



テクニカルノート

### 3.6、7、10、および 14MHz における DEIC420 MOSFET ドライバ IC の「スタンドアロン型」高周波電源機能 ( IXYSRF )

#### 要旨

本稿では、DEIC420 MOSFET ドライバ IC を 3.6、7、10、および 14MHz における「スタンドアロン型」高周波源として評価する。最高で 47W の CW RF を創出するのに欠かせないのが、クロックオシレータ、RF 共振タンク、およびこれらに付随する出力マッチング回路である。このモジュールは、アマチュア無線用の中出力 RF 源、分析施設の RF 源、正弦波ゲートドライブ源として、あるいはコンパクトな RF 発生源が必要な他の多くのアプリケーションに使用することができる。

IXYS 日本代理店 **JREP**  
ジェイレップ株式会社  
本社 大阪府吹田市豊津町2-1  
Tel:06-6368-2111 Fax:06-6368-2114  
東京 東京都港区高輪3-19-20  
Tel:03-5789-2310 Fax:03-3449-7844  
e-mail: info@j-rep.com

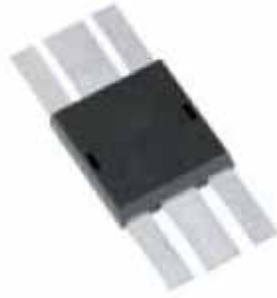


図1 DEIC420 ゲートドライバ IC

**イントロダクション**

DEIC420 は、IXYSRFで販売している 20A<sub>pk</sub>の高速MOSFETゲートドライブICである。コンパクトで自己完結型であり、VCCと 5VのTTLクロック信号、適切なヒートシンキングがあれば、パルスRF出力信号を発生させることができる。単純なL/C共振タンクとインピーダンスマッチングネットワークを追加すれば、標準的な 50 Ω 負荷に正弦波を出力する。キーイング回路と補助的な高調波フィルターを追加することにより、ICを少なくとも 20メートル (14MHz) までの動作が可能なアマチュア無線のCW源として活用することができる。

**動作の理論**

TTL 入力もしくはクロックを通じてゲート制御する際、DEIC420 は複数のトータムポール段を通じ、立ち上がり時間が 10ns 以下の大電流出力パルスに変換する。この出力信号は、MOSFET ゲートのような低インピーダンスの容量負荷を駆動できるように設計されている。このアプリケーションでは、IC が低インピーダンスの直列型共振タンクと適切なマッチング回路を駆動することにより、最終的に 50 Ω の負荷を駆動するのである。

