

回路定数の決定方法

Rev.1.0_00

© ABLIC Inc., 2023

S-8471シリーズ、S-8474シリーズはワイヤレス給電ICです。

S-8471シリーズは受電制御IC (受電側)、S-8474シリーズは給電制御IC (給電側) です。

このアプリケーションノートは、S-8471シリーズとS-8474シリーズを組み合わせた動作説明、諸特性データを記載した技術資料です。

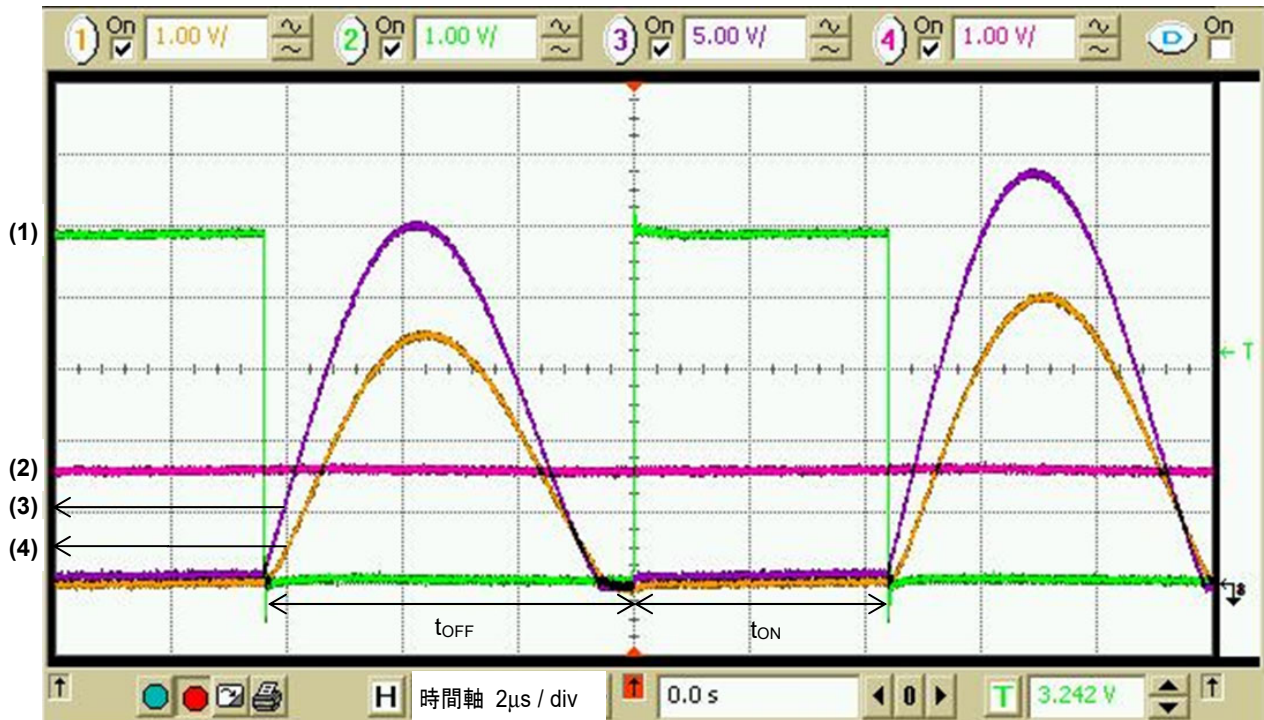
製品の詳細、仕様についてはデータシートにてご確認ください。

- 注意**
1. S-8471シリーズ、S-8474シリーズを用いたワイヤレス給電装置は、およそ88kHz ~ 106kHzのLC共振周波数で動作するように最適化されています。LC共振周波数が88kHz ~ 106kHzの範囲内で、受電制御ICを検出する回路が動作し、給電制御ICも正常に動作します。使用するコイル (L) とコンデンサ (C) の定数を変更するとLC共振周波数が変化しますので、LC共振周波数を必ず88kHz ~ 106kHzの範囲内にしてください。
 2. S-8471シリーズ、S-8474シリーズを用いたワイヤレス給電装置では、受電側コイルと給電側コイルに極性があります。本アプリケーションノートの記載内容にしたがって、受電側コイルと給電側コイルを組み合わせ使用してください。

2.5 共振周波数

図16に示すように、給電側FET1の t_{ON} 時間と t_{OFF} 時間の合計時間の逆数にて共振周波数が決定されます。共振周波数は以下の式から求められます。

$$\text{共振周波数} = \frac{1}{t_{ON} + t_{OFF}}$$



- (1) OUT端子出力 (1V / div)
- (2) VS端子電圧 (1V / div)
- (3) FET1ドレイン電圧C点 (5V / div)
- (4) LX端子電圧 (1V / div)

図16 給電側実測波形

2.6 t_{ON}時間

t_{ON}時間は給電側OUT端子出力が "H" を維持し、FET1がオンになっている時間を指します。S-8474シリーズの外付け抵抗 (R_{TON}) にて決定されます。t_{ON}時間は以下の式から求められます。

$$t_{ON} [\mu\text{s}] \text{ typ.} = 3.86 \times R_{TON} [\text{M}\Omega] + 0.14$$

本アプリケーションノートに記載されている定数では、最適なt_{ON}時間を約4.4 μs としているため、R_{TON}は1.1M Ω を推奨します。表1に、R_{TON}に応じたt_{ON}時間のばらつきを示します。

表1

R _{TON}	t _{ON} [μs]		
	Min.	Typ.	Max.
1.1M Ω *1	4.166	4.386	4.606

*1. 推奨値です。

2.7 t_{OFF}時間

t_{OFF}時間は給電側OUT端子出力が "L" を維持し、FET1がオフになっている時間を指します。図17に示すようにt_{OFF}時間はt_{m1}時間、t_L時間、t_{m2}時間で構成されます。

