

AN-1186
アプリケーション・ノート

AD7192を使った重量計アプリケーションの放射イミュニティ性能

著者: Mary McCarthy and Li Ke

はじめに

AD7192は、PGAを内蔵した、超低ノイズ、低ドリフト、24ビットのシグマ・デルタ型コンバータです。AD7192は高級な重量計システムに使用されます。重量計システムの放射イミュニティは、リリースのための品質認定の一部としてテストされます。

このアプリケーション・ノートでは、プリント回路ボード(PCB)を設計するときのボード・レイアウトおよび部品配置の影響を考慮しながら、AD7192の最良の放射イミュニティ性能を実現する方法について説明します。放射イミュニティ試験はIEC 61000-4-3規格に従って行われ、システム全体(ADC、PCB、およびロード・セル)がテストされます。

放射イミュニティ

放射イミュニティ試験はIEC 61000-4-3規格の記述に従って行われます。電界強度は10 V/mで、RF周波数は80 MHzから1 GHzまで掃引します。仕様によれば、デバイスは以下のように分類されます。

- クラス A: メーカー、依頼者、または購入者によって仕様規定されたリミット内の正常な性能。
- クラス B: 妨害が止むと回復する一時的な機能喪失または性能低下。テスト対象装置は、オペレータの介入なしに、その状態から正常な性能に回復する。

- クラス C: 一時的な機能喪失または性能低下。回復するにはオペレータの介入が必要。
- クラス D: ハードウェアまたはソフトウェアの破損、またはデータの喪失による、回復不可能な機能喪失または性能低下。

ADCコンバータは、周波数掃引の間、連続的に変換を行います。このアプリケーション・ノートを通して、誤差とは、RF周波数が存在するときのADC変換と、RF周波数が存在しないときのADC変換の最大偏差を指します。

重量計システムがクラス A であるためには、RF干渉が存在するときの許容誤差 e は次のとおりです。

$$\frac{\text{±ロード・セルからの最大出力電圧}}{(2 \times \text{カウント数})} = \frac{\text{±フルスケール出力}}{2n}$$

ここで、 n は重量計システムのカウント数です。

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本誌記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

アナログ・デバイセズ株式会社

本社 / 〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル
電話 03 (5402) 8200
大阪営業所 / 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー
電話 06 (6350) 6868

目次

はじめに	1	プリント回路ボード.....	4
放射イミュニティ	1	結果.....	6
改訂履歴	2	結論.....	6
放射イミュニティ試験の解析	3	評価用ボードの回路図とアートワーク	7
セットアップ	3	部品表.....	11
誤差	3		

改訂履歴

4/13—Revision 0: Initial Version

放射イミュニティ試験の解析

セットアップ

図1は放射イミュニティ試験に使われる回路のブロック図です。AD7192は以下のように設定されています。

Sinc⁴フィルタ

チョップ・オフ

出力データ・レート = 10 Hz

ゲイン = 128

AD7192は3.3 V電源で動作します。この電源はロード・セルを励起するのにも使用されます。ロード・セルは6線式で、感度は2 mV/Vです。AD7192を使った重量計の設計の詳細に関しては、Lab@リファレンス回路(CN-0119)の回路を参照してください。

誤差

「放射イミュニティ」のセクションで説明されているように、クラスAのシステムの許容誤差 e は次のとおりです。

$$\frac{\pm \text{フルスケール出力}}{2n}$$

ここで、 n はカウント数です。誤差は ± 0.5 カウントに相当します。

このアプリケーション・ノートでは、表示カウントが3000で、ロード・セルが3.3 Vで励起される、クラスAに分類される重量計を設計することを目標としています。感度が2 mV/Vで、励起電圧が3.3 Vのとき、ロード・セルからの最大信号は6.6 mVです。多くの場合、ロード・セルのスパンの最も直線性の高い部分を使用するには、この範囲の2/3だけを使います。そのため、ロード・セルからのフルスケール出力電圧は4.4 mVに減少します。