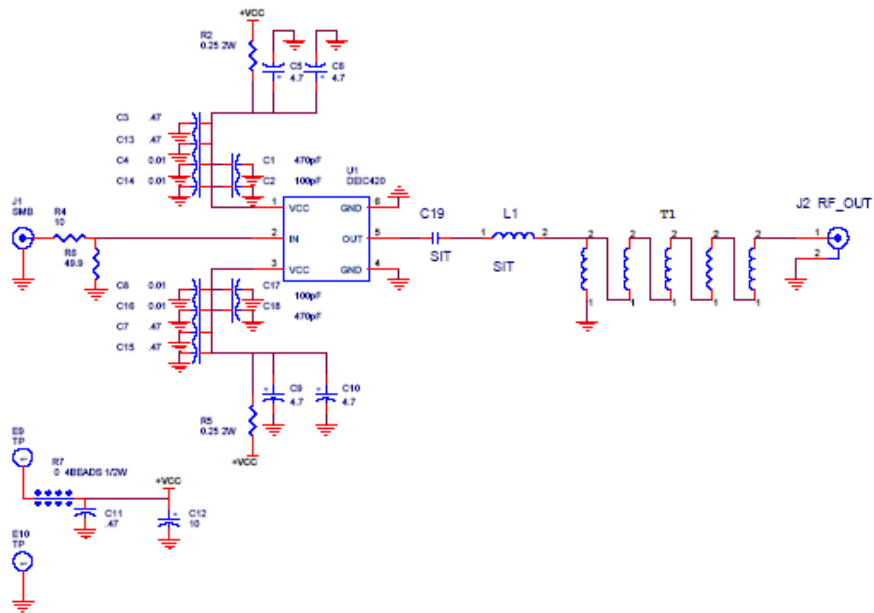


図2 DEIC420 RF ドライバの模式図

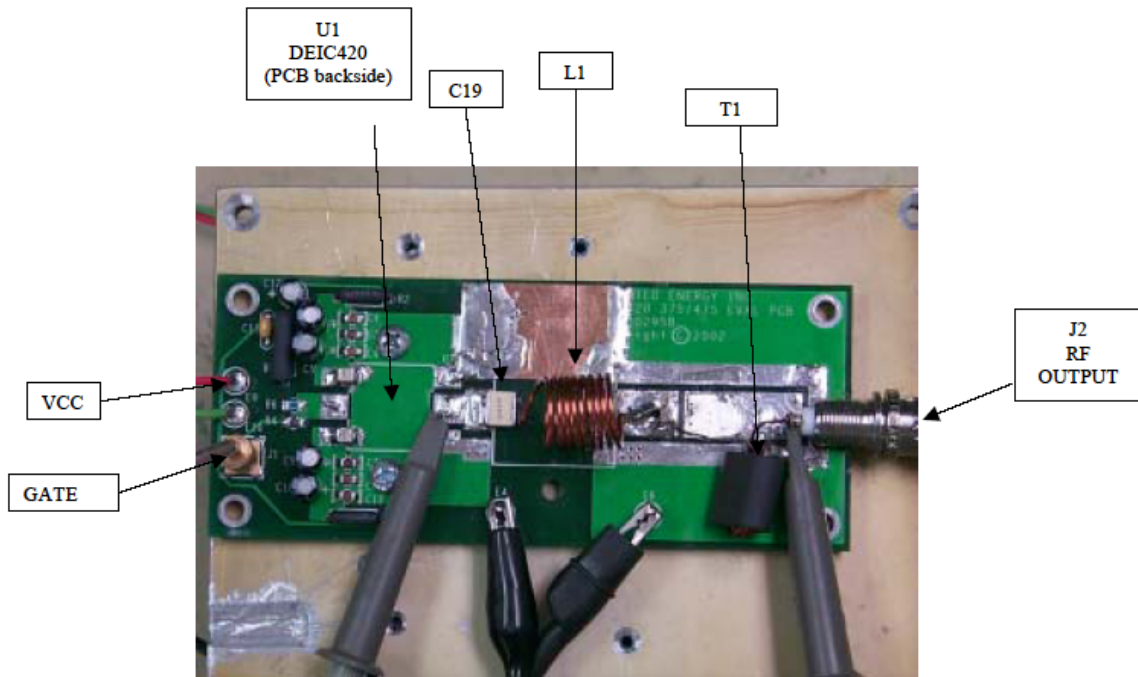


図3 DEIC420 ドライバモジュールの上面図

### 回路の詳細

図3に示す IXYSRF EVIC420 ゲートドライブ評価ボードを用いて図2の回路を実装した。EVIC420はDEIC420ゲートドライバICに取り付けや相互接続を行なうための簡易な手段になる。DEIC420はEVIC420の背面(はんだ側)に実装した。

DEIC420は絶対最大定格が30Vの8~28VDCからのVCC電源によって動作し、出力パルスの規模はVCCの印加レベルに正比例する。図2に示すように、電圧は「E9」接続に印加しなければならない。R2およびR5の抵抗器がICを電源から遮断する。また、ここではバイパスコンデンサの種類と量に注意しなければならない。出力が多くの高調波を含む矩形パルスのため、低、中、高の周波数における十分なバイパス構成を適用することにより、迅速な立ち上がり時間と適正なピーク電流によって負荷の駆動を確保することが極めて重要である。この機能を果たすのがC3~C10、C15、C16のコンデンサである。

5VのTTLと互換性のある必要な周波数の50%デューティサイクルをJ1に印加すると、U1は、印加されたVCCのレベルまで駆動信号と同じ方向(非反転)に出力ピンを駆動する。このパルスは、 $20A_{pk}$ および $4A_{rms}$ の出力電流を負荷に出力することができる。

C19はDCが負荷に流れないようにするためのDCブロックの役割を果たすとともに、C19とL1は直列共振「タンク」を構成する。タンクの機能は、動作周波数 $f_0$ において低インピーダンスを確保するとともに、高調波電流を抑制することである。その結果、基本スイッチング周波数において正弦波出力電圧が確保される。

変圧器 T1 は多巻線の自動トランスであり、DEIC420 の出力を 50 W 負荷にマッチングさせるのに用いられる。出力電力が 50W 未満のため、変圧器は一つの Fair-Rite 社製 No. 286100202 のシングルバランコアに巻線したものである。意図する動作周波数に応じて 5 または 6 ストランドの AWG 22 エナメルソリッドマグネットワイヤを互いにきつく撚り合わせ、自動トランスを形成した。この方法によって巻線間を緊密に結合させ、最高の高周波応答を確保することができる。表 1 に示すように、四つの周波数のそれぞれに個別のタンクコンポーネント値を適用した。

Frequency (f <sub>0</sub> )	C19 (pF)	L1 (nH)	Q	Load Impedance R <sub>L</sub>	T1 Z ratio
3.6MHZ	2700	723	8	≈2Ω	1:25
7.0MHZ	1200	430	5	≈2Ω	1:25
10.0	1000	258	8	≈2Ω	1:25
14.1MHZ	780	164	10	≈1.4Ω	1:36

表 1 RF タンクコンポーネント値

### 回路性能

図 4 に試験モジュールの RF 出力電力を示す。3.6、7、および 10MHz では 40W を超える出力が確保でき、14MHz では 35W である。出力電力は DEIC420 の最大定格によって制限される。最大定格の出力電流は 4A<sub>rms</sub>、最大 VCC は 30V、最大消費電力は 25 W で 100W である。この試験では、DEIC420 に対し、安全な素子動作のための最大値として 28V の VCC と 4.5A の DC 入力電流を適用した。