t_{m1}時間： 給電側OUT端子出力が "L" になってからLX端子電圧がVS端子電圧を越えるまでの時間

t_L時間： LX端子電圧がVS端子電圧を越えてから再びVS端子電圧を下回るまでの時間

t_{m2}時間： LX端子電圧がVS端子電圧を下回ってからOUT端子出力が "H" になるまでの時間

t_{m2}時間はt_{m1}時間とほぼ同等になるようにIC内で生成されます。t_{m2}時間経過後にOUT端子出力が "H" になります。

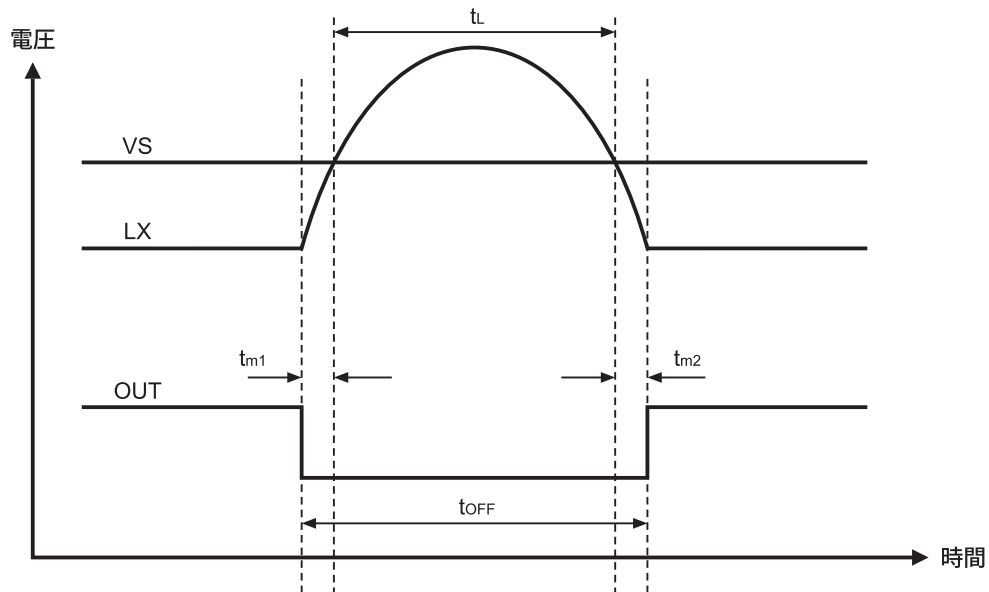
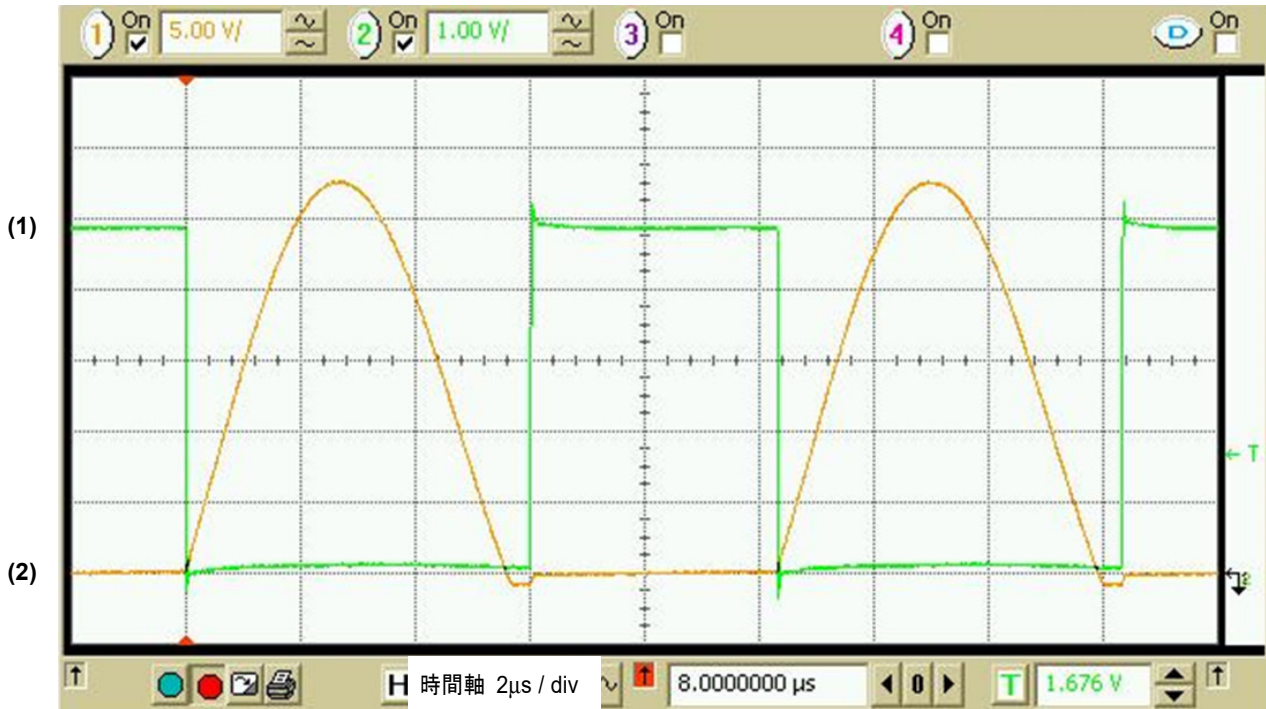


図17 給電側t_{OFF}時間の構成

2.8 給電側コイル定数

図18に給電側の各波形を示します。給電側の共振周波数が約100kHzになるように用いた外付け部品 ("図27 評価測定回路図" を参照) の値は、下記の通りです。

L1 = 21 μ H
 C1 = 0.1 μ F
 R_{TON} = 1.1M Ω



- (1) 給電側FET1ゲート波形 (1V / div)
 (2) 給電側LC波形C点 (5V / div)

図18 給電側波形

2.9 受電側コイル定数

受電側のLC共振周波数は以下の式から求められます。

$$\text{LC共振周波数} = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{LC}}$$

受電側のLC共振周波数は、給電側の共振周波数とほぼ一致するような定数を設定します。LC共振周波数を給電側の共振周波数とほぼ同じ約100kHzになるように用いた外付け部品 ("図27 評価測定回路図" を参照) の値は、下記の通りです。

L2 = 26 μ H
 C2 = 0.1 μ F

4. 回路定数の決定方法

4.1 高温保護機能

4.1.1 基本動作

S-8471シリーズ、S-8474シリーズはそれぞれTH端子にサーミスタを接続することで、外付け部品の発熱による異常状態を防ぐことができます。

サーミスタはTH端子とVSS端子の間に接続してください。Ta = +25°C時、R = 100kΩ (R₂₅) のNTCサーミスタを推奨します。

S-8471シリーズの高温保護機能が作動すると、OUT端子からV_{SS}が出力されます。

例えば、R₂₅、B_{25/50} (B定数 (25°C/50°C)) = 4250KのNTCサーミスタを使用すると、約+45°Cで高温保護機能が作動します。高温保護機能を使用しない場合は、TH端子をオープンにするか、100kΩ以上の抵抗を接続してください。