3000カウントの精度の場合、1カウントは以下のようになります。

$$1 \text{ カウント} = 4.4 \text{ mV} / 3000 = 1.46 \mu\text{V}$$

$$\pm 0.5 \text{ カウント} = \pm 1.46 \mu\text{V} / 2 = \pm 0.73 \mu\text{V}$$

RF周波数が存在するときの誤差は $\pm 0.73 \mu\text{V}$ 未満でなければなりません。アプリケーションで使用されるロード・セルが受け入れる最大重量は2 kgなので、誤差は $\pm 2 \text{ kg} / (2 \times 3000) = \pm 0.33 \text{ グラム}$ 未満でなければなりません。これにより、RF干渉によってデジタル表示が影響を受けないことが保証されます。

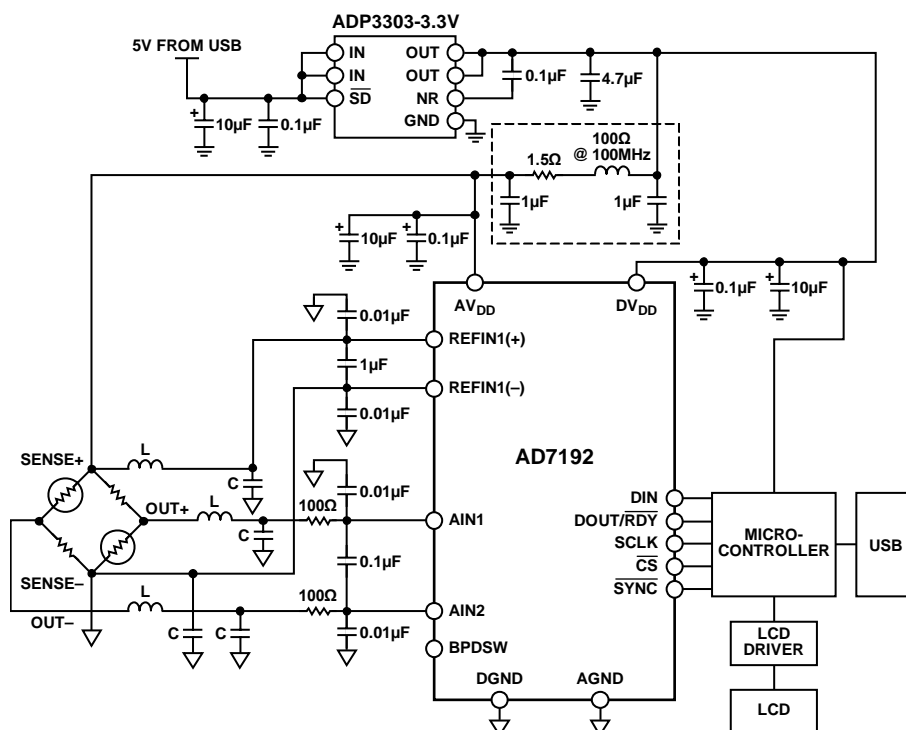


図1. AD7192のテスト・セットアップ

プリント回路ボード

AD7192の標準的評価用ボードは最適な A/D 変換性能を与えるように設計されています。ただし、それは EMC に対して最適化されてはいません。例えば、異なる電源オプションを可能にするため、AD7192の標準的評価用ボードにはリンク（垂直ピン）が使われていて、ノイズ・テストの接続にリンクが存在します。これらのリンクはアンテナとして機能します。さらに、アナログ入力とデジタル入力のフィルタは位置と部品サイズに関して最適化されていません（0603 部品が使用されています）。ただし、このボードを出発点として調査が行われ、EMC による悪影響が明らかにされました。詳細に関しては「結果」のセクションを参照してください。接地、部品の位置、およびフィルタの追加について全て見直されました。ADC の性能が全ての段階で維持されました。

