

大電流真空可変コンデンサ

異 敏規 Toshinori Tatsumi
 深井利眞 Toshimasa Fukai
 高橋大造 Daizo Takahashi
 村山翔哉 Shoya Murayama

キーワード 真空可変コンデンサ, 大電流, 低トルク, 長寿命

概要



VP200
55kV-500pF,
400Arms

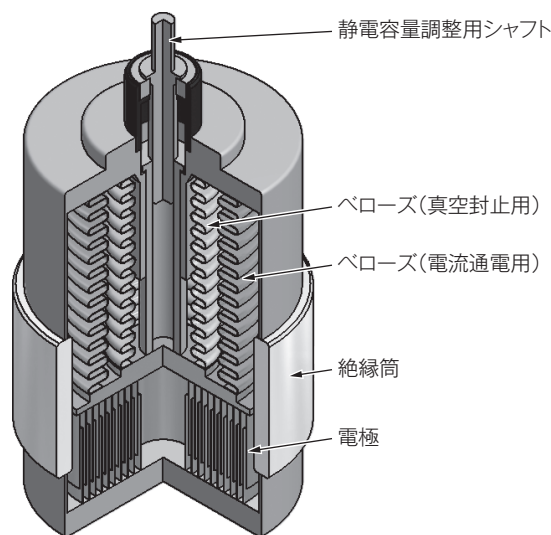
VPA150
40kV-500pF,
400Arms

大電流 VVC

真空可変コンデンサ（VVC：Variable Vacuum Capacitor）は、主に高周波（RF）プラズマを使った薄膜プロセスに必要なRF電源回路のインピーダンス整合に用いられる。現代に欠かすことのできない、電子デバイス・携帯端末・半導体素子・液晶ディスプレイなどこれらの製造工程には必ず薄膜プロセスがあり、そこではRF電源回路が使われている。シリコンウェハサイズの大口径化や液晶パネルの大形化に伴い、RF電源回路は高出力化し、VVCは大電流・高耐電圧化が求められており、当社はお客様の要求に沿った製品を開発し、製品化している。

1 まえがき

第1図にVPシリーズの構造図を示す。真空可変コンデンサ（VVC：Variable Vacuum Capacitor）は、電極間を絶縁する絶縁筒、静電容量を形成する対向した一対の電極、電極を真空内に配置するための真空封止用ベローズ、電極の対向面積を可変させるための静電容量調整用シャフトで構成される。また、大電流VVC VPシリーズは当社独自の二重ベローズ構造を採用し、真空封止用とは別に通電用の大口径・低抵抗ベローズが配置される。当社はこれまで大電流VVCの開発を継続的に取り組み、2016年までに許容電流400Arms（at 13.56MHz空冷）を最大とする6製品群を開発した。本稿では、大電流化の取り組みを紹介する。



第1図 VPシリーズ構造図

真空を保持する真空封止用ベローズと電流通電用ベローズの二重ベローズ構造（当社独自の構造）を示す。高周波用途では、表皮効果によって電流は外側ベローズに流れるしくみとした。

2 大電流 VVC 需要の背景

近年、液晶パネル市場では、中国・韓国・台湾のパネルメーカーが次世代に向けて巨額投資を行っている。2016年には第10世代（パネル寸法：2880×3130mm）の液晶パネル製造工場への大形投資があり、40kW超の大形高周波（RF）電源・整合器の需要が高まった。同様にVVCにも大電流化・高耐電圧化が要求され、2016年は400Arms通電の大電流VVC VP200シリーズを展開した。

現在、液晶製造装置メーカー・高周波電源メーカー各社では、第11世代（パネル寸法：3000×3320mm）を開発しており、当社はお客様の電流化の要求に沿った製品を提案し、更なる市場シェアの拡大を図っている。

3 大電流化の取り組み

第2図に周波数-最大許容電流特性を示す。当社VVCの最大許容電流の3つの領域は、以下のとおりである。

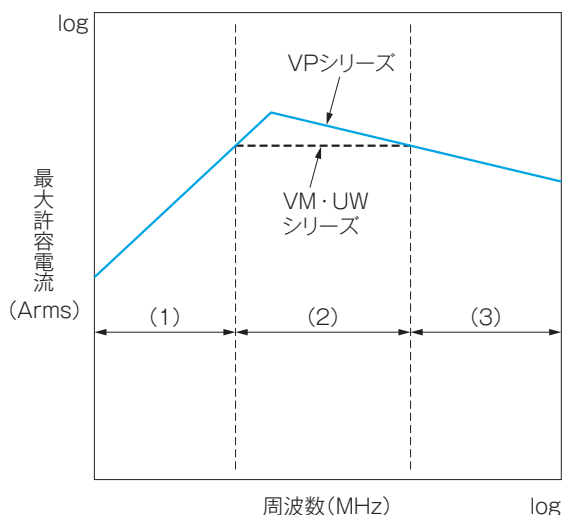
- (1) RF動作電圧による制限領域 $I = 2\pi f C V_{rms}$ (C：静電容量)
- (2) 最大許容温度による制限領域
- (3) 表皮効果による制限領域 $I = I_{RF} (F_{RF}/f)^{1/4}$