S-8474シリーズの高温保護機能が作動すると、OUT端子出力はV_{SS}にラッチされます。

例えば、R₂₅、B_{25/50} (B定数 (25°C/50°C)) = 4250KのNTCサーミスタを使用すると、V_{TSD} = 0.500Vのとき、約+70°Cで高温保護機能が作動します。高温保護機能を使用しない場合は、TH端子をオープンにするか、100kΩ以上の抵抗を接続してください。

S-8471シリーズ、S-8474シリーズそれぞれの高温保護機能からの復帰方法を下記に示します。

(1) S-8471シリーズ

外付け部品の発熱が減少しサーミスタ抵抗値がR_{TH}より約15kΩ typ.高くなると、高温保護機能が停止し、ICは通常動作になります。

また、V_{DD}が約2.0V typ.まで低下すると、高温検出回路の動作が停止され、ICは通常動作になります。V_{DD}が2.1V typ.以上に上昇すると、高温検出回路の動作が再開されます。

(2) S-8474シリーズ

高温保護機能が作動した場合、OUT端子出力はV_{SS}にラッチされ、ICをリセットしない限りラッチが解除されません。

V_{DD}が4.1V typ.以下に低下するとUVLO機能が作動し、ICはリセットされます。V_{DD}が4.3V typ.以上に上昇するとUVLO機能が停止され、ICは再び通常動作になります。UVLO機能が作動中、OUT端子からはV_{SS}が出力されます。

4.1.2 高温検出回路の動作原理

S-8471シリーズ、S-8474シリーズの高温検出回路の原理図を下記に示します。

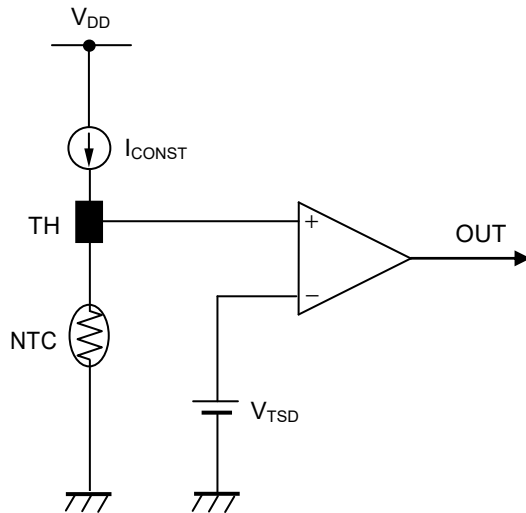


図28 高温保護機能の動作説明図
(S-8471シリーズ)

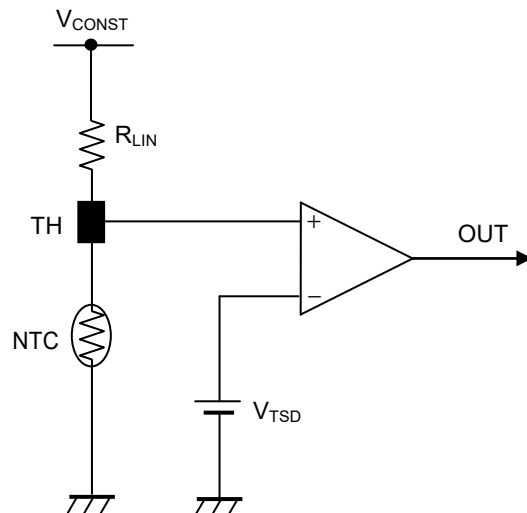


図29 高温保護機能の動作説明図
(S-8474シリーズ)

備考 I_{CONST}: 定電流源
V_{CONST}: 定電圧源
R_{LIN}: TH端子内部抵抗
V_{TSD}: TH端子検出電圧 (基準電圧)

高温保護機能作動温度を算出するため、各定数は以下の値に設定されています。

表3 S-8471シリーズTH端子定数

動作	I _{CONST}	V _{TSD}
検出	10.0μA	0.410V
解除		0.560V

表4 S-8474シリーズTH端子定数

R _{LIN}	V _{CONST}	V _{TSD} (選択可能)
61.00kΩ	2.50V	0.667V
		0.577V
		0.500V
		0.429V
		0.370V

4.1.3 高温保護機能作動温度の算出

NTCサーミスタの温度と抵抗値の関係は、以下の式で示します。

$$R = R_0 \times \exp \left(B \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right)$$

備考 R: 周囲温度T [K] のときの抵抗値
 R₀: 周囲温度T₀ [K] のときの抵抗値
 B: サーミスタ定数

周囲温度の変化によりNTCサーミスタの抵抗値が変わるので、TH端子電圧も変化します。TH端子電圧とIC内部の基準電圧を比較することで、高温保護機能の制御を行います。

S-8474シリーズのTH端子検出電圧 (V_{TSD}) は下記の5種類から選択可能です。高温保護機能作動温度は約5°Cステップで変化します。

表5 S-8474シリーズのTH端子検出電圧と高温保護機能作動温度
 B = 4250K

V _{TSD} [V]	高温保護機能作動温度 [°C]
0.667	60.2
0.577	65.3
0.500	70.3
0.429	75.6
0.370	80.7

また、サーミスタ定数が変化することで、高温保護機能作動温度も変化します。下記にサーミスタ定数を変化させることによる高温保護機能作動温度の変化を示します。

表6 サーミスタ定数と高温保護機能作動温度

サーミスタ定数 [K]	高温保護機能作動温度 [°C]		
	S-8471シリーズ		S-8474シリーズ
	検出	解除	V _{TSD} = 0.500V
3100	53.0	42.6	90.8
3500	49.5	40.5	81.9
3950	46.5	38.6	74.3
4250*1	44.9	37.6	70.3
4500	43.7	36.9	67.4

