

パワーデバイス

バイパスコンデンサのインピーダンス特性

コンデンサには様々な種類があり、容量値だけで部品を選択すると、バイパスコンデンサとして必要な条件が不足し、機器が誤動作する場合や規格を満足しない場合があります。このアプリケーションノートではコンデンサのインピーダンス特性にフォーカスし、バイパスコンデンサ選択時の注意点について説明しています。

バイパスコンデンサの役割

電源回路上のバイパスコンデンサはだまかに 2 つの役割を持っています。1 つ目は電源ラインに重畳しているノイズ成分をグラウンドへ逃がすことです。定常電圧よりもノイズ成分が高い場合はコンデンサに充電し、低い場合は放電することで、電圧の変動を小さくしています。またコンデンサは周波数が高くなるに従って交流的なインピーダンスが小さくなるため、周波数が高いノイズ成分をグラウンドへ逃がしやすくなります。2 つ目は負荷電流の急変により電源ラインの揺れを抑えることです。電源ラインには配線インピーダンスが存在するため、負荷電流が急変すると電圧ドロップが発生します。そのため設定電圧の逸脱や電圧ノイズの問題が発生します。バイパスコンデンサは定常電圧より下がると放電し、上がると充電することで、電圧変動を小さくしています。これは短時間動作する補助電源のような役割を果たしています。

バイパスコンデンサに必要な性能

これら 2 つの役割はどちらも定常電圧よりも上がると充電し、下がると放電するといった動作を行うため、ノイズの周波数や電圧変動のスピードに対応できる性能を持ったコンデンサでなければいけません。

次に必要な性能について考えてみます。Figure 1 に簡略化したコンデンサの等価回路を示します。C は静電容量です。ESR は等価直列抵抗で、誘電体の種類による抵抗成分や、電極・端子の抵抗成分です。ESL は等価直列インダクタンスで、電極・端子などコンデンサの構造によって発生するインダクタンス成分です。

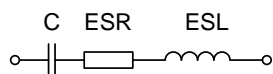


Figure 1. 簡略化したコンデンサの等価回路

この等価回路のインピーダンスは式(1)で計算でき、その特性を Figure 2 に示します。周波数が低い領域では静電容量 C でインピーダンスが決まります。また周波数が高い領域では ESL でインピーダンスが決定されます。C と ESL が直列共振してインピーダンスが同じ

($1/2\pi f C = 2\pi f ESL$)になるところが自己共振周波数で、C や ESL の影響がゼロになるため ESR のみになります。なお自己共振周波数は式(2)で計算できます。これらの特性より、コンデンサとして機能させるには自己共振周波数より低い領域で使う必要があります。

$$|Z| = \sqrt{ESR^2 + \left(2\pi f \times ESL - \frac{1}{2\pi f \times C}\right)^2} \quad [\Omega] \quad (1)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{ESL \times C}} \quad [Hz] \quad (2)$$

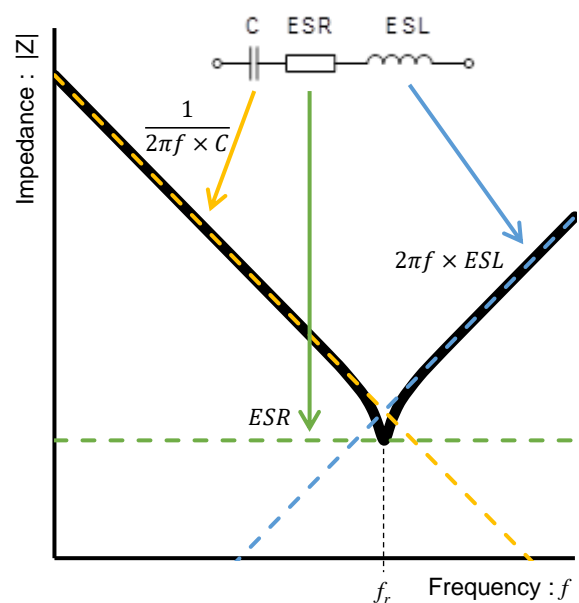


Figure 2. コンデンサ等価回路のインピーダンス特性

バイパスコンデンサ選択の要点を以下にまとめます。

1. ノイズの周波数でインピーダンスが低くなるように十分大きな容量値を選択します。容量値が大きいほどインピーダンスは低くなります。
2. 自己共振周波数より低い領域で使用するようにします。
3. インピーダンスを低くするには、ESR が小さな部品を選択します。
4. 周波数が高いノイズに対しては ESL が小さな部品を選択します。
5. 電圧ドロップを抑えるための電荷量が蓄えられる容量値を選択します。

