

High-order Frequency Multipliers using MMIC Devices

Paul Wade, N1BWT

Abstract: Frequency multiplier performance of the new ERA series MMIC devices is empirically tested, particularly as higher-order multipliers. The data is used to design a local oscillator for a 5760 MHz transverter.

Kurzbeschreibung: Man kann MMIC's zum Vervielfachen benutzen. Die Eigenschaften werden am Beispiel eines 5,6GHz LO beschrieben und diskutiert.

1. Discussion

Frequency multipliers are one of the most difficult parts of microwave design. As the frequency is multiplied by a factor of perhaps 50 or 100 from a low frequency crystal source to the desired microwave local oscillator frequency, several stages of multiplication may be needed, along with filtering at the several intermediate frequencies. Good designs should be reproducible, but component and

Fig. 1: Output behaviour of ERA-3 Frequency Multiplier

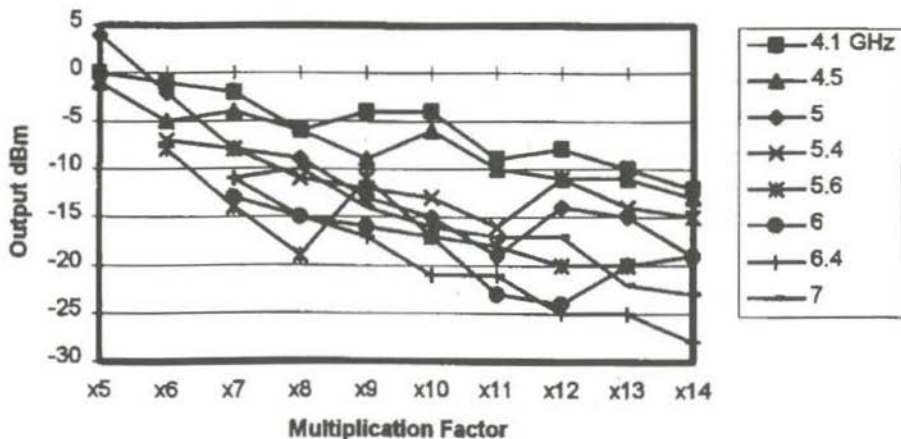
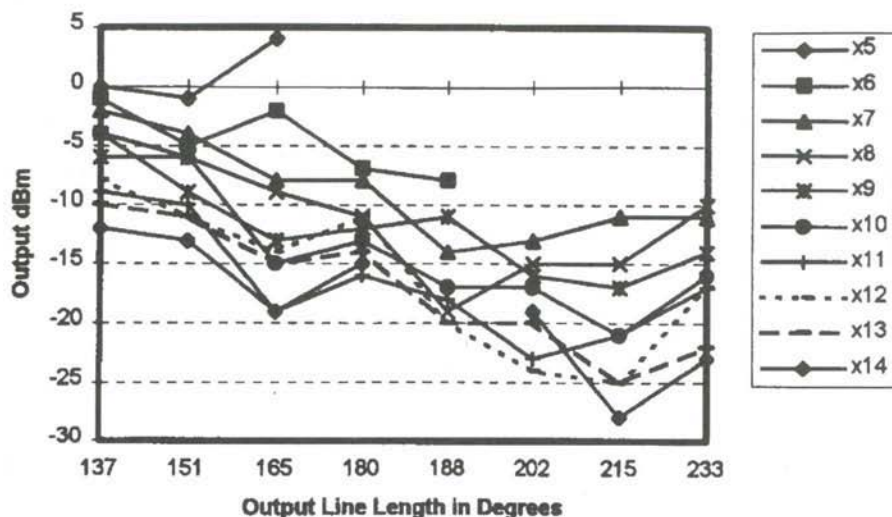


Fig. 2: Dependency on Output Line



temperature variations and interacting alignment can produce variations in power level at each stage which cascade into large differences from unit to unit.

