

# 高速デジタル回路のEMC設計 電源ラインのEMC設計

TDK株式会社 コンデンサビジネスグループ 富樫 正明

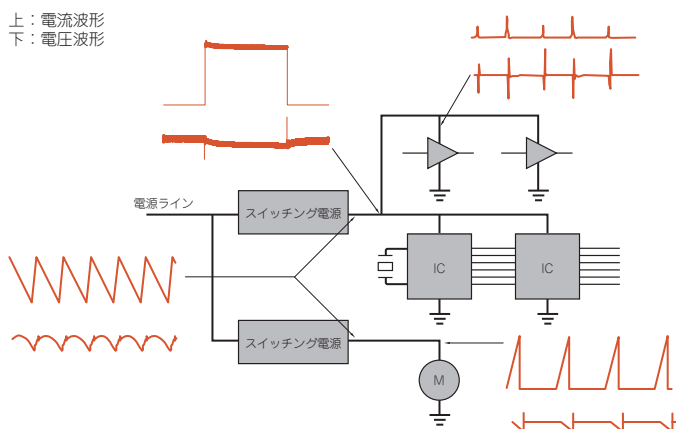
## 1 | 電源ラインに生じるノイズの性質

デジタルIC、オペアンプといった演算素子やモータなどのアクチュエータには動作に必要な電力を受給するための電源ラインがあります。電源ラインから見ると、ICやモータはいろいろなタイミングで電力消費量に変化する不安定な負荷になります。電源ラインは定電圧、直流電圧を伝送する回路であるため、この電力変動は負荷に流れる電流の変化、過渡電流を意味しています。電源ラインは、デジタル信号のような派手な電圧変動はありませんが、制御信号に同期した過渡電流が流れています。電源ラインに生じるノイズの多くは、この過渡電流が原因となって生じています。

電源ラインに流れる過渡電流は、電源ラインに寄生するインダクタンスL、あるいは抵抗Rによって電圧変動を招きます。過渡電流の遷移スピードを $di/dt$ とすると、 $L \times di/dt$ に相当する電圧が電源ラインに誘起され、電源ライン-GND間に電圧変動が起きます。電圧変動は、ノイズマージンを超えると誤動作を来たします。また、電源の過渡電流は、電源ライン-GNDをループとした放射ノイズの原因になったり、過渡電流に含まれる高調波成分が信号ラインや信号ケーブルに伝導して放射され、電磁波障害を起こす危険もあります。

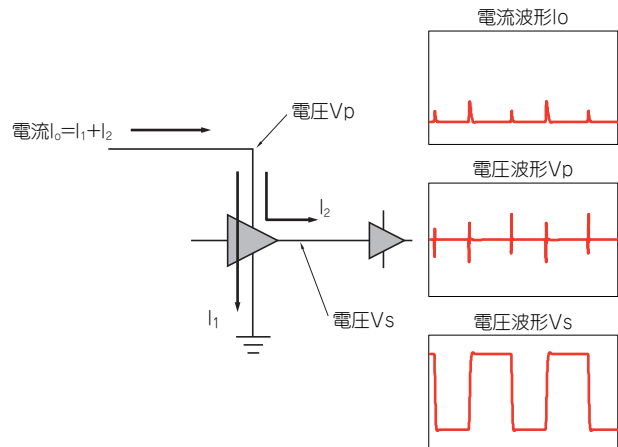
過渡電流の形態は、回路の部位によってさまざまです。図1に電源構成と過渡電流に伴う電圧変動を图示します。

図1 電源ラインに生じる過渡電流と電圧変動



ゲートICでは、クロック信号に同期したサージ状の過渡電流が電源ピンに流れ込みます。図2にCMOSゲートに流れる過渡電流モデルを示します。

図2 CMOSゲートの電源ノイズ



クロック信号が高周波化すれば、過渡電流も高周波化し、その高調波も高周波域で増大します。また、何万ゲートも搭載したLSIでは、プログラムを処理する瞬間に一時的に大きな過渡電流が電源端子に流れ込みます。さらに、そうしたLSIが一つの電源ラインを共有し複数駆動していて、同時に動作を始めた場合には、さらに大きな電流が電源ラインに流れて電圧降下の原因になります。