*1. 標準

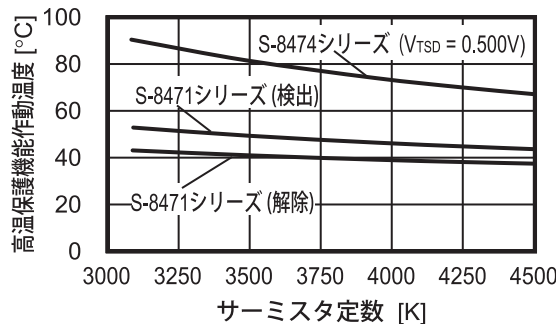
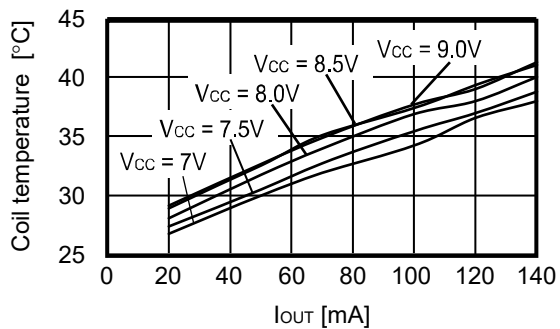


図30 サーミスタ定数と高温保護機能作動温度の関係

(2) コイルの温度依存性

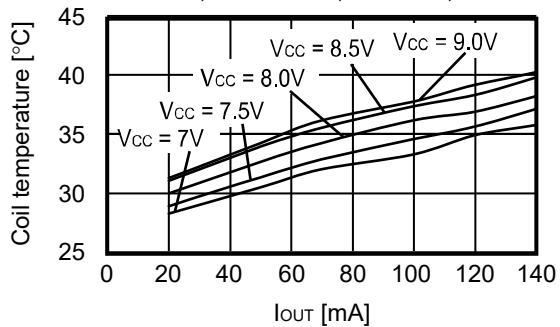
(a) 受電側コイル

$V_{DD} = 5V, T_a = +25^\circ C, d = 3mm, a = 0mm$



(b) 給電側コイル

$V_{DD} = 5V, T_a = +25^\circ C, d = 3mm, a = 0mm$



備考 "図27 評価測定回路図" で測定

給電側コイル : T6-0221-120L 後藤電子株式会社、受電側コイル : R4-0326-117L 後藤電子株式会社

4.2.4 負荷電流によって異なる動作モードとLEDの点灯状態

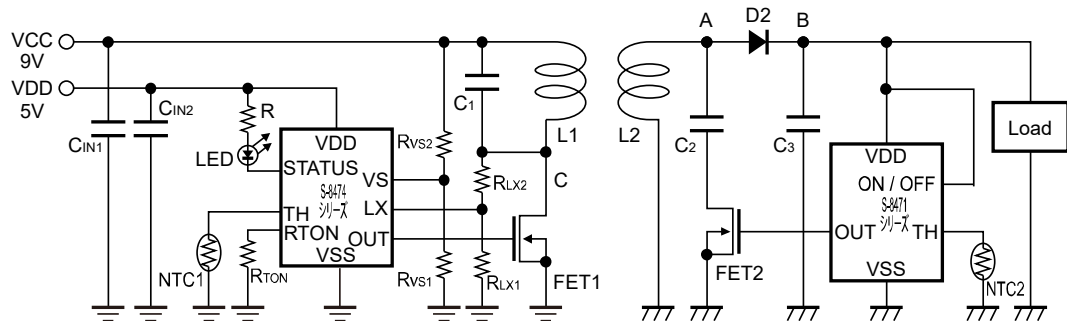


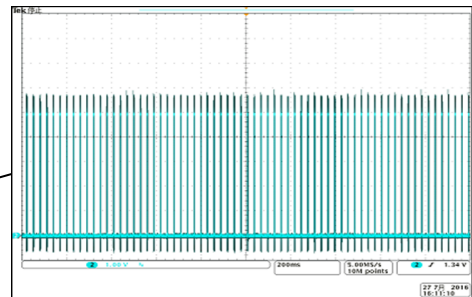
図32

負荷電流によって、間欠動作モードと連続動作モードが混在する領域が存在します (図33参照)。図32のSTATUS端子に接続されているLEDは、間欠動作モードと連続動作モードが混在する領域では連続動作モードの頻度が高いと点灯し、間欠動作モードの頻度が高いと消灯します ("2.1 給電側の受電検出と動作モード" 参照)。

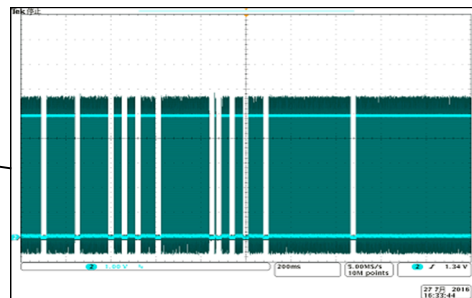
負荷電流が小さく間欠動作モードになっている場合、ダミー負荷を設けて負荷電流を増やすことで連続動作モードにすることができます。また、受電側システム休止時に間欠動作モードにする場合、休止時の負荷電流を、給電側が間欠動作モードになるまで減らしてください。

負荷電流 (typ.) (mA)	コイル間距離3mm	
	動作モード	LED点灯状態
0 ~ 0.7	間欠動作モード	消灯
0.8 ~ 4.9	間欠動作モードと 連続動作モード混在	消灯または点灯
5.0以上	連続動作モード	点灯

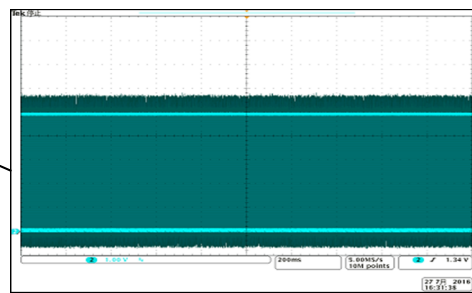
S-8474シリーズのOUT波形



間欠動作モード継続



間欠動作モードと連続動作モード混在



連続動作モード継続

図33

備考 給電側コイル : T6-0221-120L 後藤電子株式会社、受電側コイル : R4-0326-117L 後藤電子株式会社

4.3 コイルの詳細

4.3.1 コイル巻き線の最適化

4m長の線材について、100kHzを基準に200kHz、500kHzにしたときの交流抵抗値の変化率を測定した場合、0.15mm以上の太さから交流抵抗値に大きな変化が見られます。この現象を表皮効果といいます。表皮効果を低減するには、0.1mm～0.15mmの撚り線でコイルを作成してください。