セラミックコンデンサのインピーダンス特性

電源ラインのインピーダンスを低く抑えるためには、大容量、低 ESR、低 ESL のコンデンサが必要ですが、広い周波数帯域を 1 種類のコンデンサでカバーすることはできません。これは一般的に容量が大きなコンデンサは形状が大きくなるため ESL が大きくなります。そのため自己共振周波数が低くなり、高い周波数領域ではインピーダンスが高くなります。一方で容量が小さなコンデンサは一般的に形状が小さいため ESL も小さくなります。そのため自己共振周波数が高く、高い周波数領域で低インピーダンスが得られます。しかし容量値が小さいため、低周波数領域でのインピーダンスは高くなります。

広い周波数帯域で低インピーダンス化を図るには、周波数帯域ごとに容量値の異なる複数のコンデンサを並列接続する方法があります。Figure 3 は積層セラミックコンデンサ (MLCC) の一例です。この例では 22 μ F のバイパスコンデンサ 1 個では 1MHz 以上でインピーダンスが上昇するため高周波域でのノイズ悪化が予想されます (赤線)。100pF から 1 μ F までのコンデンサを並列接続することで合成インピーダンスを低く抑えることができます (黒線)。

考慮事項として、自己共振周波数が離れた MLCC を配置すると、それぞれの C と ESL 間で並列共振を起こしインピーダンスが高くなる場合がありますので実機で確認してください。この並列共振を反共振点といいます。

別の考慮事項として、同じ容量のコンデンサでもケースサイズや形名が違えばインピーダンス特性は異なります。また実際の PCB では配線による寄生インダクタンス成分があるため、コンデンサの特性どおりにインピーダンス値が小さくならない場合があります。

Figure 3 のグラフより周波数帯域ごとに効果がある容量値の目安を把握しておくことでノイズ対策の指針になります。例えば短波 (HF) 帯 (短波ラジオや市民ラジオなど) へのノイズを小さくするためには 1 μ F や 0.1 μ F を、超短波 (VHF) 帯 (FM ラジオなど) への対策は 0.01 μ F の MLCC を複数個並列接続することで改善が期待できるといった具合です。

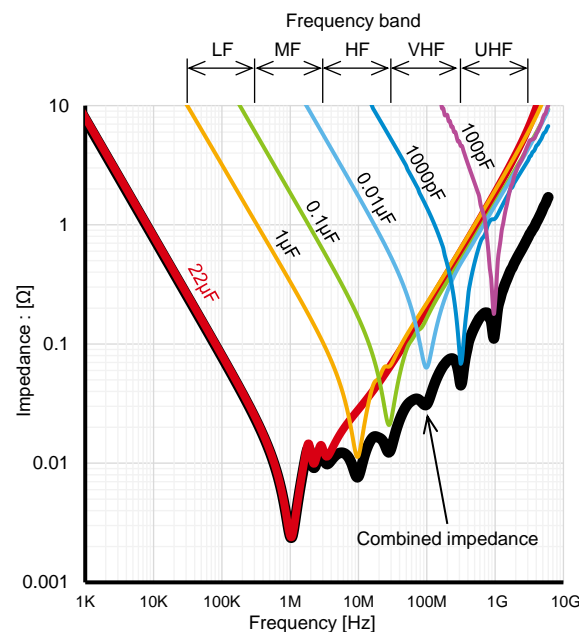


Figure 3. 複数の容量の積層セラミックコンデンサを並列接続したインピーダンス特性の一例。広帯域において低インピーダンス化を図ることができる

電解コンデンサのインピーダンス特性

大容量セラミックコンデンサは高価なことや、調達できないことが理由で電解コンデンサを使用する場合がありますが、インピーダンス特性はセラミックコンデンサに比べると高くなりますので注意が必要です。