VVCの大電流化開発で、主な課題は通電用ベローズにある。(2)、(3)の制限範囲で、ベローズの損失・発熱を低減することで最大許容電流を更に高めることができる。VVC通電時の発熱を次式に定める。

$$P_{loss} = (ESR_f + R_c) (I_{RF})^2$$

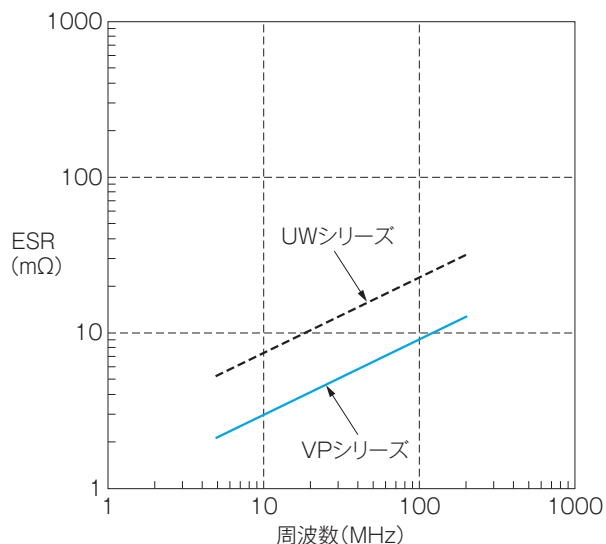
VVCに流れる通電電流を I_{RF} Arms、通電用導体などの縮結抵抗を R_c としたとき、VVC通電時の発熱は主に等価直列抵抗（ESR）の抵抗損失 P_{loss} Wで生じる。最大電流通電時のVVC本体の表面温度が125℃（室温25℃のとき $\Delta 100^\circ\text{C}$ ）で規定されているため、大電流化の実現にはより発熱・損失の少ないベローズが求められる。

また、VVCの場合はベローズの表皮効果による抵抗がESRの主要素で、ESRは周波数に依存する。



第2図 周波数-最大許容電流特性

VPシリーズ最大許容電流値の頂点より左の斜線は最大RF動作電圧によって制限される領域である。右の斜線は製品許容温度によって制限される領域である。UWシリーズは許容温度に制限される範囲が大きい。



第3図 ESR-周波数特性例

UWシリーズのESR特性に比べ、VPシリーズのESRは約半分の3～4mΩ（at 13.56MHz）である。

当社VVCは主にRF電源回路で使用され、代表的な周波数は13.56MHzである。第3図にESR-周波数特性例を示す。ESRの実測値はUWシリーズと比較し、二重ベローズ構造のVPシリーズのESRは極めて低い。これは通電用ベローズの大口径化で表面積の拡大を図ったこと、電気特性に優れた銅系素材を採用し導体抵抗を低減させたことによる効果である。しかしながら最先端装置市場の要求は更に高く、当社は引き続き低損失ベローズを含む新技術の

研究・開発を行っている。また、ベローズに求められる性能は低損失だけではない。繰り返し伸縮に耐えうる形状や素材強度，静電容量調整用シャフトの回転トルクに影響を及ぼさない低ばね定数化など開発要素は多数ある。ベローズの開発は競合他社との製品競争力を図る重要なテーマである。

4 むすび

当社独自の二重ベローズで構成されたVVCは，製品外径 $\phi 65 \sim \phi 200\text{mm}$ を品ぞろえし，最大許容電流はそれぞれ130～400Armsである。また，静電容量調整用シャフトの回転トルクは $\phi 65 \sim \phi 110\text{mm}$ まで全て共通設計で $0.18\text{N}\cdot\text{m}$ ， $\phi 150\text{mm}$ ， $\phi 200\text{mm}$ は $0.6\text{N}\cdot\text{m}$ といずれも業界最小である。水冷フランジやボールねじのオプションにも対応する。

今後は，最大許容電流500Arms超の大電流VVCの需要が見込まれており，当社はお客様の期待に応えられるよう更なる大電流化に向け新製品を開発していく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは，それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



異 敏規
Toshinori Tatsumi
電子機器工場
真空コンデンサの設計・開発に従事



深井利真
Toshimasa Fukai
電子機器工場
真空コンデンサ・エックス線管の設計・開発に従事



高橋大造
Daizo Takahashi
電子機器工場
真空コンデンサ・エックス線管の設計・開発に従事



村山翔哉
Shoya Murayama
電子機器工場
真空コンデンサの設計・開発に従事