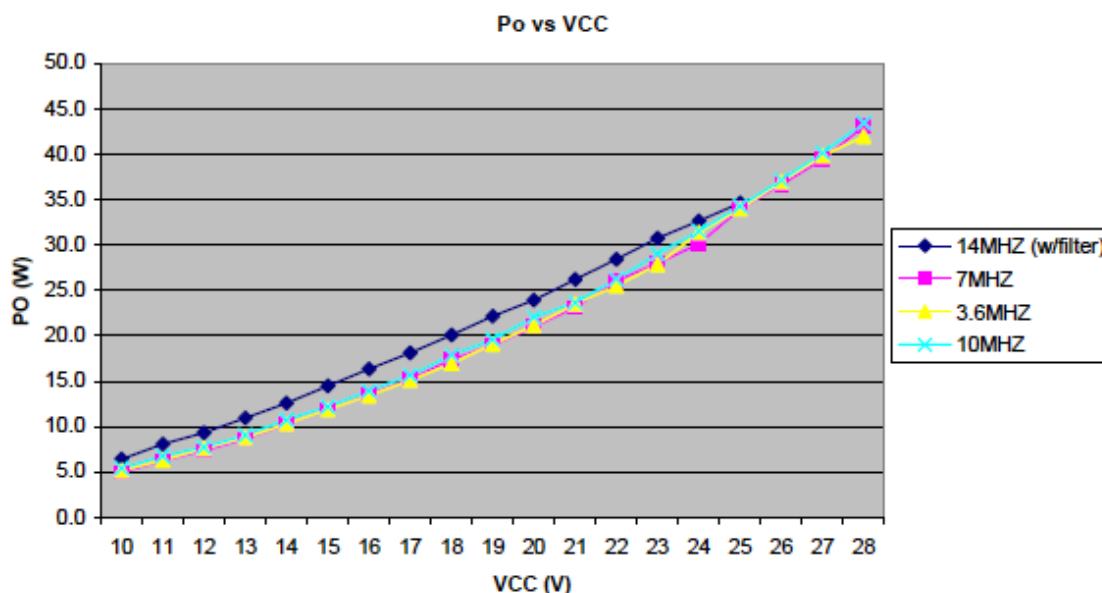


図 4 DEIC420 の出力電力

図5から図12に、四つの試験周波数のそれぞれにおける出力波形と高調波スペクトルを示す。図5の波形は振幅が45.79 V<sub>rms</sub>の出力正弦波であり、これは50 負荷への41.9Wの出力に相当する。また、チャンネル2には、共振タンクを駆動するDEIC420の出力信号を表わす34V<sub>pk</sub>の50%デューティサイクル矩形波が認められる。図6はスペクトラムアナライザのプロット画面であり、図5に示した出力レベルでは-34.5 dBcに「最悪の」第三高調波が確認できる。同様に、この試験データ画面は7、10、14 MHzの他の試験周波数でも反復的に現われている。