The availability of inexpensive MMIC devices for the lower microwave frequencies has made the frequency multiplier problem easier. Instead of a series of frequency doublers or triplers, a diode may be used as a higher-order frequency multiplier, followed by filtering and MMIC amplifiers to restore the power level. Even though the diode multiplier is inefficient, the untuned MMIC amplifiers provide compact and predictable gain so that the combination is simple and repeatable. The "no-tune" transverters which are popular in the USA use this approach.

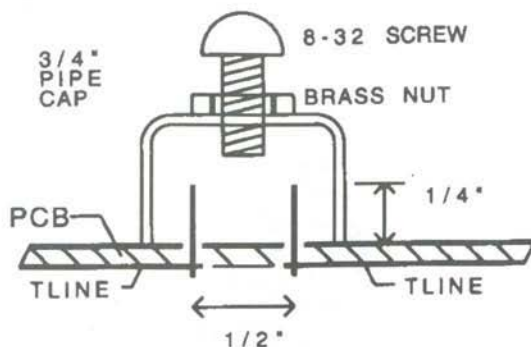
Recently I developed an LO multiplier for a single-board transverter for 5760 MHz. The obvious choice for the oscillator source is the KK7B local oscillator board 1 used in lower frequency "no-tune" transverters. These

boards are readily available in the USA and work so well that no alternative was seriously considered. The printed filters on these boards fix their output to between 540 and 580 MHz, so a multiplication factor of ten to 5616 MHz is needed for an LO for 5760 MHz.

A multiplication by ten has few integral factors. The combination of x5 and x2 not only requires intermediate filtering, but also needs one multiplier with a fairly high multiplication factor. Since a higher-order multiplier is required anyway, why not just go directly to a x10 multiplier and add an additional amplifier stage to compensate for lower efficiency? Linear amplifiers can be relied on to operate at varying drive levels; if the output stage is operated in compression, then the output variation will be reduced. The only drawback is that better filtering is required, but pipe-cap filters [2] can provide good selectivity with low loss¹.

¹ Pipe-Cap filters were described in by DK2AB in DUBUS 1/1986, p.2, for the first time. Later in this year DCODA, DJ6JJ and DJ6EP used them for various microwave transverter projects, for example a LO in SMD-technique (DUBUS 1/1987, pp.1-4). WA5VJB gave word of this development to the scene in the U.S. ((3)).

Fig. 3: Pipe Cap Filter



1. Diskussion

Die Auslegung von Frequenzvervierfacher ist eine der schwierigsten Aufgaben in der Entwicklung von Mikrowellenschaltungen. Der Grad der Vervielfachung von einer stabilen, mit einem Quarz bestückten Quelle kann einen Faktor von 50 bis 100 betragen. Dazu sind eine Menge von Stufen und Filtern notwendig. Gute Schaltungen müssen unter wechselnden Umgebungsbedingungen wie Änderungen der Temperatur reproduzierbar sein.

Durch den Einsatz von MMIC's kann man Vervielfacher mit hohen Faktoren bis zu 10 bauen. Anstatt von vielen Stufen, die nur verdoppeln oder verdreifachen, baut man wenige Stufen mit guten Filtern und den gleichen MMIC's als Linearverstärker, um den Pegel wiederherzustellen.

Neulich entwickelte ich einen LO für einen 5760MHz Transverter. Ein populäre Wahl für den Oszillator ist hier in den USA das LO-Board von KK7B, das eine Ausgangsfrequenz von 540MHz bis 580MHz hat und mit fest abgestimmten Filtern arbeitet. Man braucht als einen Multiplikation von 10, um die Endfrequenz des LO's zu erreichen. Dieser Faktor ist nur durch 2 und 5 teilbar. Die Auswahl der Vervielfacher ist damit begrenzt. Die Vervielfachung mit dem Faktor 5 ist schon ziemlich hoch, so daß man gute Filter im

Ausgang braucht. Das ist mit zylindrischen Resonatoren [2] nicht schwer. Man kann dann auch direkt mit dem Faktor 10 vervielfachen, filtern und mit dem gleichen MMIC linear verstärken.

