

電源回路高速整流用低ノイズFRD CTXRシリーズの開発

Development of Low Noise FRD CTXR Series for Power Supply Circuit High Speed Rectification

南野 洋平*
Yohei Minamino

概要 白物家電の電源部に搭載されているPFC回路での高周波整流において、既存のFRDではリカバリ時のピーク電流が大きく、リングングが発生しノイズによる誤動作などの悪影響が懸念されるといった問題がある。これらの問題を解決できるスイッチング特性に優れた低ノイズFRDとしてFMXR-1206Sを開発したが、パッケージはTO-220Fであり、定格電流としては20Aのみのラインナップであるため、さらなる大電流を要する高出力のPFCに対しては搭載困難という課題がある。

この課題を解決するために、チップ面積を拡大した低ノイズFRDを大電流用の汎用パッケージであるTO-247に搭載した、CTXRシリーズを開発した。

1. まえがき

新興国を中心に今後も市場拡大が予想される白物家電の電源部には、図1に示すような力率改善 (PFC : Power Factor Correction) 回路が搭載されている。

この回路の高周波 (100kHz~) 整流においては、高速整流ダイオード (FRD : Fast Recovery Diode) としてLシリーズ (~50ns) やXシリーズ (~30ns) をラインナップとして保有しているが、どちらもリカバリ時のピーク電流値が大きいためスイッチング時の損失が大きくなってしまふ。

また、その電流が流れることでリングングが発生してしまい、ノイズによる誤動作などの悪影響が懸念されるという課題がある。

これらの課題を解決できるスイッチング特性に優れた低ノイズFRDとしてFMXR-1206Sを開発したが、パッケージはTO-220Fであり、定格電流としては20Aのみのラインナップとなっていた。そのため、更なる大電流を必要とする高出力のPFCに対しては搭載が難しく、本市場への参入拡大は困難であった。

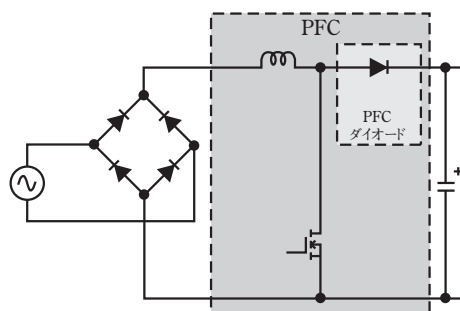


図1 エアコンPFC回路例

今回、30A以上の大電流に対応するため、低ノイズFRDを大電流用の汎用パッケージであるTO-247へ搭載したCTXRシリーズを開発したため紹介する。

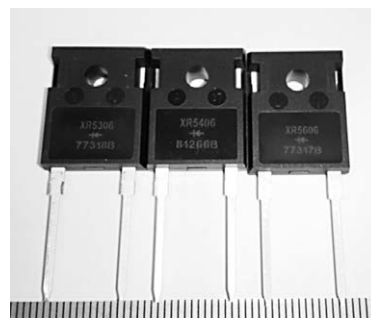


写真1 CTXRシリーズの外観

* デバイス事業本部 技術本部 パワーデバイス事業部
ディスクレット技術部 開発2課

2. 素子構造

CTXRシリーズの素子構造はFMXR-1206Sと同様だが、大電流での使用に対応するためチップ面積を拡大している。図2に素子の終端構造を示す。

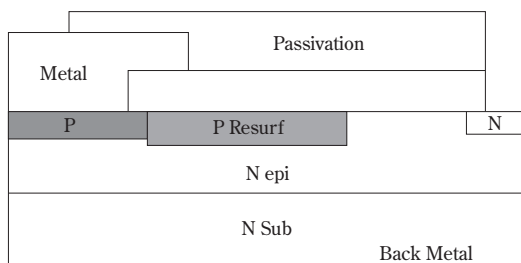


図2 終端構造模式図

2.1 活性部構造

アノード部は通常よりも低濃度とする事でキャリアの注入量を抑制している。加えて、逆方向漏れ電流 (I_R) を抑制する構造としている。その結果、図3に示すようにXシリーズに対し逆方向回復時間 (t_{rr}) 特性を維持したまま高温逆方向漏れ電流 ($H \cdot I_R$) 特性を改善している。