Figure 4 の赤線は 330 μ F アルミニウム電解コンデンサのインピーダンス特性の一例を示します。この例では、おおよそ 10kHz 以上で ESR 値によって制限されるためインピーダンスがその値以下になっていません。100pF から 22 μ F の線は MLCC の特性を示します。これら MLCC をアルミニウム電解コンデンサに並列接続することで合成インピーダンスを低く抑えることができます (黒線)。

Figure 4 の例は MLCC の効果を説明するためのもので、部品が多く現実的ではありませんが、例えば Figure 5 のように 3 個程度の容量の組み合わせでも広帯域でインピーダンスは低く抑えることができ、必要に応じて高周波域のコンデンサを追加することを考察します。

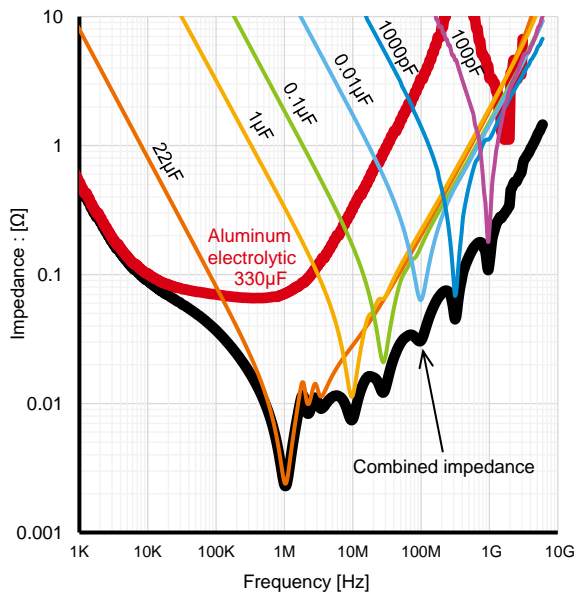


Figure 4. アルミニウム電解コンデンサのインピーダンス特性の一例。複数の容量の積層セラミックコンデンサを並列接続して、広帯域において低インピーダンス化を図ることができる

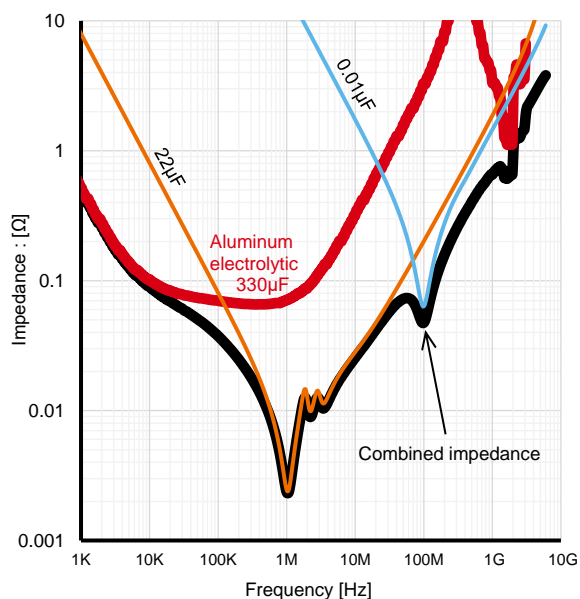


Figure 5. 3 個程度の容量の組み合わせでも広帯域でインピーダンスは低く抑えることができ、必要に応じて高周波域のコンデンサを追加することを考察する

またアルミニウム電解コンデンサなどの湿式電解質を使った電解コンデンサは低温時の特性にも注意する必要があります。湿式電解コンデンサに使用されている電解液は低温になると、粘度と抵抗が増加しイオン移動性が低下するため、静電容量の減少と ESR の増加が起こります。これにより低温時のインピーダンスが上昇します。Figure 6 にアルミニウム電解コンデンサのインピーダンスの一例を示します。この例では、 -40°C 時のインピーダンスが $+25^{\circ}\text{C}$ 時に比べて 1 桁大きくなってい

ます。回路動作に不具合が生じる場合は、固体電解質を使った導電性高分子アルミ固体コンデンサや導電性高分子ハイブリッドアルミ電解コンデンサなど、低温でも低インピーダンスが得られるコンデンサに変更する検討が必要です。各インピーダンス特性の一例を Figure 7、8 に示します。