明らかになった主要点をまとめると以下のとおりです。

- リンク・オプション（垂直ピン）はボードに使用しないようにします。これらはアンテナとして機能します。したがって、リンク・オプションを半田リンク・オプションに置き換えます。
- プリント回路ボードは 4 層にし、アナログ入力とリファレンス入力は内部層に埋め込みます。1 枚のグランド・プレーンを使います。ボードの部品面と底面をグランドで埋め尽くします。内部層もグランドで埋め尽くします。複数のビアを使って、ボード全体の電位差を最小にします。必要なビアの密度に関する規則はありません。AD7192ボードでは、ADC と、アナログ入力およびリファレンス入力のフィルタの周囲に、ビアのリングが置かれました。一般に、ボードのどのアイランドにも複数のビアを配置します。トラックはアンテナとしても機能するので、部品面と底面のどのトラックもできるだけ短くします。
- アナログ入力とリファレンス入力にはフィルタを推奨します。アナログ入力とリファレンス入力に通常推奨される R と C の値を図 1 に示します。このフィルタは AD7192 のサンプリング周波数 (307.2 kHz) およびその倍数で減衰を生じます。AD7192 自体はこれらの周波数で減衰を生じません。コンデンサは AD7192 のアナログ入力とリファレンス入力にできるだけ近づけて配置し、部品から ADC までのトラック長を最小にする必要があります。物理的に小さな部品を使用すると、部品をピンに近づけることができます。ピンから部品までのトラック長が揃うようにレイアウトします。
- これらのフィルタに加えて、図 1 に示されている R と L の位置にフィルタを追加すると、イミューティがさらに改善されます。このフィルタはロード・セルのコネクタのところに配置します。最良の結果を得るため、L (L2、L3、L4、および L5) および C (C1、C9、C12、および C13) の値の多様な組み合わせを評価しました。最終的に選択した部品が「部品表」のセクションに載せてあります。
- 電源は、0.1 μF のコンデンサに並列に 10 μF のコンデンサを使ってデカップリングされています。この場合も、部品は AD7192 の電源ピンにできるだけ近づけます。ロード・セルの励起電圧としてアナログ電源が使われ、次にロード・セルが ADC へのリファレンスとして使われます。したがって、電源のトラックも内部層に埋め込みます。