また、粒子線の照射量を多くする事でキャリアの消滅が早くなり、スイッチング時のリカバリ電流値を小さくすることでリングングの発生も抑制している。

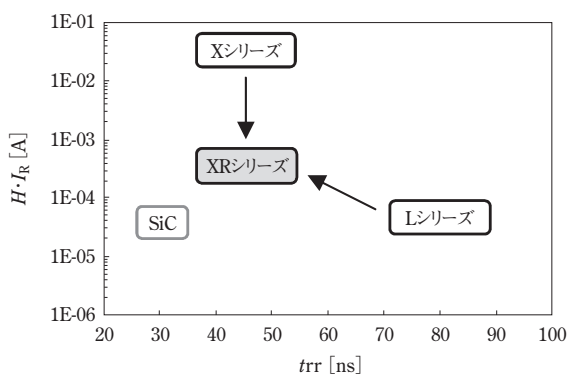


図3 $H \cdot I_R - t_{rr}$ 代表特性

2.2 外周部構造

外周部の構造はリサーフ構造を採用している。

リサーフ構造を用いる事で従来のFLR (Field Limiting Ring) 構造に比べ、短い外周距離で電解緩和が可能となりチップサイズを縮小できる。

3. 製品概要

3.1 製品仕様

CTXRシリーズとして平均順電流30A, 40A, 60Aの3品種をラインナップした。

絶対最大定格を表1に、電気的特性を表2に示す。

表1 絶対最大定格

項目	記号	規格値			単位	条件
ピーク非繰返し逆電圧	V_{RSM}	600			V	—
ピーク繰返し逆電圧	V_{RM}	600			V	—
平均順電流	$I_{F(AV)}$	30	40	60	A	減定格
サージ順電流	I_{FSM}	120	200	240	A	10ms正弦半波
I^2t 限界値	I^2t	72	200	288	A ² s	1~10ms
接合部温度	T_j	-40~+150			°C	—
保存温度	T_{stg}	-40~+150			°C	—

表2 電気的特性

項目	記号	規格値			単位	条件
順方向降下電圧	V_F	2.5max.			V	$I_F = I_{F(AV)}$
逆方向漏れ電流	I_R	10max.			μA	$V_R = V_{RM}$
高温逆方向漏れ電流	$H \cdot I_R$	1.5 max.	2.0 max.	3.0 max.	mA	$V_R = V_{RM}$ $T_j = 150^\circ C$
逆方向回復時間	t_{rr}	70 max.	75 max.	80 max.	ns	$I_F = I_{F(AV)}$ $di/dt = 200A/\mu s$
逆方向回復電荷	Q_{rr}	170 max.	190 max.	210 max.	nC	$V_R = 400V$ 100%回復点
熱抵抗	$R_{th(j-f)}$	1.5 max.	1.1 max.	0.9 max.	°C/W	接合部-フレーム間

3.2 熱抵抗特性

CTXRシリーズは大電流用の汎用パッケージであるTO-247を採用しており、FMXR-1206Sに比べ熱抵抗が低くなっている。図4にCTXRシリーズおよびFMXR-1206Sの熱抵抗 $R_{th(j-f)}$ (ジャンクション-フレーム間)を示す。FMXR-1206Sが2.0°C/Wであるのに対し、CTXRシリーズは0.6~1.0°C/Wとなっており、全体的に低い値となっている。

TO-247はTO-220Fに比べフレーム体積が大きく、熱容量が高い。また、フルモールドではないため放熱性も良いことから、FMXR-1206Sに比べ熱的に有利になっている。そのため、より大電流を必要とする高出力のPFCに対しても、ジャンクション温度の上昇が抑えられ搭載可能となる。