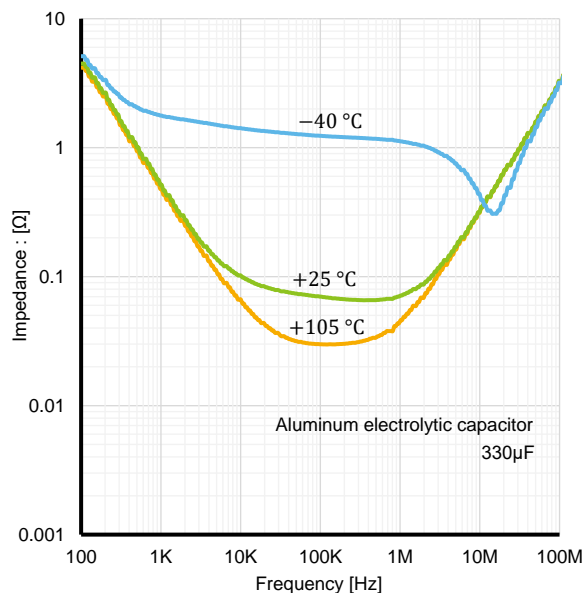


Figure 6. アルミニウム電解コンデンサのインピーダンス特性の一例。低温で静電容量の減少と ESR の増加が起こるので注意が必要

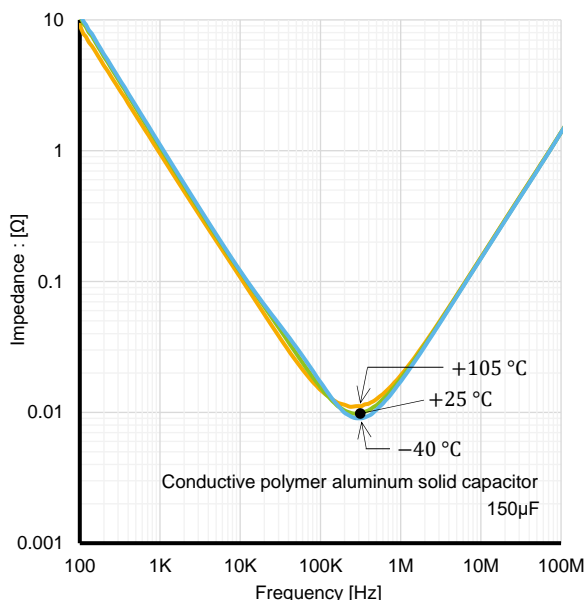


Figure 7. 導電性高分子アルミ固体コンデンサのインピーダンス特性の一例

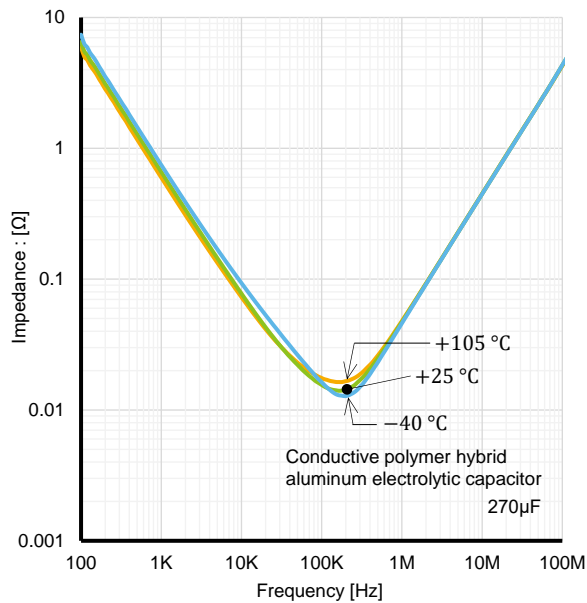


Figure 8. 導電性高分子ハイブリッドアルミ電解コンデンサのインピーダンス特性の一例

代替部品選択時の注意点

製品を量産後に、既存部品が調達できない場合やコストダウンが目的で代わりになる部品を探す場合がありますが、回路動作を理解していない第三者が、静電容量と定格電圧だけに注目して選択すると、動作不良や EMC 規格から外れるといった問題が発生する可能性があります。これは部品によって形状や構造、材料が異なるためで、同じメーカーであっても型名が 1 箇所違うだけで特性が異なる場合があります。必ずコンデンサのインピーダンス特性を確認するようにしてください。また、このような重要な部品には回路図や BOM に特記事項を追加することでこの問題を回避できます。

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上ご使用ください。
お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>