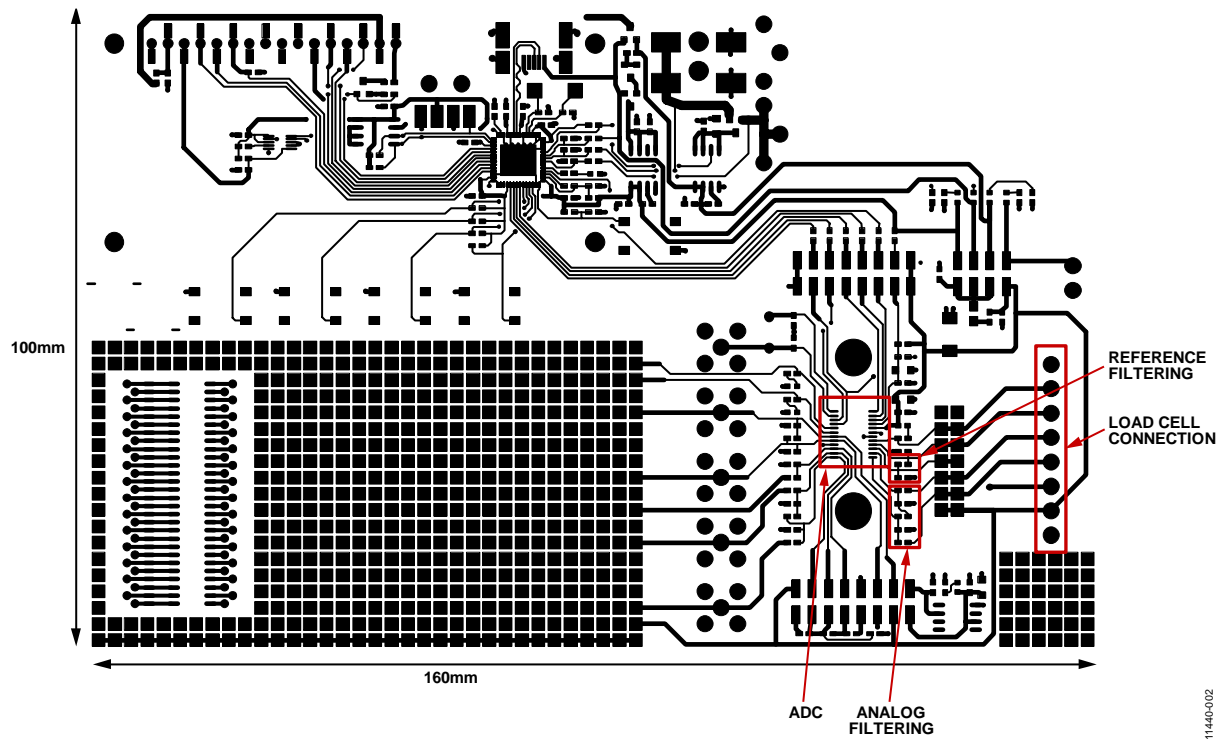


図 2. AD7192の標準的評価用ボードの部品面

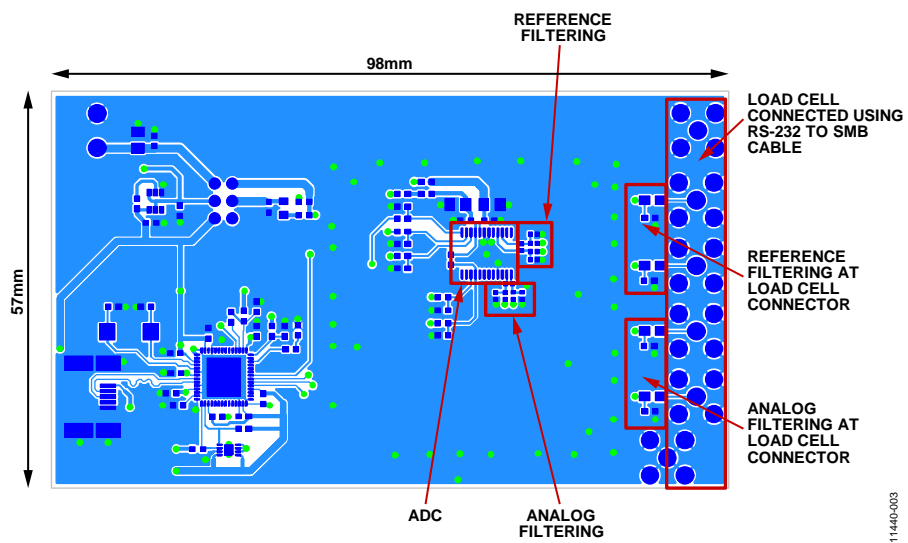


図 3. AD7192のEMCボードの部品面

結果

調査に基づいて、放射イミュニティに関して最適化されたプリント回路ボードを開発しました(図3を参照)。ボードのアートワークと回路図が、このアプリケーション・ノートの「評価用ボードの回路図とアートワーク」のセクションに含まれています。このボードと「部品表」に載せてある部品を使った放射イミュニティ試験で測定された最大誤差は e 未満でした。RF 周波数を 80 MHz から 1 GHz まで掃引したときの AD7192 による変換結果を図4に示します。テストの間、一定の重量をロード・セルに置きます。

測定された誤差は $0.45 \mu\text{V}$ です。これは e より高く、0.2 グラムに相当します。

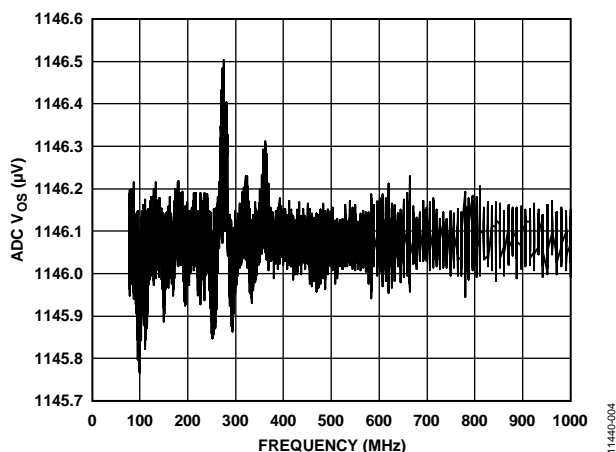


図4. AD7192 の EMC ボードの誤差と周波数

比較のため、放射イミュニティをテストしたときの AD7192 の標準的評価用ボードで測定された変換値を図5に示します。RF 干渉が存在するとき、ボードの誤差は 161 グラムに相当する $356 \mu\text{V}$ でした。