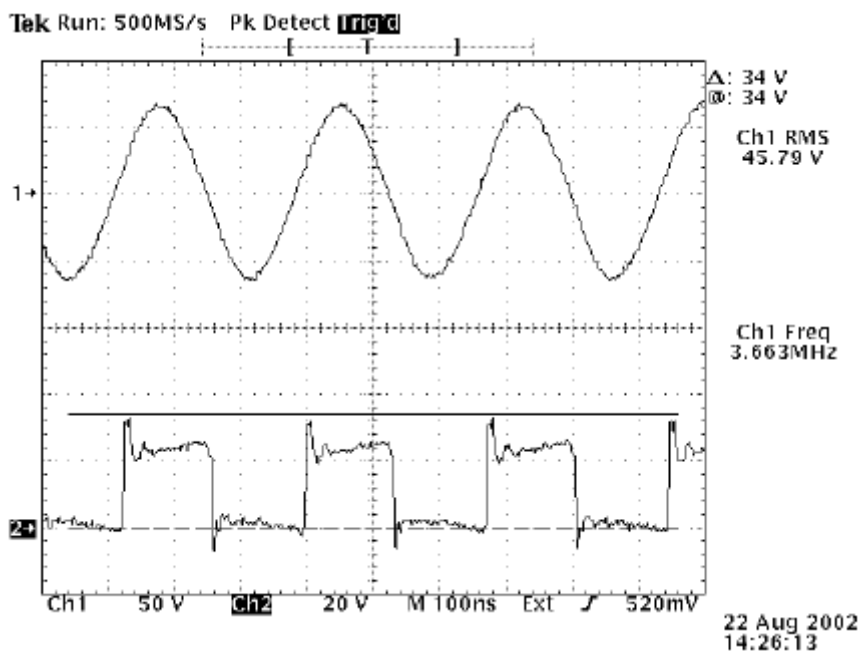


図5 3.6 MHzにおけるDEIC420の出力波形

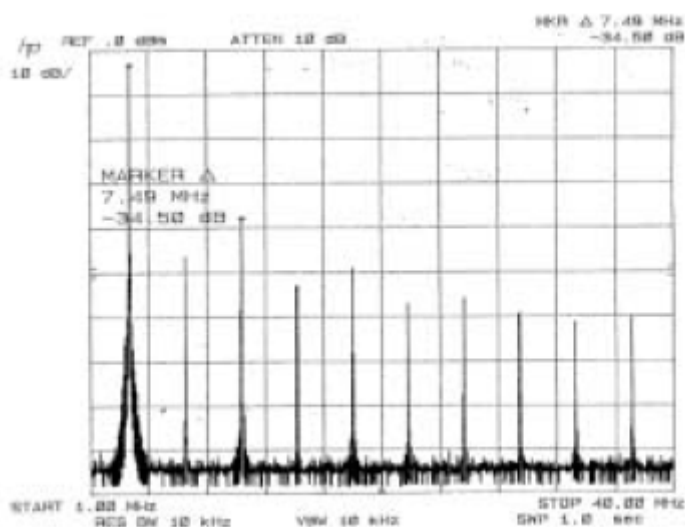


図6 3.6 MHzにおけるDEIC420のスペクトル

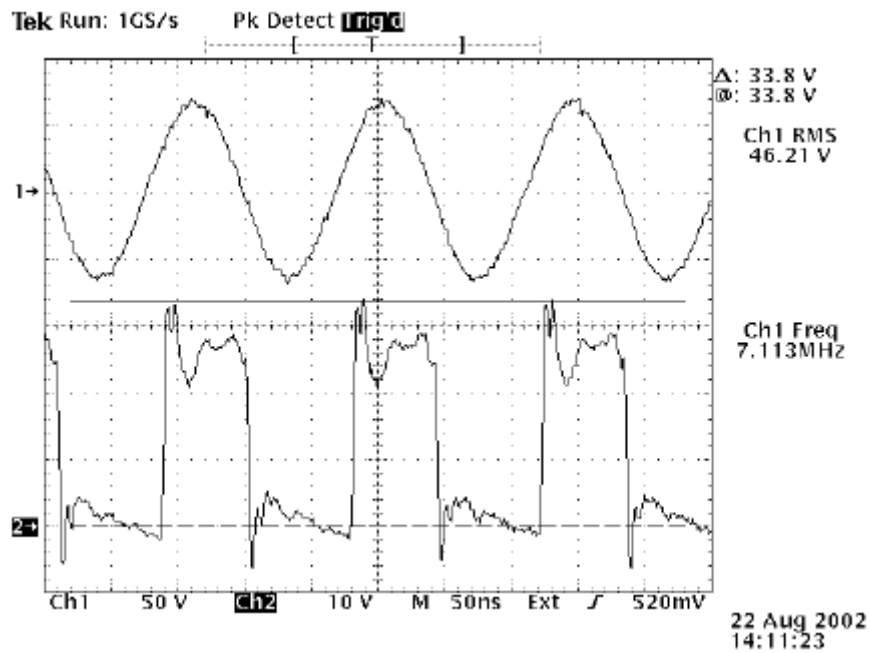


図7 7 MHzにおけるDEIC420の出力波形

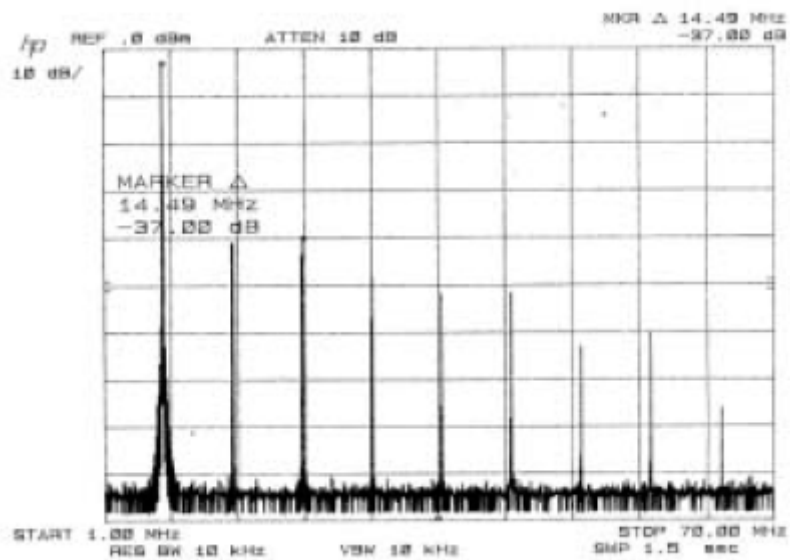


図8 7.0 MHzにおけるDEIC420のスペクトル

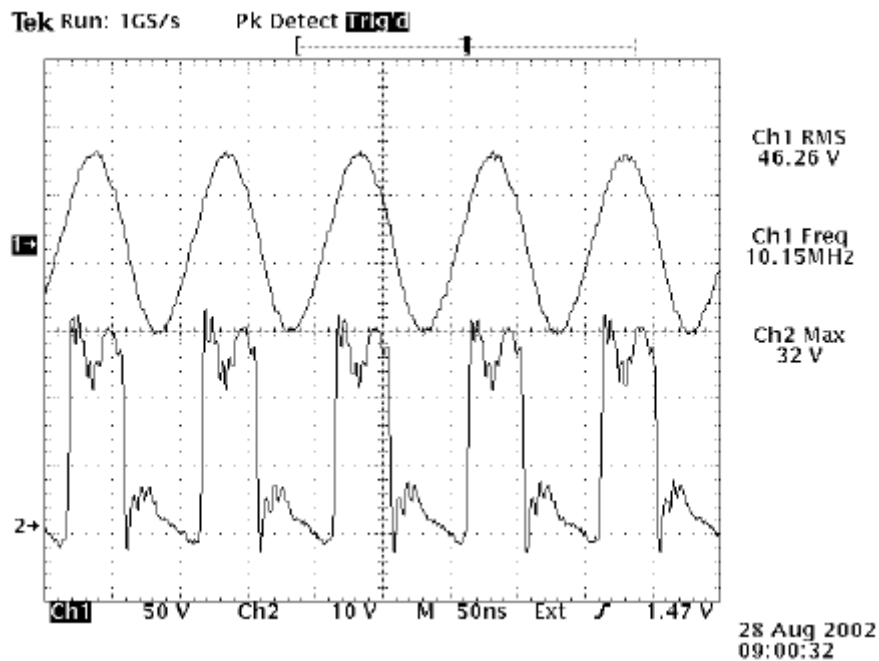


図9 10 MHzにおけるDEIC420の出力波形

