". International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, vol. 9, March 1999.
- [17] Tsai, K.C., Gray, P.R.: "A 1.9 GHz, 1-W CMOS Class E Power Amplifier for Wireless Communications". IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 34, No. 7, July 1999, pp. 962-970.
- [18] Ellinger, F., Lott, U., Bächtold, W.: "Low-supply Voltage High Efficiency MMIC Oscillator at C-Band". Proc. MTT-S, Anaheim, CA, 1999., vol. 1, pp. 87-89.
- [19] Djukic S., Maksimovic D. Popovic, Z.: "A planar 4.5 Ghz DC-DC Power Converter". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, No. 8, August 1999, pp. 1457-1460.
- [20] Bryerton, E., Weiss, M.D., Popovic, Z.: "Efficiency of Chip-level versus External Power Combining". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, No. 8, August 1999, pp. 1482-1485.
- [21] Weiss, M.D., Crites, M., Bryerton, E., Whitaker, J., Popovic, Z.: "Time Domain Optical Sampling of Nonlinear Microwave Amplifiers". Proc. MTT-S, Anaheim, CA, 1999, vol. 3, pp. 889-892.
- [22] Bryerton, E., Weiss, M.D., Popovic, Z.: "A 10-GHz High-Efficiency lens Amplifier Array". Proc. MTT-S, Baltimore 1998, vol. 3, pp. 1461-1464.
- [23] Weiss, M.D., Popovic, Z.: "A 10GHz High-Efficiency Active Antenna". Proc. MTT-S, Anaheim, CA, 1999, vol. 2, pp. 662- 666.