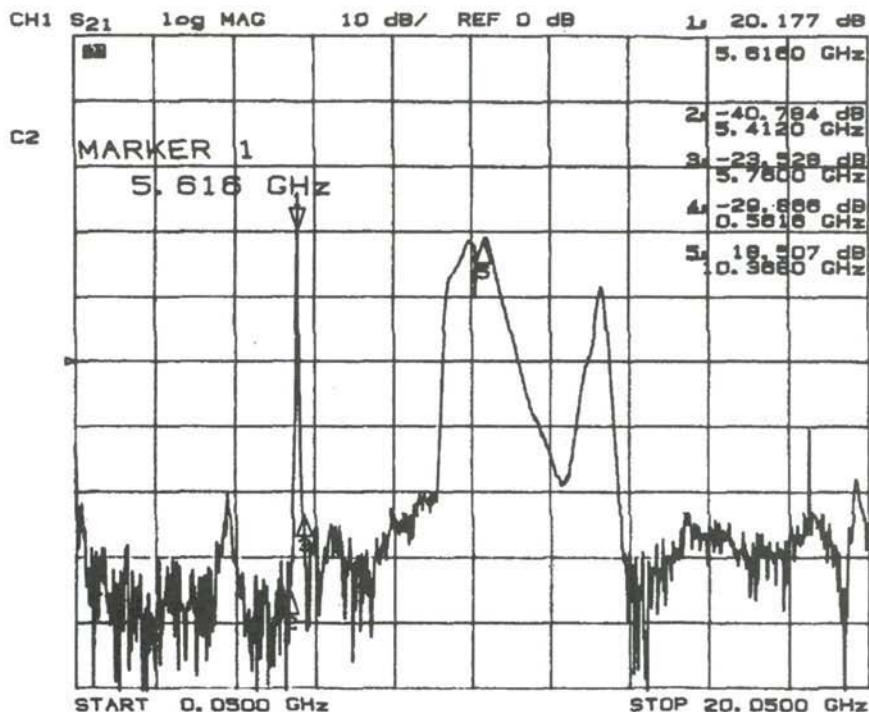
2. MMIC Multiplier

The new ERA series of MMIC devices from Minicircuits 3 offer usable gain up to 10 GHz at low cost, so they were obvious choices for the amplifier stages. However, an article by N7UGH ([4]) which described using the ERA-3 as a frequency multiplier for 10 GHz showed additional possibilities. Using an X-Acto

knife, I made a breadboard of an ERA-3 followed by a pipe-cap filter on a scrap of Teflon PC board to test the multiplier performance. A 3/4 inch pipe-cap filter can be tuned roughly from 4 to 7 GHz, so I tuned it to several different frequencies and varied the input frequency and power with a signal generator to try various multiplication factors, from X4 to X15. The results, plotted in Figure 1, show pretty good multiplier performance. As one would expect, the output generally decreases with increasing frequency and multiplication factor, but the curves have too many ups and downs to be able to predict performance.

While I was trying to understand the data in Figure 1, Steve, N2CEI, suggested that an article [5] on MMIC frequency multipliers by WA8NLC might offer some insight. The article referred me to Hewlett-Packard application note AN-983 [6], which described how diode frequency multiplier performance is affected by the phase shift of the transmission line length between the diode and filter. Since WA8NLC showed that the same phenomenon applies to MMIC frequency multipliers, I calculated electrical line lengths for my breadboard and re-plotted the data as shown in Figure 2. Now we can see that some multiplication factors are more affected by line length than others, and we can design to optimize

Fig. 4: Output Spectrum of MMIC Multiplier



for the desired multiplication factor. Figure 2 also shows the X10 multiplication used in this transverter to be relatively insensitive to line length; the output power change with output line length can be attributed to increasing multiplication factors. Some other multiplication factors do display more sensitivity to output line length, so this data may be useful in optimizing for other applications.