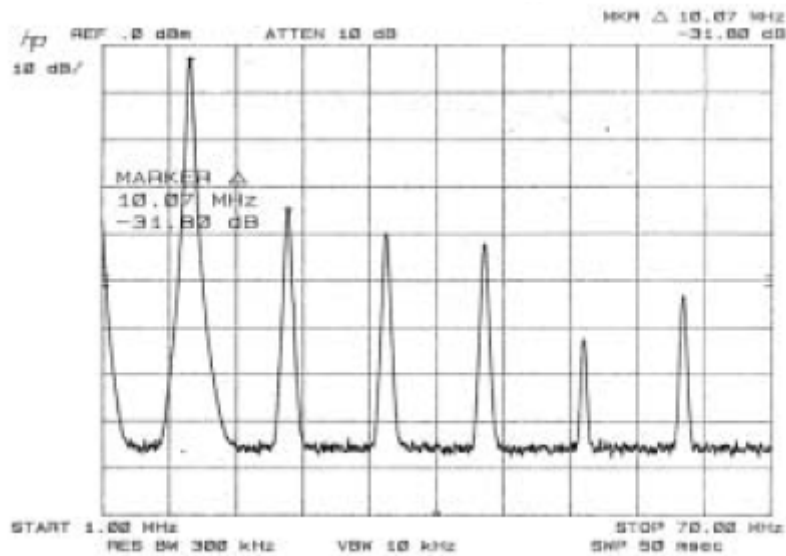


図10 10 MHzにおけるDEIC420のスペクトル

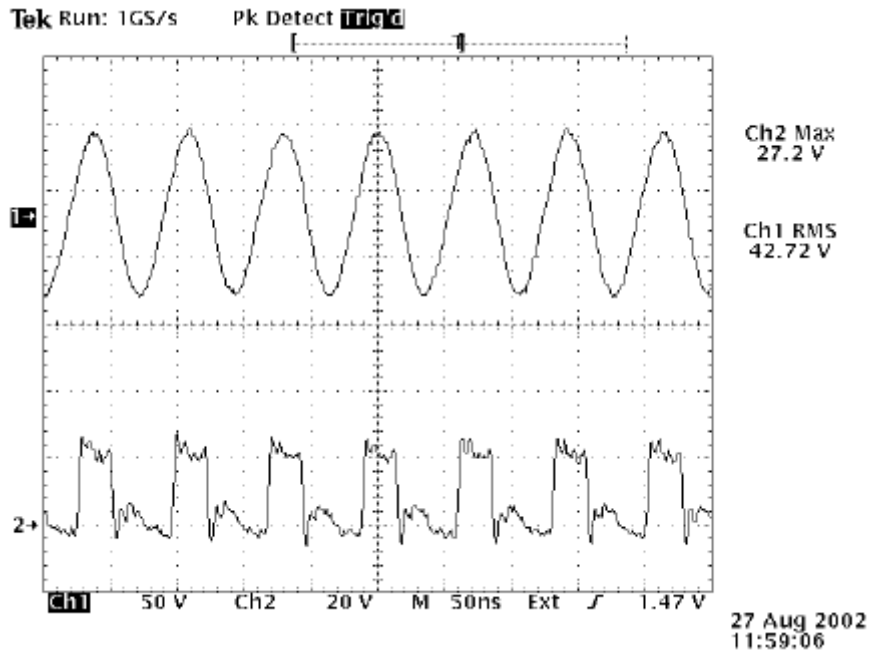


図 11 14.0 MHz における DEIC420 の出力波形

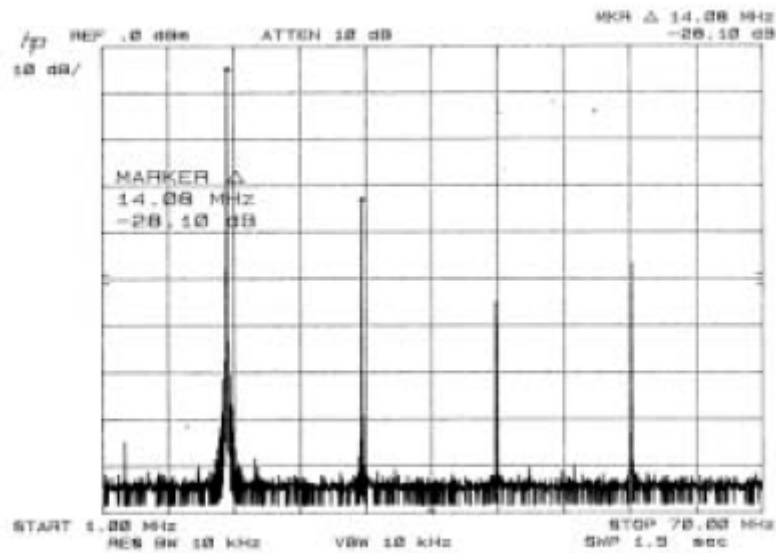


図 12 14.0 MHz における DEIC420 のスペクトル (フィルターなし)



図 13 は、それぞれの試験周波数における被験モジュールの DC 対 RF 変換効率を示したものである。効率には 30% の低効率から 56% の高効率までばらつきがある。動作周波数が高いほど効率は低下する。