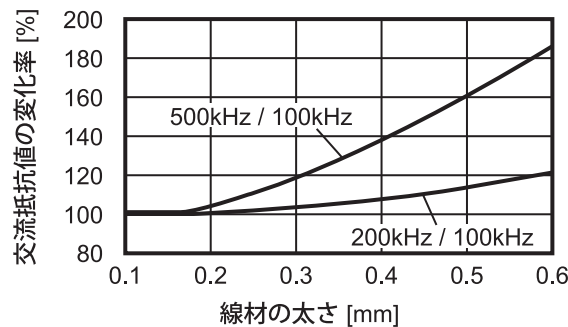


図34 コイル線材の太さと交流抵抗値の変化率

4.3.2 コイル周辺の金属異物によるコイルインダクタンス値の変化と発熱

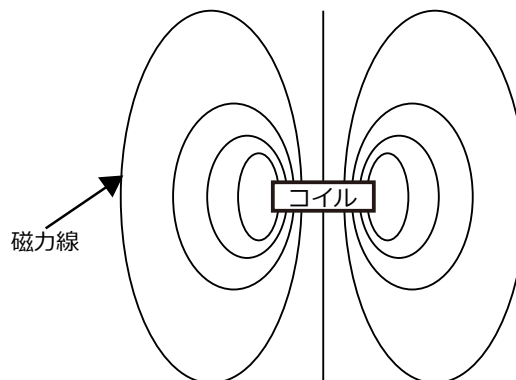


図35 コイル周辺の磁力線

給電中のコイル周辺には、図35に示す磁力線のように交流磁場が発生します。この範囲内に金属を配置すると、コイルのインダクタンス値は以下ようになります。

- ・非磁性金属 (アルミ、銅等) : 減少
- ・磁性金属 (鉄、ニッケル) : 増加

コイルのインダクタンス値の変化で、共振周波数がずれ、効率の低下によりコイルが発熱する場合があります。コイルを製品に組み込み、周波数100kHzのLCRメーターを使用して、インダクタンス値が変化していないことを確認してください。

また、金属中を通る磁力線の変化により渦電流が発生し、金属自体が発熱することがあります。特にプリント基板のGNDパターンや筐体が金属である場合、下記の対策を行い、磁力線の影響を受けにくいようにしてください。

- ・コイル周辺から金属 (アルミ箔、銅等) を極力遠ざける
- ・金属がコイルに近接する場合は磁気シールドを使用する

4.3.3 磁性シートについて

受電側コイルと給電側コイルでワイヤレス給電を行う際、コイル周辺に電池や金属を配置した場合、磁界の影響を受け発熱することがあります。コイル裏面を磁性シートでシールドすることにより、発熱を抑える効果が期待できます。発熱量が大きい場合は、磁性シートの厚みを0.5mm程度に厚くすることを推奨します。コイルの磁性シートをフェライトコアにすることでQ値が上がると共に熱伝導率が良くなるため、発熱をさらに抑えることができます。

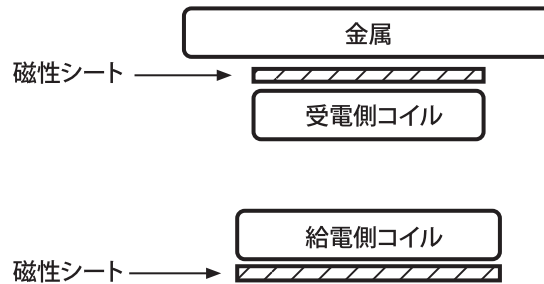
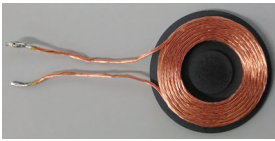



図36 磁性シート取り付け位置

4.3.4 コイルの選定 (評価用標準コイル)

弊社製ワイヤレス給電ICにおいて、給電側コイルと受電側コイルは下記に示したメーカーのコイルで動作確認をしています。

表7 TDK株式会社部品表

用途	部品名称	写真	最大出力電流	外形	高さ
給電用コイル	WT202080-28F2-G		-	φ 20.0mm	2.74mm
受電用コイル	WR151580-48F2-G		100mA	φ 15.0mm	2.63mm

備考 TDK株式会社

URL: <http://www.tdk.co.jp/index.htm>

表8 後藤電子株式会社部品表

用途	部品名称	写真	最大出力電流	外形	高さ
給電用コイル	T6-0221-120L		-	φ 22mm	2.0mm
受電用コイル	R4-0326-117L		100mA	φ 14.5mm	1.6mm
受電用コイル	R4-0426-20S		33mA	φ 10mm	1.2mm

備考 後藤電子株式会社




〒991-0063 山形県寒河江市柴橋字台下734-1

TEL: 0237-84-2102 FAX: 0237-84-2104

URL: <http://www.goto-denshi.co.jp>

Email: info@goto-denshi.co.jp

表9 株式会社太陽光機部品表

用途	部品名称	写真	最大 出力電流	外形	高さ
給電用コイル	TWC21T20C05CF		-	φ 21mm	2.0mm
受電用コイル	TWC15T16C01CF		100mA	φ 15mm	1.6mm
受電用コイル	TWC10T14C01CF		33mA	φ 10mm	1.4mm

備考 株式会社太陽光機

〒183-0056 東京都府中市寿町1-3-26 新第1福井ビル6階

TEL: 042-368-8181 FAX: 042-368-8182

URL: <http://www.taiyokoki.co.jp>

Email: sales_nagasaki@taiyokoki.co.jp

4.3.5 コイルの推奨条件および評価項目

標準コイルを使用しない場合は、ユーザーにて十分な評価を行ってください。

(1) インダクタンス値

- ・ 給電側コイル : 21 μ H, 100kHz
- ・ 受電側コイル : 26 μ H, 100kHz

コイルの小型化により推奨インダクタンス値から外れる場合、下記範囲で選んでください。

- ・ 給電側コイル : 10 μ H ~ 21 μ H
- ・ 受電側コイル : 13 μ H ~ 26 μ H

受電側コイルに巻線インダクタを使用する場合は、ラジアル型のシールドなし品を推奨します。
受電側コイルと給電側コイルのインダクタンス値の比率はおよそ0.81に設定することを推奨します。

