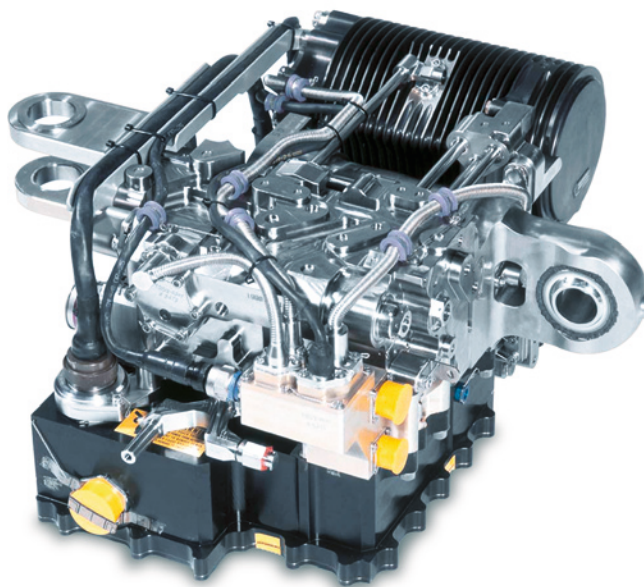


新しいアプローチとしてアクティブ電源フィルタを使用した  
航空機電気システムの干渉抑制

# Onboard Power

航空機の重量を削減することは、燃料消費の低減と環境の保護につながります。そのための方法の1つは、重量の大きい油空圧システムの代わりに、軽量の電気部品を使用することです。この場合、質の高い電源が必要不可欠となり、強力な干渉抑制機能も必要になります。Liebherr-Elektronik GmbHでは、dSPACE ツールを使用してアクティブ電源フィルタのプロトタイプを開発しました。



アクティブ電源フィルタは、将来、エアバス A380 の電気式バックアップ油圧アクチュエータなどに使用される予定です。

#### 課題：質の高い機内電源

スピーカの近くに携帯電話を置いておくとメールが入ってきたときに、スピーカから雑音が発生することはよく知られています。この干渉は聞き取ることができますが、携帯電話の充電器などが原因で発生する、耳では聞き取れない干渉も存在します。これによって、電源から非正弦波の電流が発生し、電圧が歪みます（図 1）。基本周波数に倍音が重ね合わされるため、電源供給網全体に悪影響が及びます。その結果、変圧器、発電機、および電力線での損失が高くなり、感応し易い機器が干渉を受け、電源の過負荷が発生することもあります。家電機器の場合、これは通常問題ありませんが、航空機の場合は、誤動作が生じて深刻な結果を招く恐れがあります。これを防止するには、アクティブ電源フィルタを使用して、機内電源にこのような歪みが発生するのを最初の段階で防ぎます。

#### フィルタによる干渉の抑制

航空機では、タービンが駆動する三相発電機で電気エネルギーを生成します。それぞれの電気消費機器は最初に、三相の可変周波数網 (360 ~ 800 Hz) から直流を生成する必要があります。従来、これ

#### エアバス A380 の電気式バックアップ油圧アクチュエータ

電気式バックアップ油圧アクチュエータは、バックアップシステムとして使用される電気式流体静力学アクチュエータです。通常の動作ではポンプの電源が切られており、アクチュエータは航空機の内部油圧によって動かされます。航空機の二重の油圧回路が両方とも機能しなくなると、電気式ポンプが直ちに作動し、アクチュエータに必要な油圧を直接生成します。Liebherr-Elektronik GmbH は dSPACE と共同で、これらの制御およびパワーエレクトロニクス用の部品を開発して製造しています。将来、アクティブ電源フィルタはこれらのエレクトロニクスの構成部品となり、三相可変周波数電気システム (360 ~ 800 Hz) を整流して、整流時に発生した干渉が航空機の電源に影響を及ぼさないようにします。アクティブフィルタを使用する主な目的は、パワーエレクトロニクスの質量と体積を削減し、燃料の消費を削減することにあります。