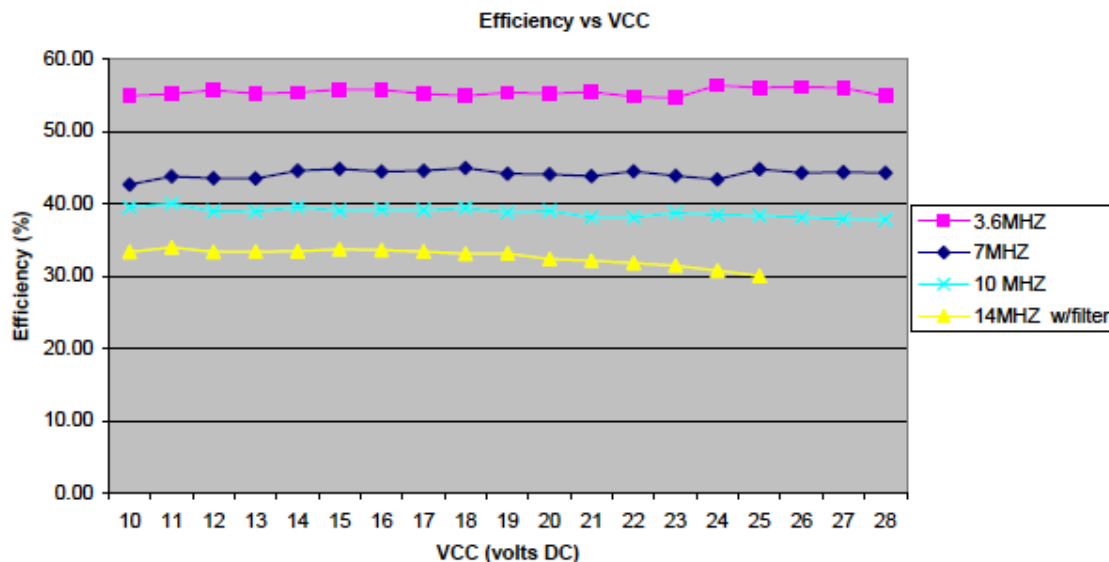


図 13 DEIC420 の DC 対 RF 変換効率

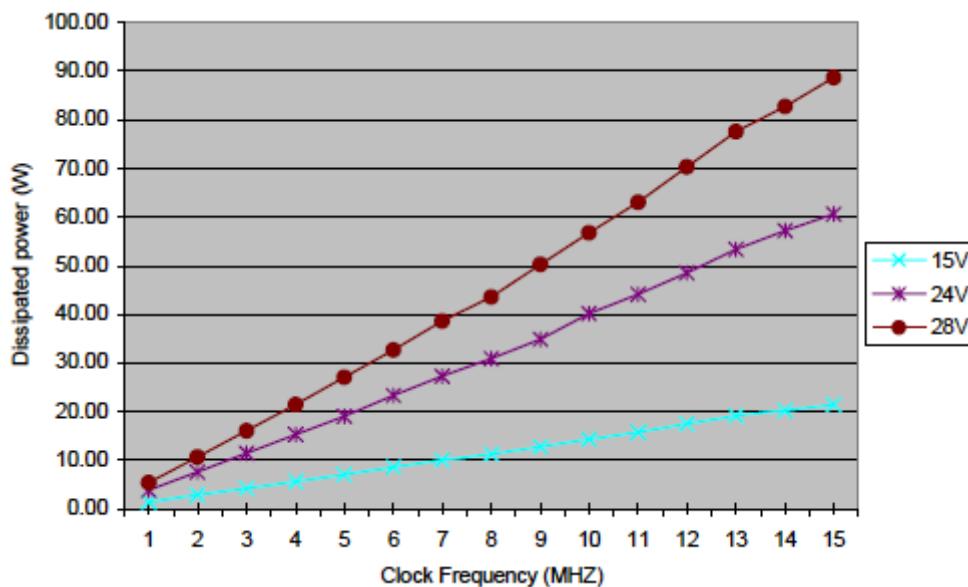


図 14 DEIC420 における無負荷時の消費電力

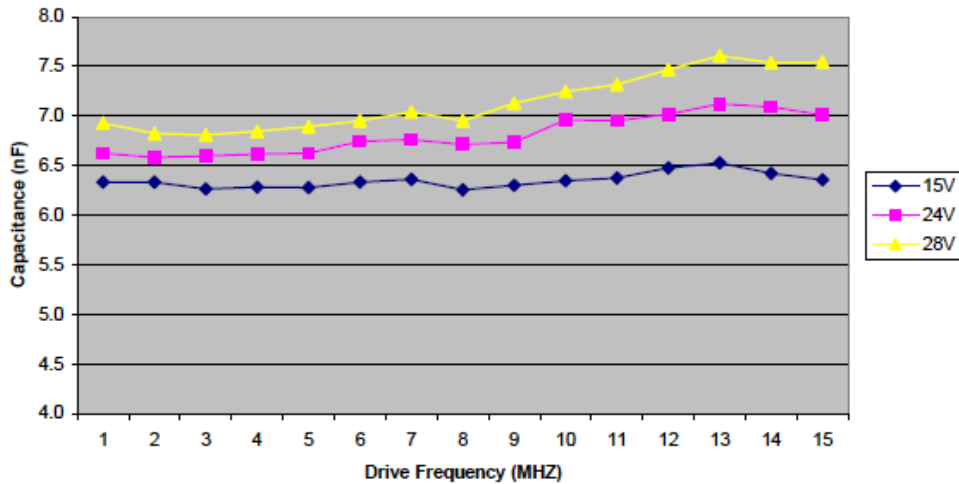


図 15 DEIC420 の等価容量（無負荷時）

試験結果は、DEIC420 が負荷を連結しない状態でかなりの電力が消費されることを示している。図 14 は、15V、24V、28VのVCCにおけるDEIC420 の自己消費電力と周波数を比較したグラフである。この場合の消費量には 1～89Wまでのばらつきがある。DEIC420 には負荷を接続していない。電力が必要なのは、IC内部の内蔵トータムポール対を駆動するためである。この消費はコンデンサの充放電に必要な電力と  $P = C * V^2 * f_o$  の相関関係にある。図 14 の試験データを用いて、この式からDEIC420 の等価容量を算出した。図 15 は、周波数とVCCの両方に対して容量が比較的安定していることを示している。これは、内部の容量負荷がDEIC420 の損失の大部分を占めていることを裏付けるものである。この電力損失は基本的なIC設計の一部であり、変更は不可能である。

この損失が最終的にもたらす結果として、この RF モジュールの最大効率がシステム損失によって制限されることになる。当然ながら、28V、15MHZ で 50W の出力電力の確保を目標とする場合、絶対最大効率は  $100 * P_o/P_{in}$ 、すなわち  $100 * (50/(50+50))$  で 50%になる。他のシステム損失を含める場合には、実際の全体効率はもう少し低くなる。

$f_o$ (MHZ)	$P_{in}$ (W)	$P_o$ (W)	$\eta$ (%)	$P_{loss}$ (W)
3.6	76.4	42	55	34.4
7	97.2	43	44.3	54.2
10	114.8	43.4	37.8	71.4
14	115.3	34.6	30.0	80.7

表 2 システムにおける効率と損失

表 2 の  $P_{loss}$  欄は、システム全体の損失、すなわち、 $P_{in}$  と  $P_o$  の差を表わすものである。表 3 ではこの損失を下位カテゴリーに分類した。この損失は、DEIC420 のスイッチング損失 ( $P_{switch}$ )、出力トランスの挿入損失 ( $P_{tran}$ )、タンク回路のコンポーネント損失 ( $P_{tank}$ ) で構成されている。

図 14 は、それぞれの試験周波数におけるスイッチング損失を示したものである。先に説明したスイッチング損失は  $SL(W) = C * V_2 * f_0$  である。3.6、7、10、14 MHz における損失は、それぞれ、18.8、38.6、56.8、57.1W になる。

回路の損失ではシステム損失のバランスが消費される。回路損失にはタンクの ESR や出力トランスの挿入損失などが含まれる。14MHz の 40W レベルで測定したタンク損失は 0.1 ~ 0.25dB であった。これは 1 ~ 2.4W のタンク損失に相当する。ここでは、タンク損失量がスイッチング損失やトランス損失よりも小さいという点に注意しなければならない。

$f_0$ (MHZ)	$P_{in}$ (W)	$P_o$ (W)	$P_{tank}$ (W)	$P_{switch}$ (W)	$P_{tran}$ (W)	$P_{tran}$ (dB)
3.6	76.4	42	1	18.8	14.6	-1.3
7.0	97.2	43	1	38.6	14.6	-1.3
10.0	114.8	43.4	1	56.8	13.6	-1.2
14.1	115.3	34.6	2.4	57.1	21.2	-2.1