(2) 周波数

周波数は $f = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{LC}}$ で算出されます。

給電側単体で110kHz、受電側単体で99kHzとなるようにLC値を決めてください。

LC共振周波数はおよそ88kHz ~ 106kHzで動作していることを必ず確認してください。

(3) DC抵抗

発熱低減のため、抵抗値が小さいものを推奨します。

負荷が50mA以上の場合

- ・ 給電側コイル : 0.3 Ω 以下
- ・ 受電側コイル : 0.5 Ω 以下

(4) コイルサイズ

- ・ 給電側コイル : ϕ 21mm、受電側コイル : ϕ 8mm ~ ϕ 10mm
- ・ 給電側コイル : ϕ 16mm、受電側コイル : ϕ 3mm ~ ϕ 8mm

(5) 評価項目

- ・ 負荷を変えながら連続動作するコイル間距離の範囲を決定する
- ・ 負荷を増やしながらかコイル発熱温度を測定する

推奨条件から外れると、効率の低下によりコイルの発熱が高まります。エアフローを改善し、熱を逃がす対策を行ってください。

4.4 受電回路

4.4.1 平滑用コンデンサ

受電側の平滑用コンデンサ (C_3) ("図27 評価測定回路図" を参照) の容量値は、出力電圧リップルに相関しています。容量値が大きければ出力電圧リップルは抑えられます。しかし、容量値が大きすぎると給電開始時に受電側VDD電圧は受電検出時間内に V_{OVP} に達しにくくなり、給電側回路が受電検出できず間欠動作を継続する可能性があります。

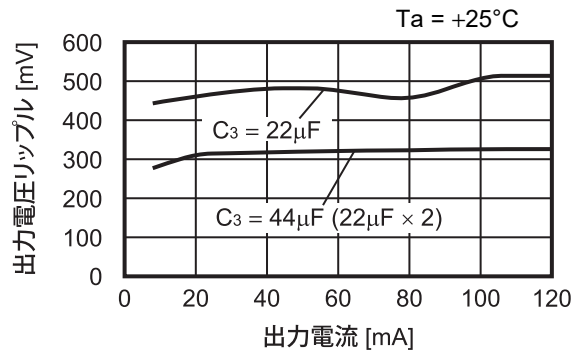


図37 出力容量別電圧リップル

4.4.2 コンデンサ音鳴り防止

給電側、受電側共に誘電率の高いセラミックコンデンサに可聴領域の周期でリップル電圧が加わると、機械的な振動が基板に伝わって異音を発生します。

平滑コンデンサの役割を果たす給電側の C_{IN1} ("図27 評価測定回路図" を参照)、受電側の C_3 は、可聴領域のリップル電圧が生じやすくなります。コンデンサの音鳴りを低減させるため、誘電率の低いセラミックコンデンサ、もしくはタンタルコンデンサ等に置き換えてください。

4.4.3 1個の給電側コイルからの複数受電

1個の給電側コイルから複数個の受電側コイルで受電する場合、以下を注意してください。

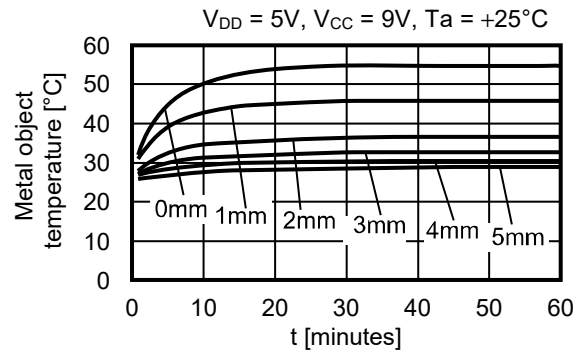
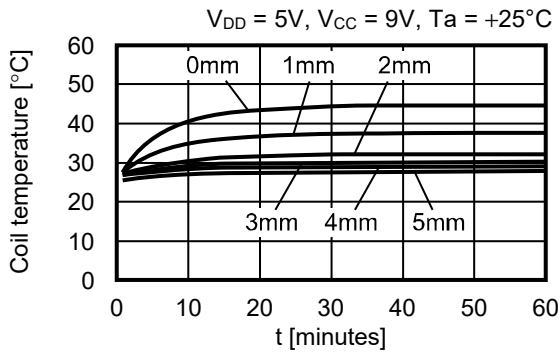
- ・ 一方の受電側が無負荷になっても、もう一方の受電側が連続動作条件を満たしている場合、連続動作は継続します。
- ・ 複数受電で受電する受電側電流の合計値は、100mA以内にしてください。

4.5 システムの安全性について

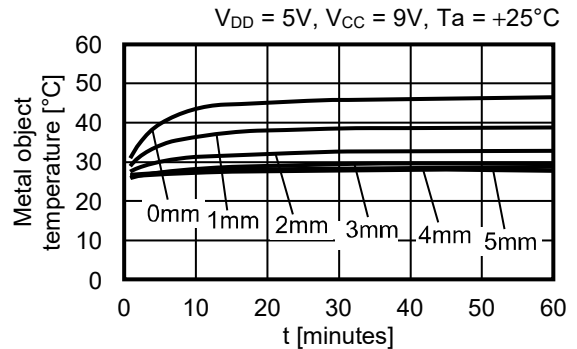
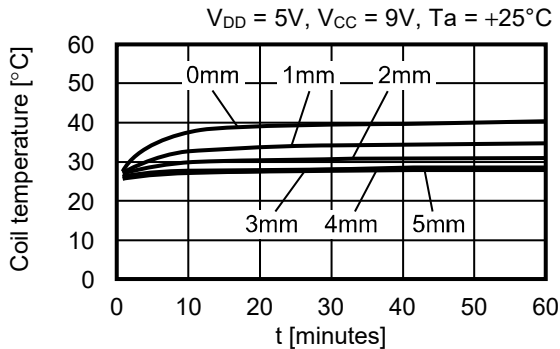
4.5.1 金属異物が給電コイルの上に乗った場合の安全対策

受電側コイルがなく、間欠動作中の給電側コイルの上に、金属異物（100円硬貨、1円硬貨、1元硬貨等）が乗った場合、給電側コイルと金属異物の距離が近ければ、発熱が大きくなります。給電側コイルと金属異物の距離を2mm以上になるような機構設計をし、磁力線の影響を受けにくいようにしてください。また、コイルを垂直配置することで、給電側コイル上に異物が乗らないような構造にすることも効果的です。金属異物と給電側コイルの距離（d）による温度上昇データを下記に示します。