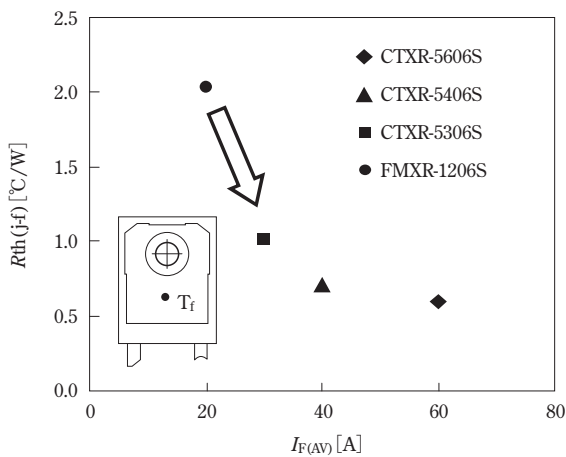


図4 CTXRシリーズ熱抵抗特性

3.3 順方向特性および逆方向特性

CTXRシリーズの I_F-V_F 特性に関して25°Cを図5に、150°Cを図6に示す。また、 I_R-V_R 特性に関して25°Cを図7に、150°Cを図8に示す。XRシリーズは順方向降下電圧 (V_F) は高いが、 V_F によるPFC回路の損失比率は小さく(図11参照)、影響は限定的である。

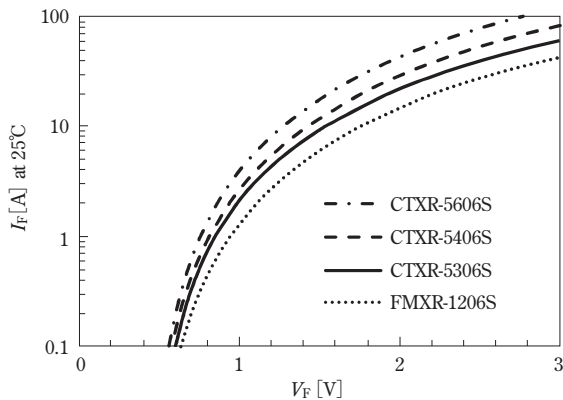


図5 I_F-V_F 代表特性 (25°C)

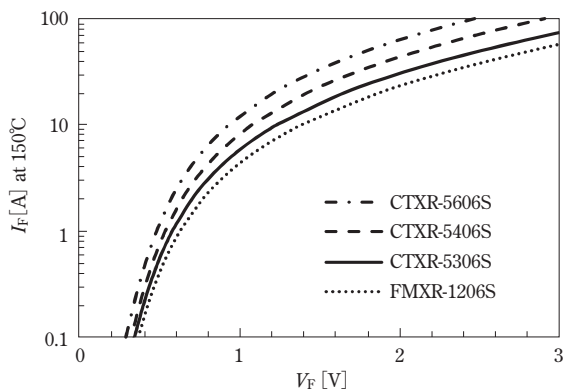


図6 I_F-V_F 代表特性 (150°C)

CTXRシリーズはFMXR-1206Sのチップサイズ違いによりシリーズ展開している。電流密度設計は同様としており、特性は図5~8に示す様に各製品によって異なるが、チップの単位面積当たりでみた場合は各製品で同等の値となる。

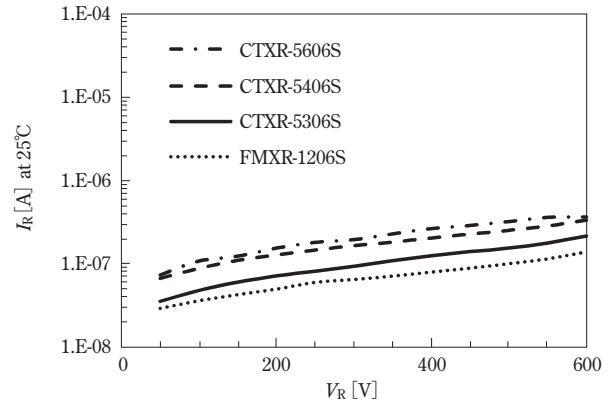


図7 I_R-V_R 代表特性 (25°C)

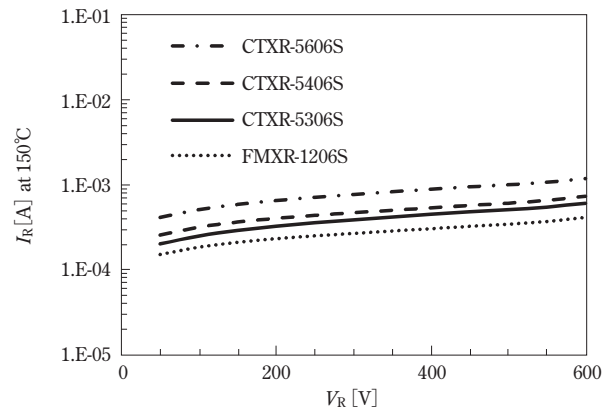


図8 I_R-V_R 代表特性 (150°C)