2. Vervielfacher mit MMIC's

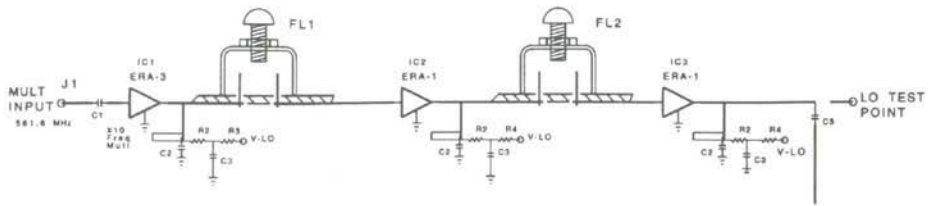
Die neuen ERA MMIC's von Minicircuits funktionieren wegen ihrer HBT-Transistoren gut bis ca. 10GHz. Ein Artikel von N7UGH ([4]) beschrieb einen Vervielfacher für 10GHz mit einem MMIC. Ich baute mir eine Testplatine mit einem Resonatorfilter, was ich von

4...7GHz abstimmen konnte. Die Ergebnisse in Abb. 1 zeigen gute Ergebnisse mit einem ERA-3 bis zu Faktoren von 10 und Ausgangsfrequenzen bis 7GHz.

Während ich noch versuchte, die Ergebnisse zu verstehen, erzählte mir Steve, N2CEI von einem Artikel von WA8NLC ([5]) über MMIC-Vervielfacher. Dieser führte mich dann auf die HP AN-983 Anwendungsschrift über Step-Recovery Vervielfacher. Hier wurde beschrieben, wie man durch variable Leitungslängen zwischen Filter und Diode die Leistung optimieren konnte.

Das versuchte ich nun in meiner Testschaltung. Die Ergebnisse sind in Abb. 2 zu sehen. Je nach Multiplikationsfaktor wirkt sich die Ausgangslänge der Leitung bis zum Filter

Fig. 5: LO-Multiplier from 516MHz to 5160MHz



verschieden aus. Für einen Faktor von 10 hat die Leitungslänge relativ wenig Einfluß.

3. Filters

Printed circuit filters are not suitable at 5760 MHz and above for two reasons: dimensions become very critical at bandwidths less than 10%, and radiation from them is high at higher frequencies where the board thickness is a significant fraction of a wavelength. In a recent 3456 MHz design ([7]) KH6CP (now W1VT) used thinner Teflon PC material to reduce radiation from the filters; however, this requires that dimensional tolerance also be reduced proportionally, to the point where printed patterns would not be reproducible. If high-Q structures like printed filters are eliminated from the board, then the thicker dielectric material is usable.

The pipe-cap filters ([2]) are made with readily available inch copper plumbing fixtures and offer good performance but require tuning. A sketch of a pipe-cap filter is shown in Figure 3. My previous experience ([8]) showed that a single pipe-cap filter did not provide adequate LO rejection at 5760 MHz, so multiple filters were required. I was uncertain whether it would be possible to tune up multiple filters without sophisticated test equipment, so I tested the tuning on the multiplier breadboard. I found that the tuning screw varied the frequency by 300 to 400 MHz per revolution, or about 1 MHz per degree of rotation. Also, the frequency could be set repeatably by measuring the height of the tuning screw, so it is possible to preset the tuning screws close to the desired frequency, or to easily retune

the transverter from 5760 MHz to 5668 MHz for Phase 3D. The difference in tuning should only be about a quarter-turn, but the filters are sharp enough that retuning is required. Finally, since the filters are separated by amplifier stages, it is possible to tune them one at a time with minimum interaction.

The LO chain for 5760 MHz has an ERA-3 MMIC as a x10 multiplier followed by two ERA-1 MMIC amplifiers, with a pipe-cap filters before each amplifier stage. With an input of +6 to +10 dBm at 561.6 MHz, the output is +5 to +10 dBm at 5616 MHz, perfect for a mixer or dual mixers. The LO output has all products at least 60 dB down except the third harmonic at 1684.8 MHz, which is only 50 dB down. To measure the selectivity, the LO chain was operated as a three-stage amplifier, with the result shown in Figure 4. For a 144 MHz IF, the two filters provide more than 40 dB of LO rejection and at least 50 dB of image rejection. A good balanced mixer can significantly improve the LO rejection so that no additional filtering is needed in many systems. As an LO filter, with products spaced 561.6 MHz, there is even better rejection.