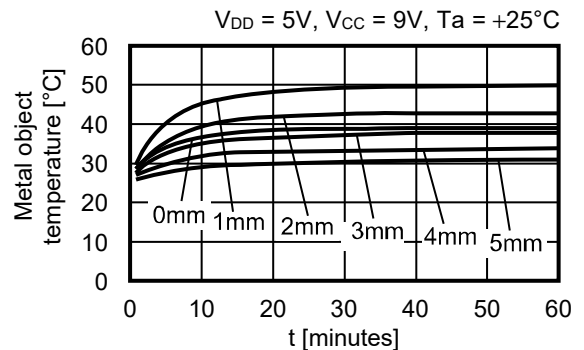
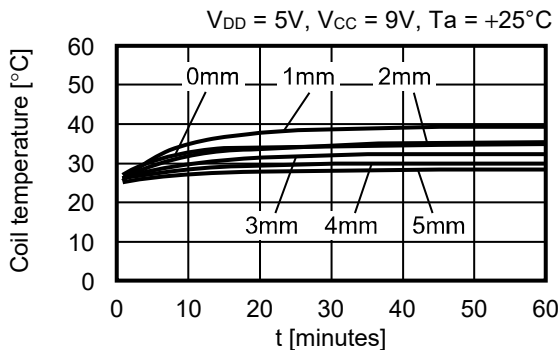
(1) 金属異物：100円硬貨



(2) 金属異物：1円硬貨



(3) 金属異物：1元硬貨



備考 給電側コイル：T6-0221-120L 後藤電子株式会社、受電側コイル：R4-0326-117L 後藤電子株式会社

4.5.2 金属異物がコイル間に挟まった場合

受電側コイルがあり、連続動作中の給電側コイルと受電側コイルの間に、コイルサイズに近い金属異物（100円硬貨程度の大きさと厚み）が挟まった場合、磁場が吸収されるため、連続動作から間欠動作に変わります。しかし、磁場が透過しやすい金属異物（アルミ箔、クリップ等）が挟まった場合、連続動作が維持されます。金属異物を通る磁力線の変化により渦電流が発生し、金属異物が発熱するとともに給電側コイルに流れる電流が増加し、給電側コイルも発熱します。図38に、アルミ箔を熱抵抗の高い不織布で挟んで放熱を抑制した状態で、給電側コイルとの距離を1mmに配置した場合のアルミ箔と給電側コイルの温度上昇データを示します。

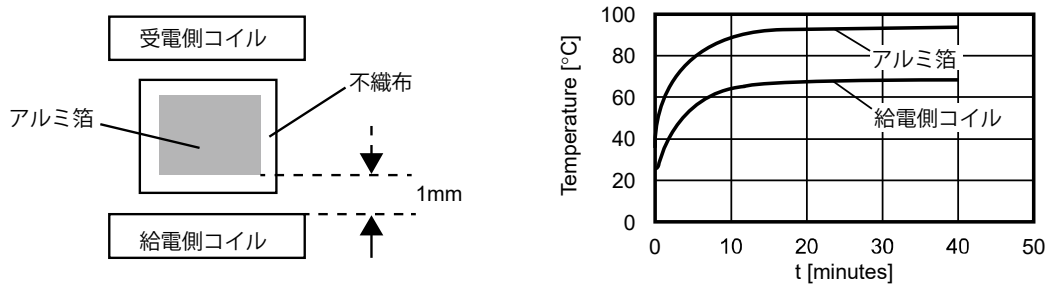
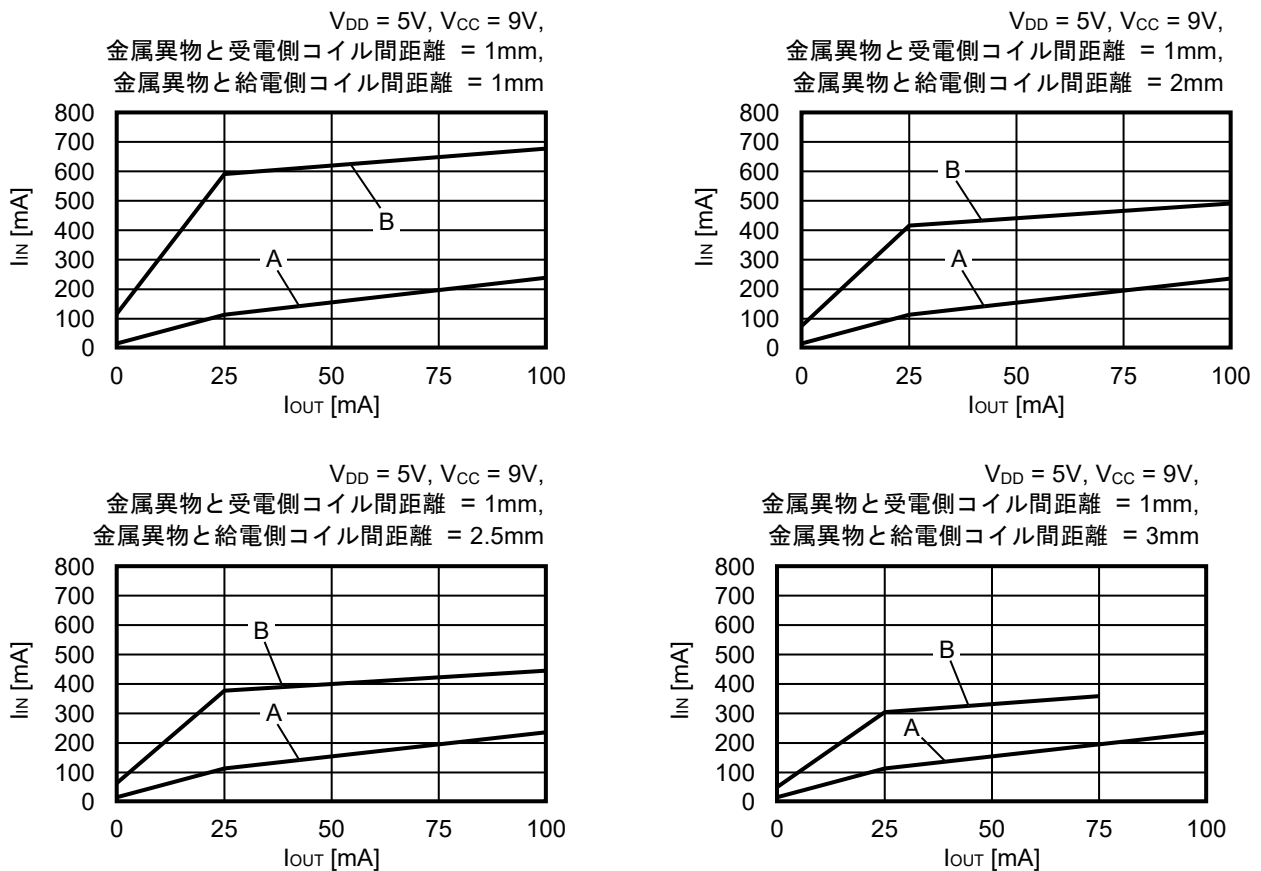