表 3 システムにおける損失

図 6、8、10、および 12 は各周波数における出力スペクトルを示したものであり、表 3 に結果を要約する。出力が奇関数であることを考えれば、スペクトルには 1、3、5 などのような奇数の高調波条件のみが含まれているのが理想である。10 および 14MHz において高い高調波レベルが確認されるのは、DEIC420 を駆動するクロック信号の非対称性によるものであると考えられる。

Fo (MHZ)	Harmonic level (dBc)	Harmonic #
3.6	-34.5	3
7	-37	3
10	-31.8	2
14	-28	2

表 4 システムの高調波レベル

この素子をアマチュア無線の無線送信回路やアンテナ駆動の他の用途に使用する場合、スペクトルの純度という条件が求められることになる。FCC 規格は、30MHz 以下の周波数と 500W 未満の電力におけるすべてのスプリアス発射を、少なくとも基本電波の 40dB 以下 (-40dBc) にするよう義務付けている。14MHz における要件への適合性を確保するため、一例として、図 16 に示すような 3つのエレメントによるローパスフィルタを設計した。

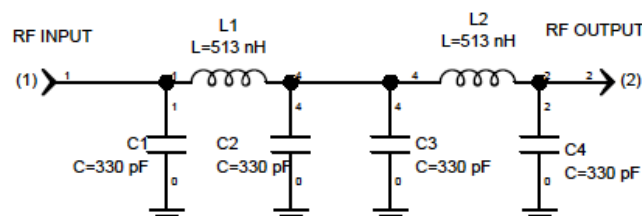


図 16 DEIC420 の 14MHz 出力フィルタ

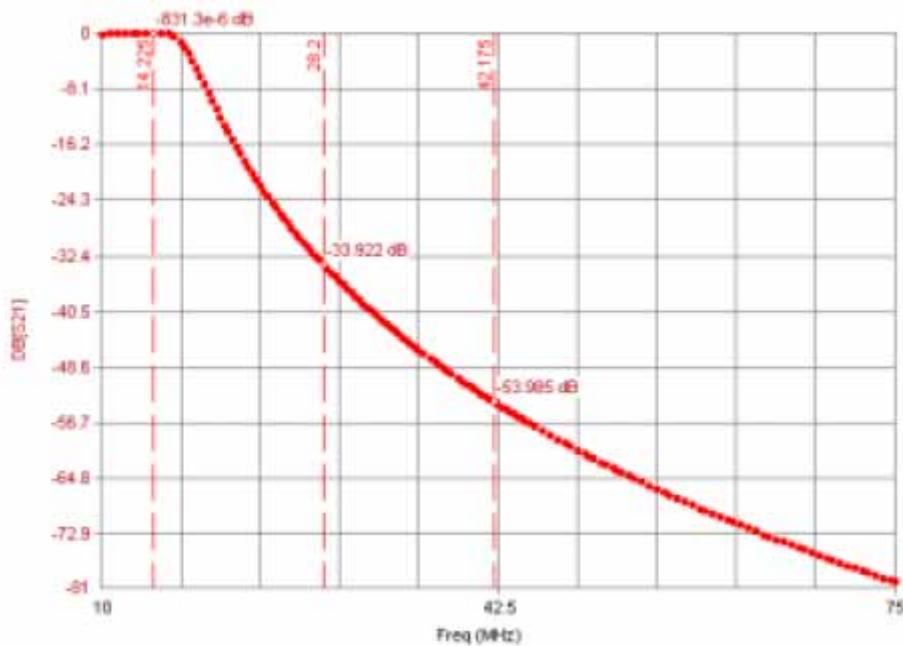


図 17 DEIC420 14MHz フィルターのシミュレーション

図 17 は理想的なフィルター応答を示したものである。第二高調波の減衰は 34dB、第三高調波の減衰は 42dB である。

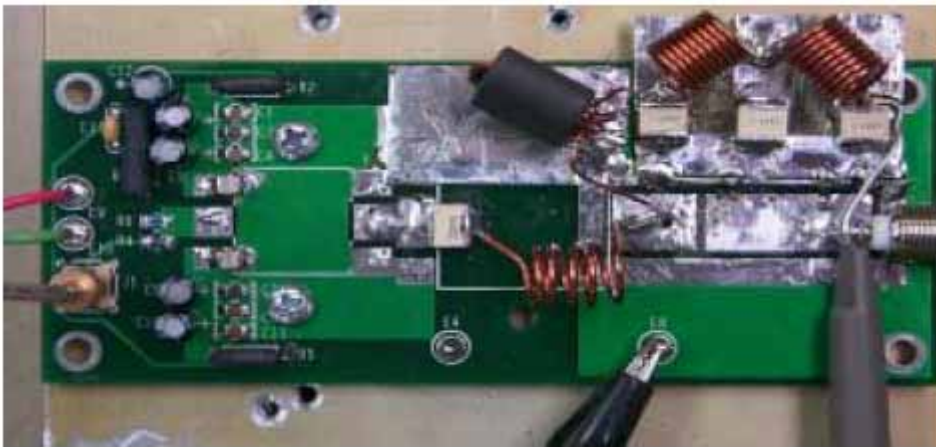


図 18 DEIC420 14MHz モジュール (フィルターを装備したところ)

次に、50 の T1 出力と RF 出力コネクタ J2 の間の RF モジュールの出力にフィルターを追加した。図 18 は RF モジュールにフィルターを追加したところを示したものである。図 19 にフィルター追加後のスペクトルを提示し、表 5 にはフィルターによる改善を要約した。ここでは、高調波に対する改善が理想的なレベルではない点に注意しなければならない。理想的なフィルター応答は完璧な 50 のインターフェースインピーダンスを示すからである。また、回路内の漂遊やコンポーネントの変動によっても、理想の応答からかなりの逸脱が起こる可能性がある。