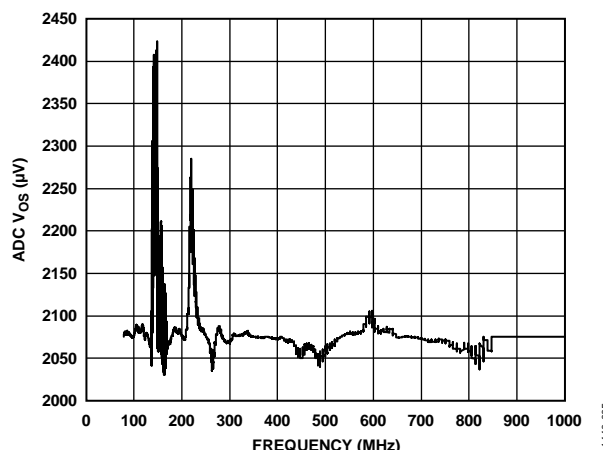


図5. AD7192の評価用ボードの放射イミュニティ

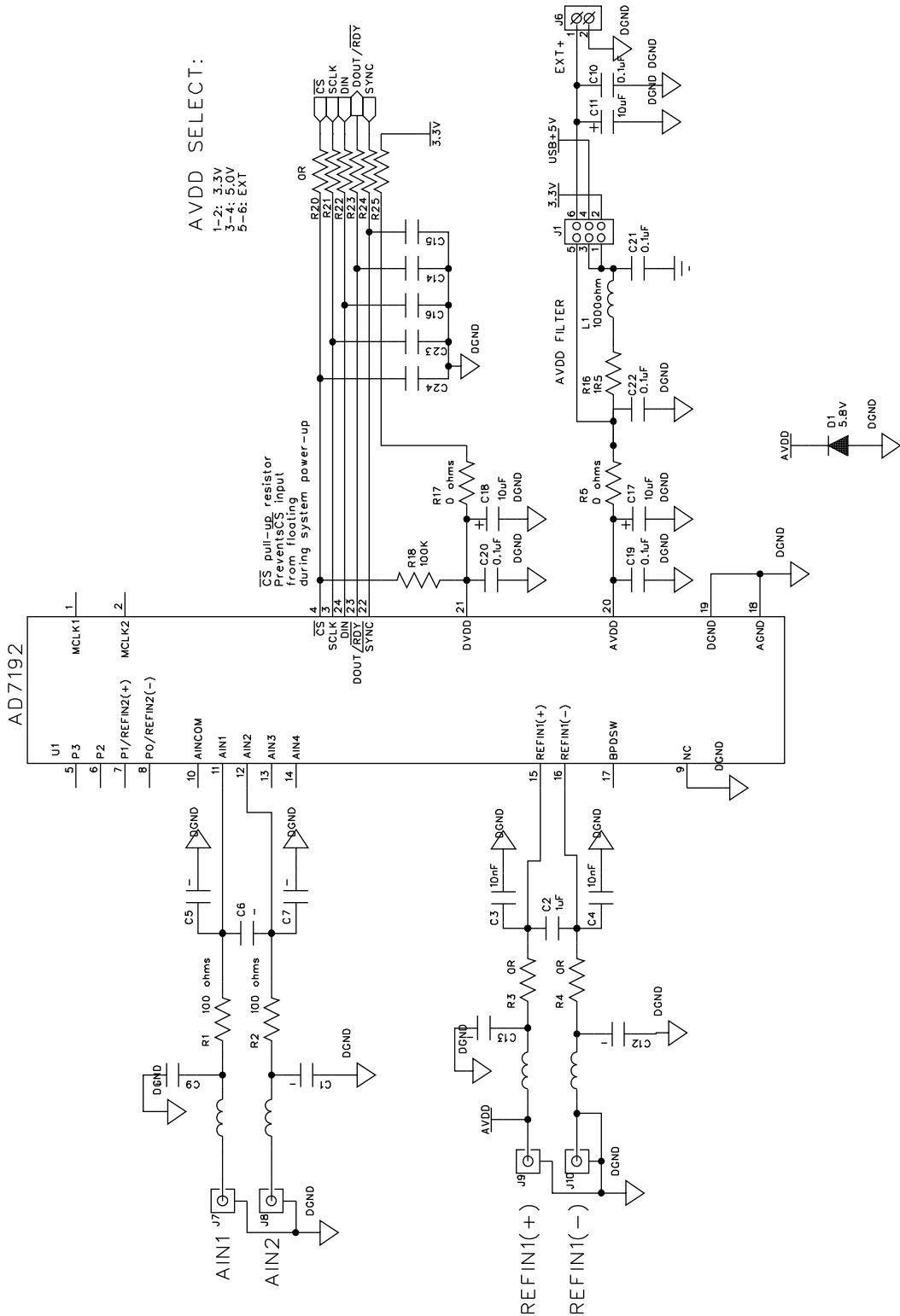
この比較により、放射イミュニティの最適性能を実現するには、レイアウト、部品の選択、および部品の配置が重要であることが明らかになります。