3. Filter

Bei der Frequenz von 5760MHz wurden die üblichen Streifenleitungsfilter nicht eingesetzt. Einmal steigen ihre Verluste bei Bandbreiten unter 10% stark an und zum zweiten gibt es Abstrahlverluste bei Substratdicken von 0,5 oder 0,8mm. Benutzt man wie W1VT ([7]) dünne Substrate (0,125mm), muß man die Toleranz der geometrischen Abmessun-

gen unter Kontrolle haben. Das ist für Amateurlayouts nicht einfach.

Die bekannten zylindrischen Resonatorfilter ([2]) kann man aus Kupferrohr einfach anfertigen (Abb. 3). Meine ersten Erfahrungen ([8]) zeigten, daß ein Filter auf 5760MHz nicht ausreicht, um einen brauchbare Unterdrückung des LO-Signals zu erreichen. Daher setzte ich zwei Filter ein, war aber nicht sicher, ob ich sie einfach würde abstimmen können.

Messungen an meiner Testschaltung zeigten, daß die Abstimmsteilheit ca. 300...400MHz pro Umdrehung der Abstimmsschraube beträgt. Daher kann man die Grobfrequenz einfach durch Bestimmung der Abstimmsschraubenhöhe einstellen. Da noch ein Verstärker zwischen den Filtern war, konnte ich sie ohne große Wechselwirkung sauber abstimmen.

Die Vervielfacherkette für 5760MHz benutzt einen ERA-3 als Vervielfacher mit dem Faktor 10 und zwei weitere ERA-3, durch Filter getrennt, um den Pegel wieder zu restaurieren. Mit einer Steuerleistung auf 561,6MHz von 6...10dBm erhält man am Ausgang auf 5616MHz eine Leistung von 5...10dBm. Alle Nebenwellen mit Ausnahme der 1684,4MHz sind mehr als 60dB unterdrückt. Die Messung der Selektivität des Vervielfachers zeigt Abb. 4.

Benutzt man diese Filter im HF-Zweig ist bei einer ZF von 144MHz die LO-Unterdrückung bereits 40dB und die Spiegelunterdrückung beträgt 50dB. Als LO-Filter bei einer um 516,6MHz versetzten Nebenwelle ist natürlich die Unterdrückung noch höher.

4. Conclusion

The new ERA series of MMIC devices offer good performance when used as high-order frequency multipliers into the microwave range. This performance is demonstrated in an LO for 5760 MHz. The experimental data presented should be useful for other designs.

4. Schluß

Mit den ERA MMIC's kann man Vervielfacher bis in den höheren Mikrowellenbereich bau-

en. Am Beispiel eine LO für 5616,6 MHz wurden die Eigenschaften gezeigt.

References

[1] R. Campbell, KK7B, "A Clean, Low-Cost Microwave Oscillator, QST, July 1989, p. 15. Also appears in ARRL UHF/Microwave Project Book, ARRL, 1992, pp. 5-1 to 5-9. K.

[2] Britain, WA5VJB, "Cheap Microwave Filters," Proceedings of Microwave Update '88, ARRL, 1988, pp. 159-163. Also appears in ARRL UHF/Microwave Project Book, ARRL, 1992, pp. 6-6 to 6-7.

[3] Mini-Circuits, P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003, 718-934-4500.

[4] D. Nelson, N7UGH, "MMIC Multiplier for 10.8 GHz Local Oscillator," Feedpoint (North Texas Microwave Society), March/April 1996.

[5] J. Davey, WA8NLC, "Frequency Multipliers Using Silicon MMICs," ARRL UHF/Microwave Project Book, ARRL, 1992, pp. 5-13 to 5-15.

[6] HP, "Comb Generator Simplifies Multiplier Design," Application Note 983, Hewlett-Packard.

[7] Z. Lau, KH6CP/1 (now W1VT), "3456 MHz Transverter," QEX, September 1996, pp.14-20

[8] P.C. Wade, N1BWT, "A Dual Mixer for 5760 MHz with Filter and Amplifier," QEX, August 1995, pp. 9-13.