一方、電源ラインの大元には、所定の電力を生成する安定化電源が構成されています。その多くにスイッチング電源が用いられます。スイッチング電源の出力は、スイッチングに伴うリップル電流が発生します。リップル電流は平滑コンデンサの充放電によって直流化されますが、平滑コンデンサの性能が不十分であると電源ラインに流出します。

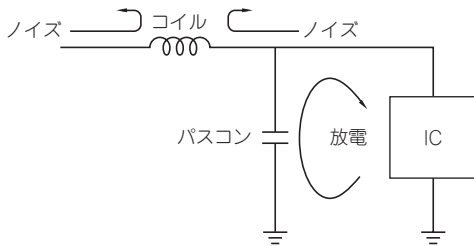
電源ラインのノイズ対策は、電源ライン上に生じる過渡電流の形態を把握することが大切です。そして、過渡電流をICやアクチュエータなどの負荷側にできるだけ局在化させる（封じ込める）ことを念頭に入れて、配線設計やコンデンサ、コイルなどの受動部品を用いて対策を施します。

## 2 | ICにはパスコンが必須

### ■ 電源パスコンとは

過渡電流が流れ込む電源端子には、必ずパスコンを入れます。パスコンは、バイパスコンデンサの略称で、他に平滑コンデンサやデカップリングコンデンサと呼んだりもします。図3に示すように、パスコンは電源ラインに対してGNDにシャント（分路）する方向で実装されます。このように配置すると、パスコンがICの動作に伴って生じる過渡電流をコンデンサに蓄電された電荷によって供給するため、過渡電流はパスコンを流れ、外部の電源ラインにはほとんど流れなくなります。パスコンを電源ピンの近傍に実装すれば、電流ループが小さく過渡電流を局在化させることができます。

図3 電源ラインのノイズ対策



### ■ パスコンの静電容量

パスコンは、ICの動作に必要な過渡電流を蓄電された電荷の放電によって供給し電圧降下を抑制します。そのため、放電後に大きな電圧降下がないように、十分な電荷量Qを蓄えていなければなりません。過渡電流を  $i(t)$  とし、パスコンが過渡電流  $i(t)$  をすべて供給する場合、パスコンが放電によって失う電荷量  $Q_c$  は、 $\int i(t) dt$  であるから、パスコンの端子間に生じる電圧降下  $V_c$  は、