デバイスの放射イミュニティをさらに改善するには、AD7192 および補助部品を銅シールドで覆うことができます。

結論

放射イミュニティに関する重量システムの性能を最適化する主要素は、ボード・レイアウト、および部品の選択と配置です。このアプリケーション・ノートで論じられたレイアウト手法を用いると、重量計システムは IEC 61000-4-3 で規定されているクラス A になります。したがって、精度が 3000 カウントの重量計は放射イミュニティが備わっていると正しく機能し続けます。つまり、重量計は干渉源に対して反応しません。

評価用ボードの回路図とアートワーク



900-09P11

図 6. EMC ボードの回路図、ページ 1

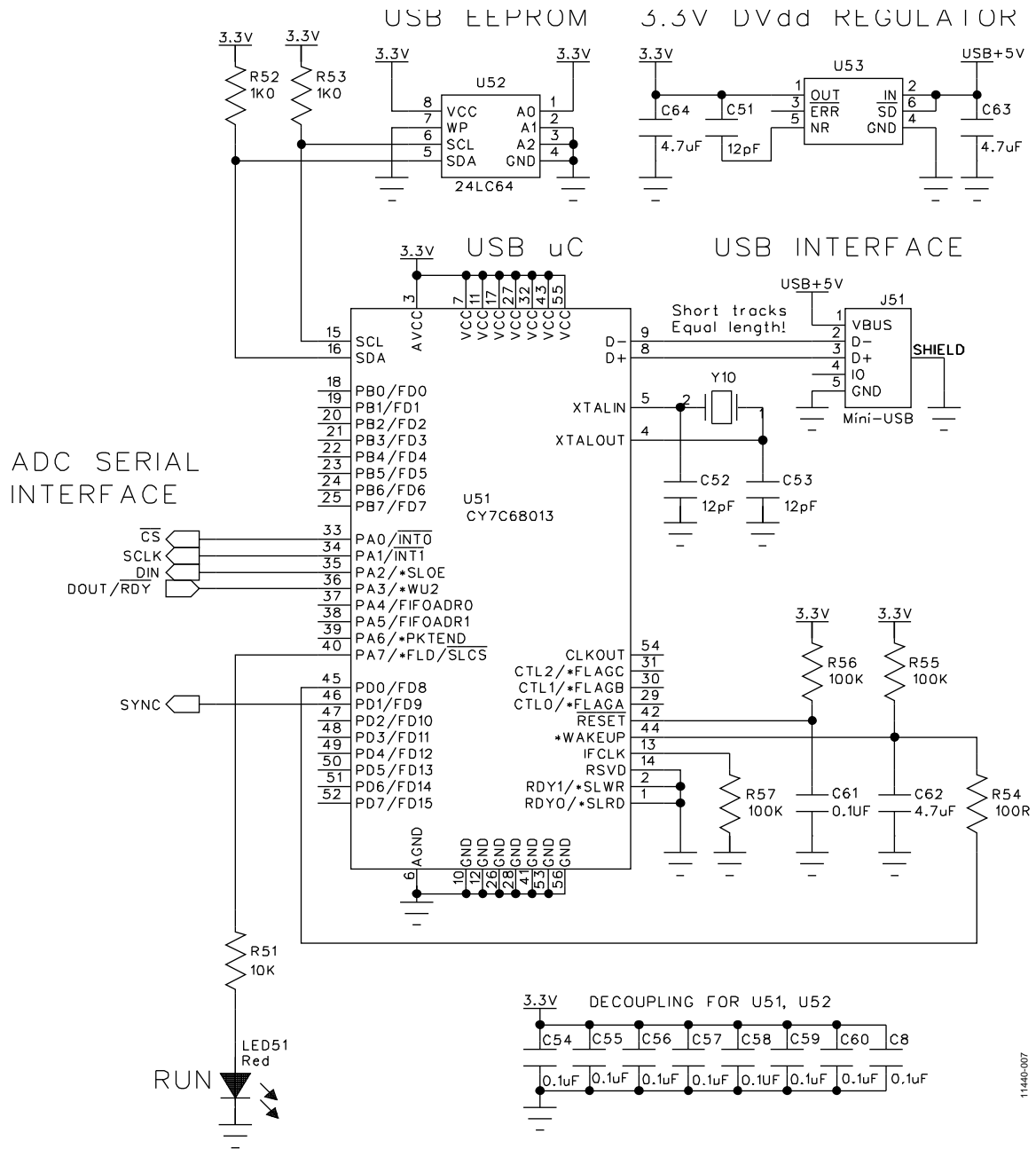


図 7. EMC ボードの回路図、ページ 2

11440-007

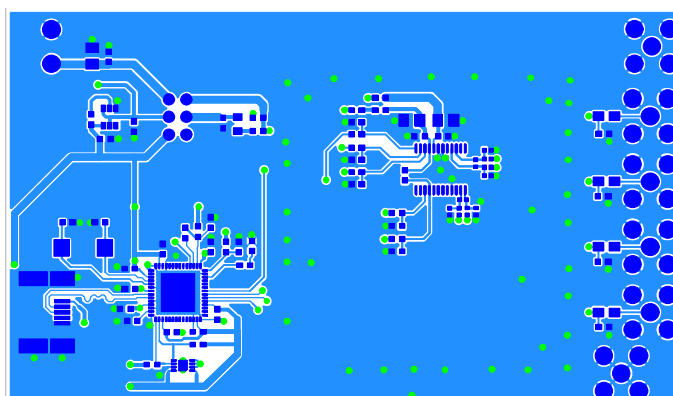


図 8. レイヤ 1 (AD7192 の EMC ボード)

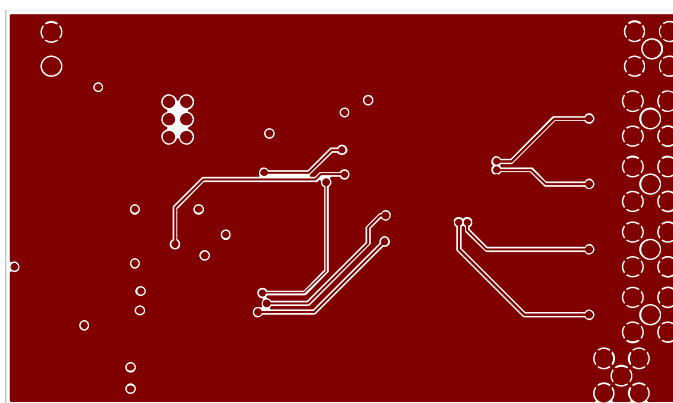


図 9. レイヤ 2 (AD7192 の EMC ボード)

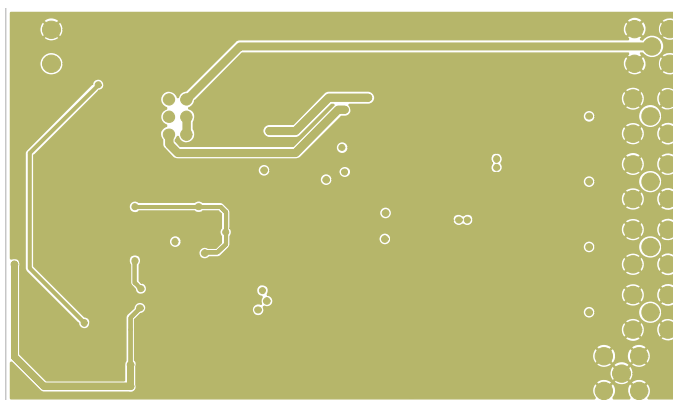
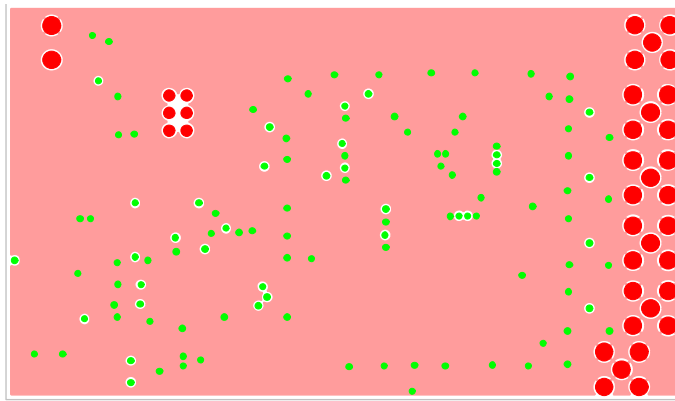
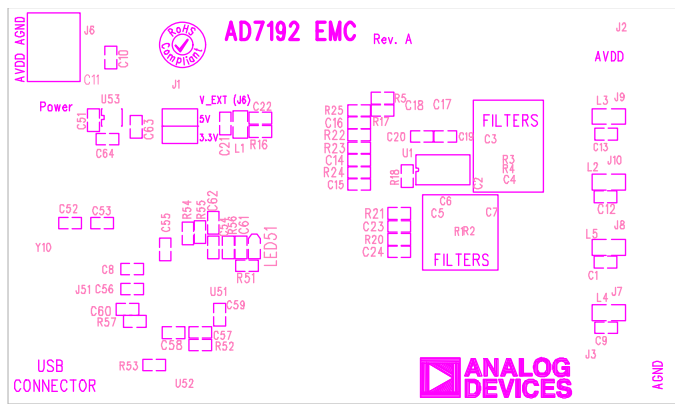