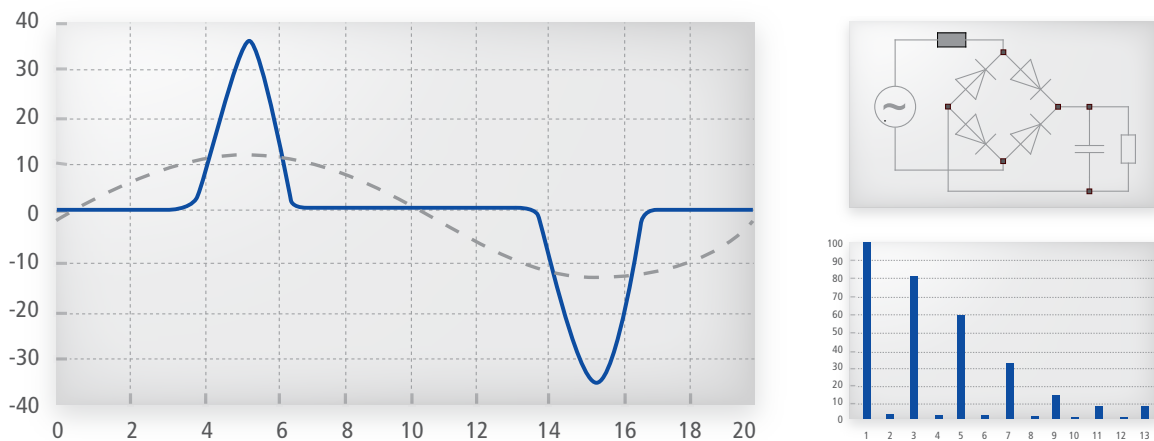


図1：整流器によって、供給電源から非正弦波の電流が発生します（右上）。これが原因となり、変圧器におけるより多くの損失と相電圧における「急激な落ち込み」が発生します。理想的な電流を点線で示します（左）。全領域で、大きな倍音成分が示されています（右下）。

## 「dSPACE プロトタイピングシステムのおかげで、わずか数ヶ月で航空機用の完全に機能するアクティブ電源フィルタを開発することができました」

Sebastian Liebig 氏、Liebherr-Elektronik GmbH

は 12 パルス整流器（12 パルス変圧器を備えた特殊な整流器）またはアクティブ力率補正（PFC）によって行われていました。アクティブ電源フィルタは、設計方法に応じて、単一倍音、無効電力、非対称電圧、さらに過電圧も補正することができるので、PFC よりも優れた代替手段となります。

### アクティブ電源フィルタによる電源網品質の向上

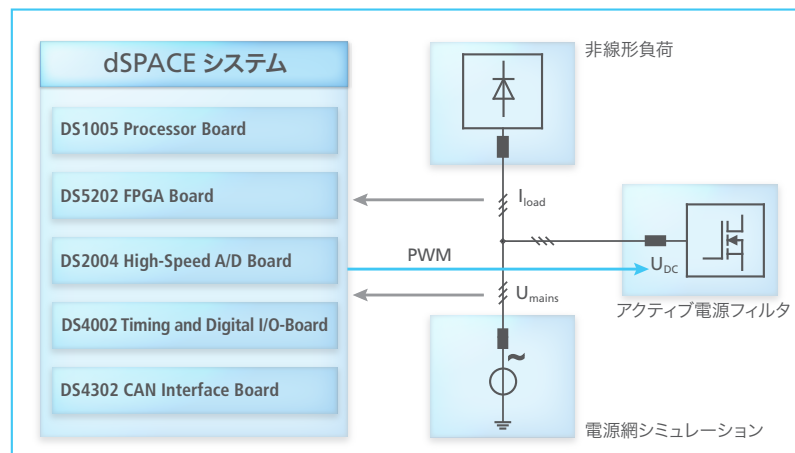
アクティブ電源フィルタはこれまで航空機では使用されていませんでした。航空機電気システムの周波数が高く（800 Hz に関連する最大 10 kHz までの倍音）、非常に高速な制御が必要になるためです。しかし現在では、新しい、高速スイッチング半導体が開発されたことにより、アクティブ電源フィルタが有望な代替案となりつつあります。1 つのアクティブ電源フィルタによって複数の機器の干渉を同時に抑制できるということが、特に魅力的です。このため、機器ごとに別々のフィルタを取り付けるよりもはるかに安価で済みます。また、補正が必要な電流にのみ合わせてアクティブ電源フィルタを設計すればよいので、その寸法と重量は、すべての電流に合わせて設計されるアクティブ PFC の場合よりもはるかに小さくなります。さらに高い切替周波数によって、小型の半導体スイッチが使用できるようになります。