図38

下記に、金属異物（アルミ箔）なしの場合（A）と、金属異物（アルミ箔）ありの場合（B）の入力電流（ I_{IN} ）を示します。

金属異物（アルミ箔φ22mm）がコイル間に挟まったとき、金属異物と給電側コイル間の距離によって給電回路に流れる電流（ I_{IN} ）が変化します。



備考 図39の給電回路例からリセットブルヒューズ (F1) とサーミスタ (NTC1) を取り除いた回路で測定
給電側コイル：T6-0221-120L 後藤電子株式会社、受電側コイル：R4-0326-117L 後藤電子株式会社

4.5.3 金属異物がコイル間に挟まった場合の安全対策

- (1) 金属異物とコイルの距離が2mm以上となるように設計してください。また、コイルを垂直に配置し、コイルの上に金属異物が乗らないような構造にしてください。
- (2) リセッタブルヒューズを追加してください。詳細は "5.1.1 PPTC (リセッタブルヒューズ)" を参照してください。
- (3) 電流制限回路を追加してください。詳細は "5.1.2 電流制限回路" を参照してください。
- (4) S-8474シリーズのTH端子にNTCサーミスタを接続し、コイルの発熱箇所の温度を検出してください。TH端子 – GND間に C_{NTC} (約100pF ~ 1000pF) を接続することにより、外来信号の影響を軽減することができます。コイルが検出温度を越えると、S-8474シリーズの出力が停止し給電が停止します。給電停止状態はラッチされますので、再稼働するには、電源をいったん立ち下げてから再度投入してください。

4.5.4 受電側に他社製品を使用した場合

S-8474シリーズの受電検出メカニズムとして、給電側コイルの電圧変動を検出して連続動作と間欠動作の動作モード判別を行っています。そのため、受電側に電磁誘導を有するコイルが存在し、かつ負荷が接続されていると、S-8474シリーズは連続動作モードに入る場合があります。その対策として下記を推奨します。

- ・ 給電側と受電側が一意に位置合わせできるように設計してください。
- ・ 給電側にホールIC、受電側に磁石を使って位置合わせしてください。

6. 基板設計上の留意事項

- 基板配線時、S-8471シリーズとS-8474シリーズのデータシートの記載通り、一点アースとなるようにしてください。
- 過熱保護のため、TH端子には必ずNTCサーミスタを接続してご使用ください。
- 図49のVCCには1kHz ~ 110kHz (LC共振周波数) の周波数成分のゆれが発生するような電源を使用しないでください。誤動作を引き起こす可能性があります。
- 図49のVDDには、誤動作防止のため、周波数成分のゆれが発生するような電源を使用しないでください。
- 図49の基板を設計する際、下記の理由でRTON端子、VS端子、TH端子のそばには配線を通さないようにしてください。抵抗 R_{TON} は可能な限りRTON端子に近づけてレイアウトしてください。
 - コイルL1と共振コンデンサ (C_1) により、C点では大きな電圧変動が生じます。
 - RTON端子、VS端子、TH端子はインピーダンスが高いため、外来信号の影響を受けやすくなります。RTON端子 - GND間に C_{RTON} (約100pF ~ 1000pF)、VS端子 - GND間に C_{VS} (約100pF ~ 1000pF)、TH端子 - GND間に C_{NTC} (約100pF ~ 1000pF) を接続することにより、外来信号の影響を軽減することができます。特にNTCサーミスタでコイルの温度を検出する場合は、コイル信号の影響を受け、検出温度が高温側にシフトすることがあります。TH端子 - GND間に C_{NTC} を接続することを推奨します。

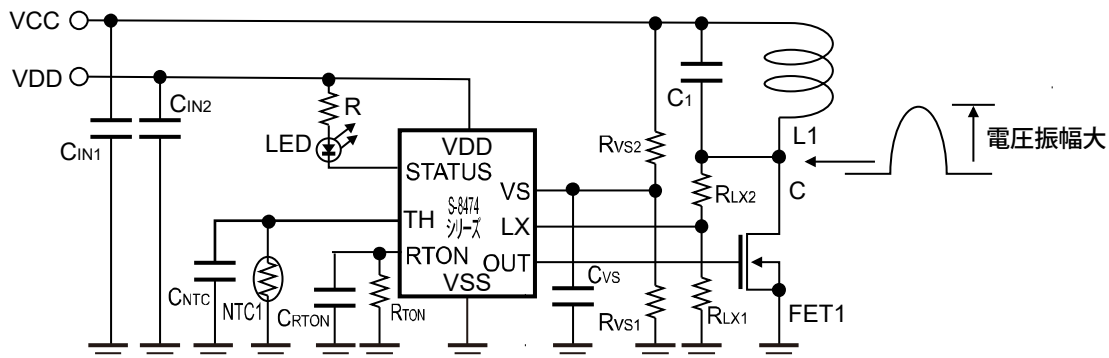


図49

7. 注意事項

- 本資料に掲載のアプリケーション例は、弊社ICを使用した代表的な応用例を説明したものです。ご使用の際は、十分な評価を行ってください。
- 本資料に掲載の応用回路を量産設計に用いる場合には、外付け部品の偏差およびその温度特性に注意してください。また、掲載回路に関する特許については、弊社ではその責任を負いかねます。
- 弊社ICを使用して製品を作る場合には、その製品での当ICの使い方や製品の仕様、出荷先の国などによって当ICを含めた製品が特許に抵触した場合、その責任を負いかねます。

8. 関連資料

S-8471シリーズとS-8474シリーズの詳細については、下記のデータシートを参照してください。

S-8471シリーズ データシート
S-8474シリーズ データシート

このアプリケーションノートおよびデータシートの内容は、予告なく変更することがあります。最新版については、販売窓口までお問い合わせください。