3.4 スイッチング特性

スイッチング特性に関してはFMXR-1206Sと同様に逆方向回復電荷 (Q_{rr}) が小さく、リングングの発生も抑制された波形となっている。

図9にXRシリーズのスイッチング波形、図10に従来品であるLシリーズのスイッチング波形を示す。

図10に示すように、Lシリーズはリカバリ時のピーク電流が大きく Q_{rr} が大きい。また、戻りの電流傾きも急峻になっており、リングングの発生が見られる。一方図9に示すように、XRシリーズはピーク電流が小さく、リングングの発生も抑制されており、よりSiCに近い優れたスイッチング特性が得られている。

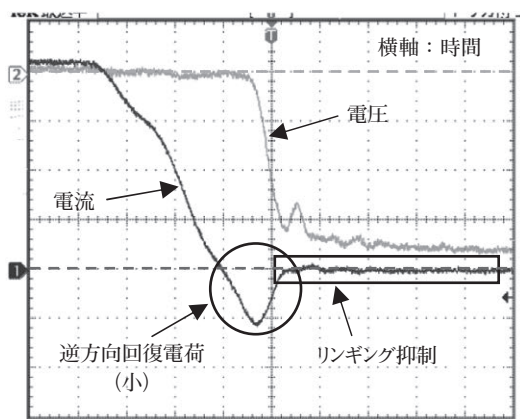


図9 XRシリーズスイッチング特性

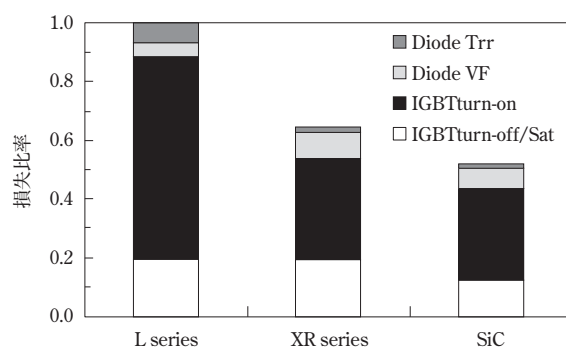


図11 PFC回路動作評価結果 (100kHz)

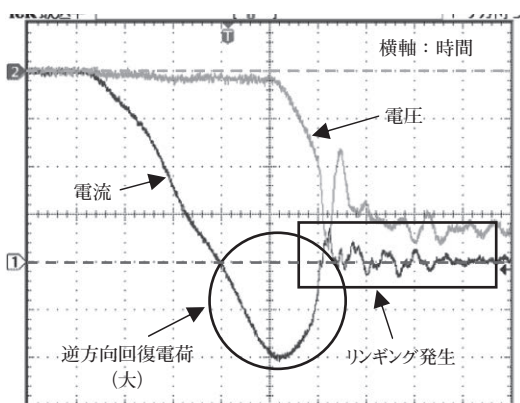


図10 Lシリーズスイッチング特性

4. PFC回路動作評価結果

PFC回路の代表的な制御方式の一つに電流連続方式 (CCM) がある。この方式はインダクタに連続的に電流を流すためスイッチ素子のピーク電流が抑えられ、スイッチ素子のオン損失を小さくできるメリットがある。

しかしながら、整流ダイオードとしては電流を流している状態でスイッチされるため、非常に高速なスイッチング特性が求められることになる回路方式である。

スイッチ素子の周波数可変タイプのCCM PFC試験回路で、周波数を100kHz at 100℃で動作させた際のLシリーズ、XRシリーズ、SiCでの各々の回路損失を図11に示す。

XRシリーズは従来品のLシリーズに比べIGBTのターンオン損失が大幅に低減し、約35%損失が低減している。50kHzでの低減率は約30%となっており、スイッチング回数がより多くなる高周波の方がより大きな損失低減効果が得られる。

市場的にはまだまだ高価なSiCにより近い性能をSiデバイスにて実現している。

5. むすび

今回、低ノイズFRDを大電流用の汎用パッケージであるTO-247へ搭載したCTRXシリーズを開発した。

今後、更なる大電流を必要とする高出力のPFC市場に対し参入拡大を狙っていく。