### dSPACE プロセッサボードを使用したプロトタイプの開発

アクティブ電源フィルタを実装するには、最大 100 kHz の高い切替周波数を実現し、複雑な制御アルゴリズムをリアルタイムで計算するのに必要な強力なハードウェアが基本的要件になります。dSPACE システム（図 2）は、DS1005 PPC Board と複数の I/O ボードで構成されます。これには、EV1048 ピギーバックモジュール

を備えた新しい DS5202 FPGA Base Board が含まれます。これにより、クロック制御された電流および電圧のセンターアラインサンプリングによるパルス幅変調（PWM）が可能になります。さらに、負荷電流  $I_{Load}$  や温度センサなどのアナログ信号が、DS2004 High-Speed A/D Board を介して読み込まれます。このシステムは現在、50 kHz の切替周波数も難なく達成しています。このため、制御アル

図2：試験施設のセットアップは、三相電源網シミュレーション、非線形電気消費デバイス（抵抗負荷付き整流器）、アクティブ電源フィルタ、および dSPACE 拡張ボックスで構成されており、ラップトップコンピュータ上の ControlDesk から操作されます。



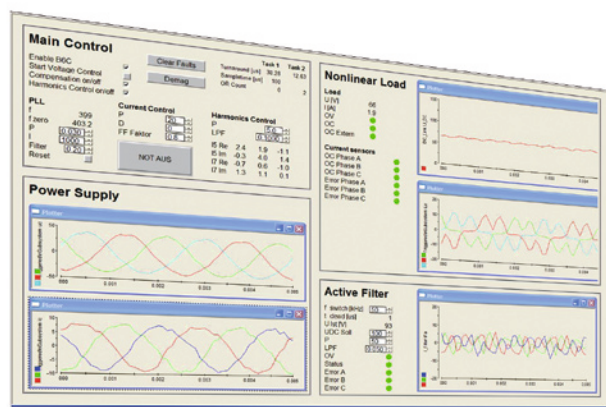


図3：計測された電圧と電流および訂正信号が表示された ControlDesk のレイアウト

ゴリズム全体の計算時間は 20  $\mu$ s を下回ります。マルチタスクにより、演算処理能力を柔軟に配分でき、それほど重要性の低いデジタル I/O や温度信号をかなり低い速度で評価し、重要性の高いタスクにより多くのリソースを割り当てることができます。

MATLAB<sup>®</sup> で制御設計が完了すると、ランタイム時に dSPACE ControlDesk<sup>®</sup> によってすべてのセンサ信号と任意の仮変数を観測することができます。ControlDesk は、エラーの検出とパラメータの最適化を実行するのに非常に便利な方法です (図 3)。

### 結果

dSPACE ラピッドプロトタイピングシステムを用いることで、電気システムの周波数

が可変であるにもかかわらず、アクティブ電源フィルタを確実に使用できることが示されました。倍音も正常に補正されました。計測結果により、アクティブ電源フィルタを備えた機器が、関連する規格を満たしていることが確認されました。これは、航空業界からの承認に向けての大きな一歩となります。

### 今後の展望

次の課題は、50 kHz の切替周波数をさらに高めるためにアルゴリズムを最適化することです。これは、誘導率や中間回路キャパシタなどの受動部品のダウンサイジングおよび運用安全性の向上にとって重要です。モデルを頻繁に計算するほど、電圧過渡現象や相欠陥などの予期しない事象が検出され補正される可能性が高くな

ります。航空機では高い安全性レベルが要求されるため、このようなロバスト性が不可欠になります。

アクティブフィルタは、Texas Instruments 社製のデジタル信号プロセッサ (DSP) と共に量産化されます。開発されたアルゴリズムは、dSPACE TargetLink<sup>®</sup> を用いてこの DSP 用の量産コードに変換されます。■

Alfred Engler, Sebastian Liebig  
Liebherr-Elektronik GmbH

### Alfred Engler 氏

同氏は、ドイツのリンダウに本拠をおく Liebherr-Elektronik GmbH の先進開発部門 (EV) の担当責任者です。



### Sebastian Liebig 氏

同氏は、ドイツのリンダウに本拠をおく Liebherr-Elektronik GmbH の先進開発部門 (EV) のエンジニアです。



## まとめ

- 航空機を電化するには、高品質の電気システムを実現するための新しい手段が不可欠となります。
- アクティブ電源フィルタは、航空機の電気システムのアーキテクチャに組み込むことが可能であり、必須の制限事項を満たしています。
- このシステムを量産レベルまで開発するために TargetLink を使用することが認可されました。