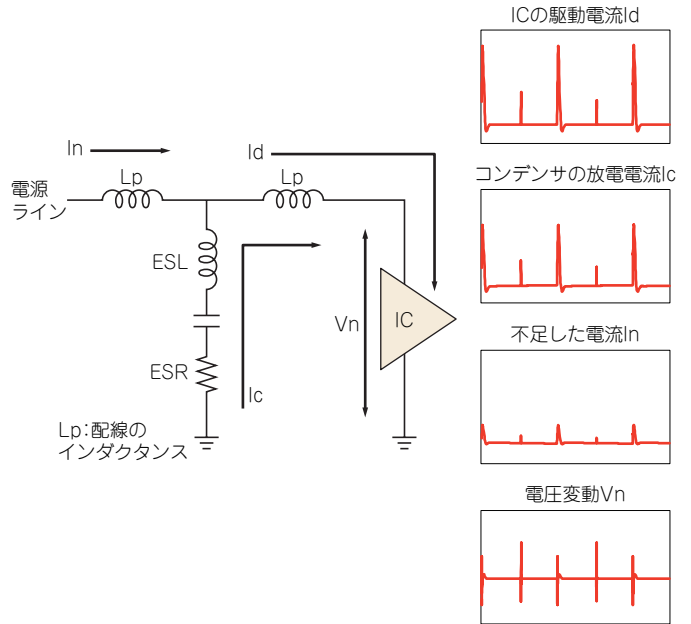
$$V_c = (1/C) \int i(t) dt$$

となります。電圧降下  $V_c$  がノイズマージン内に納まるように静電容量  $C$  を試算し、コンデンサを選択しなければなりません。

### ■ ESR、ESLに注意

コンデンサには、寄生成分としてESR（等価直列抵抗）とESL（等価直列インダクタンス）があります。パスコンはICの動作に必要な過渡電流を供給しますが、ESRやESLが大きいと十分に電流を供給することができません。ESR、ESLがパスコン内部のインピーダンスを高めて放電の邪魔をするからです。図4にその様子を示します。不足した電流は外部の電源ラインを流れ、電圧変動を招いたり、周辺回路に伝播して放射ノイズの原因になります。特に高周波で動作するICは  $di/dt$  が大きく、高い周波数の高調波を含んでいるのでパスコンにはESR、ESLが小さいコンデンサを選ぶ必要があります。

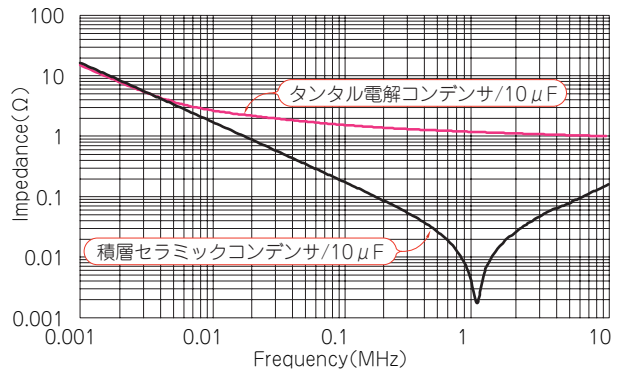
図4 電源パスコンと電流波形



### ■ パスコンには積層セラミックコンデンサ

コンデンサにはいろいろな種類がありますが、一般的に小型のSMD製品は、タンタル電解コンデンサ、積層セラミックコンデンサが上げられます。図5にインピーダンス特性を示します。パスコンに用いるコンデンサは、ESR、ESLが小さく、さらに小型で安価な積層セラミックコンデンサが効果的です。

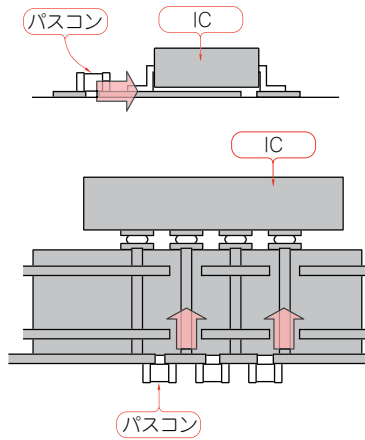
図5 インピーダンス特性



### ■ パスコンの配置

パスコンはノイズ源である過渡電流の流入口、電源端子にできるだけ近いところに配置します。配置例を図6に示します。パスコンの放電ルートとなる電源端子およびGNDパターンまでの配線を極力短くし、配線のもつインダクタンスを小さくして効率よく放電電流を供給させます。せっかくESR、ESLが小さいコンデンサを選んでも配線のインダクタンスが大きくてはその効果は損なわれてしまいます。

図6 パスコンの配置例



■ パスコンの効果例

図7に示す回路において、パスコンにタンタル電解コンデンサおよび積層セラミックコンデンサを用いてノイズ除去効果を比べました。測定結果を図8に示します。積層セラミックコンデンサをパスコンとして使用の方がタンタル電解コンデンサに比べ電圧変動が小さく、広帯域に渡って高調波レベルも低減されており、より効果的です。

図7 評価回路

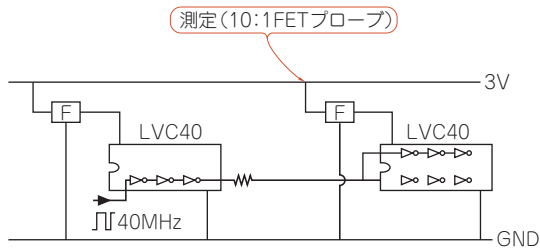


図8 測定結果