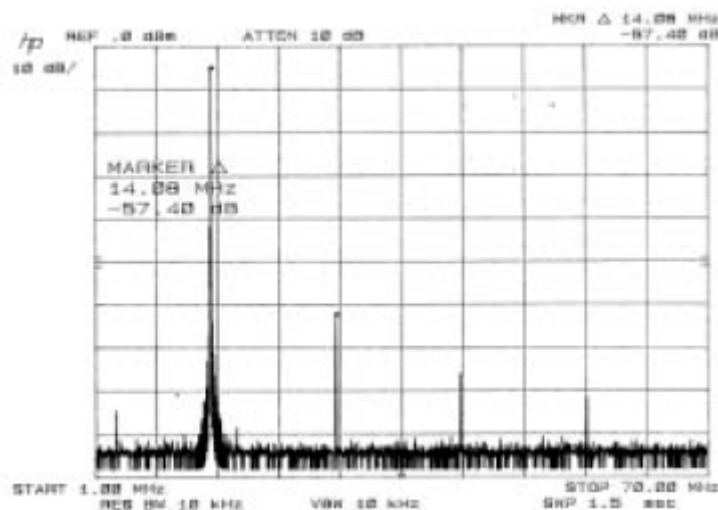


図 19 DEIC420 の 14MHZ におけるスペクトル (フィルター装備)

f <sub>0</sub> =14MHZ	2 <sup>nd</sup> (-dBc)	3 <sup>rd</sup> (-dBc)
No filter	28	48
With Filter	57	70
Difference	29	22

表 5 14MHZ における高調波スペクトル

### 試験データの精度

モニタリングやデータの記録には、すべて、P6131 プロブを装備したTektronix社製 TDS 360 オシロスコープを使用した。また、Fluke社製 87 DMMを用いてDC電圧や電流を測定し、HP 8568Bスペクトラムアナライザーによって高調波データを取得した。電力は、Bird 8322 負荷に対するスコープのデータから  $(V_{rms})^2 / 50$  を算出することによって測定した。結果的に電力計算にはすべての高調波が含まれることになり負荷は完全な 50 と想定される。電力の絶対標準値からは ±10% のばらつきが起こる場合がある。これらのデータは業界の平均的な電子分析施設で合理的に再現できると想定したものである。DEIC420 の性能を正確に示したのではなく、顧客によって結果は変動する場合がある。

### 回路の実装

十分なヒートシンクを使用することにより、DEIC420 の消失電力を除去することが重要である。表 2 を見ると、14 MHz ではヒートシンクに 80.7W が廃棄されているのがわかる。DEIC420 は 25 のケース温度で 100W に定格が設定されている。最高ジャンクション温度を超えないようにするためには、DEIC の電力消費性能を 1/0.13 /W、すなわち 7.7W/ に減定格しなければならない。いかなる状況においても、ジャンクション温度が 150 を超えるようなことがあってはならない。



図 20 T1、25 : 1、多巻線の自動トランス

図 20 にインピーダンス比が 25 : 1 の出力マッチングトランス T1 を提示する。この図は、構造と巻線方式を示したものである。図からわかるように、巻線は 5 本のマグネットワイヤを一回転させた構造になっている。つまり、 $5^2 = 25$  であり、25 : 1 の Z 比が得られるのである。1 本のワイヤはバランコアの片側を起点とし、もう一つのバランの穴まで一回巻き上げている。結果的にこのワイヤが次のワイヤの起点とはんだ接合され、連続的な直列巻線を形成するのである。参考資料の節に挙げた ARRL ハンドブックには、変圧器の構成についてさらに詳しい情報が記載されている。CW の「キーダウン」操作を希望する場合は、トランスコアの損失を最小限に抑制し、コアの加熱を最低限に維持しやすいよう、少なくとも 2 つ以上のコアを使用しなければならない。

アマチュア CW アプリケーションでは、80、40、30、20 のメーターバンドにおける標準的な「固定」動作周波数のクロックオシレータを容易に入手できるほか、可調節型の安定したパルス発生装置を使用することができる。クロックオシレータと DEIC420 間に簡易なキーのバッファ段を確保することによって、CW 動作が可能になるのである。

## 結論

DEIC は、もとは高周波数 MOSFET ゲートドライブアプリケーション用に設計されたフレキシブル IC である。この簡易な回路実装により、3.6 ~ 14 MHz のどの周波数においても 35 W の RF を容易に確保することができる。これよりも低い周波数における効率は 60% に近く、電力はほぼ 50 W である。また、ある程度の補助的な出力フィルタリングが行なわれるため、このモジュールは「一つの IC による」アマチュア無線用 CW 送信機として簡単に使用することができる。希望の周波数に容易に調節でき、同調や動作においてそれほど重大ではない。RF タンク値をスケール変更するだけで、(例えば 1.8 ~ 2 MHz のような)より低い周波数も容易に確保できる。読者諸氏には、それぞれに固有のアプリケーションに使用する DEIC420 を用いて実験してみるようお勧めする。

DEIC420 の IC や EVIC420 評価モジュールは IXYSRF から販売しています。詳細は、日本販売代理店ジェイレップ株式会社へお問い合わせください。

販売代理店: ジェイレップ株式会社

〒564-0051 大阪府吹田市豊津町2-1 TEL:06-6368-2111 FAX:06-6368-2114 e-mail:info@j-rep.com

〒108-0074 東京都港区高輪3-19-20 TEL:03-5789-2310 FAX:03-3449-7844



### 参照文献

1. Herbert L. Krauss and Charles W. Bostian

**Solid State Radio Engineering**

Copyrighted 1980, John Wiley & Sons

ISBN 0-471-03018-X

2. Mihai Albulet

**RF POWER AMPLIFIERS**

Copyrighted 2001, Noble Publishing

ISBN 1-884932-12-6

3. ARRL

**THE ARRL HANDBOOK FOR RADIO AMATEURS**

Copyrighted 2001, ARRL

ISBN 0-87259-191-3