図 10. レイヤ 3 (AD7192 の EMC ボード)



11440-011

図 11. レイヤ 4 (AD7192 の EMC ボード)



11440-012

図 12. 上面シルクスクリーン (AD7192 の EMC ボード)

部品表

表 1. AD7192-EMC BOM

名称	値	許容誤差	PCB デカール	部品説明	メーカー	部品番号	ストック・コード
ADC							
U1	AD7192		TSSOP24	AD7192, sigma-delta ADC	Analog Devices	AD7192BRUZ	
ADC のリファレンス入力 (フィルタ)							
C2	1 μ F	10%	C0402	Capacitor ceramic, 6.3 V, X5R	Kemet	2238 246 13663	FEC 1310153
C3	10 nF	10%	C0402	Capacitor ceramic, 50 V, X7R	Murata		FEC 1828887
C4	10 nF	10%	C0402	Capacitor ceramic, 50 V, X7R	Murata		FEC 1828887
R3	0 Ω	1%	R0402	Resistor	Phycomp		FEC 9232516
R4	0 Ω	1%	R0402	Resistor	Phycomp		FEC 9232516
ADC のアナログ入力 (フィルタ)							
C5	0.01 μ F		C0402	Capacitor ceramic	AVX		FEC 1650807
C6	0.1 μ F		C0402	Capacitor ceramic	AVX		FEC 1833861
C7	0.01 μ F		C0402	Capacitor ceramic	AVX		FEC 1650807
R1	100 k Ω	1%	R0402	Resistor	Phycomp		FEC 1697307
R2	100 k Ω	1%	R0402	Resistor	Phycomp		FEC 1697307
ロード・セルのコネクタ							
J2	SMB		SMB	Connector, 50 Ω , straight	Amphenol	SMB1251B1-3GT30G-50	FEC 111-1349
J3	SMB		SMB	Connector, 50 Ω , straight	Amphenol	SMB1251B1-3GT30G-50	FEC 111-1349
J7	SMB		SMB	Connector, 50 Ω , straight	Amphenol	SMB1251B1-3GT30G-50	FEC 111-1349
J8	SMB		SMB	Connector, 50 Ω , straight	Amphenol	SMB1251B1-3GT30G-50	FEC 111-1349
J9	SMB		SMB	Connector, 50 Ω , straight	Amphenol	SMB1251B1-3GT30G-50	FEC 111-1349
J10	SMB		SMB	Connector, 50 Ω , straight	Amphenol	SMB1251B1-3GT30G-50	FEC 111-1349
ロード・セルのコネクタのリファレンス・ライン (フィルタ)							
C12	1 nF	10%	C0603	Ceramic capacitor, X7R, 50 V	Murata	GRM188R71H102 KA01	FEC 8819955
C13	1 nF	10%	C0603	Ceramic capacitor, X7R, 50 V	Murata	GRM188R71H102 KA01	FEC 8819955
L2	300 k Ω		805	A type ferrite	TE Connectivity/ Sigma Inductors	BMB2A0300AN1	FEC 1193418RL
L3	300 k Ω		805	A type ferrite	TE Connectivity/ Sigma Inductors	BMB2A0300AN1	FEC 1193418RL
ロード・セルのコネクタのアナログ入力ライン (フィルタ)							
C1	1 nF	10%	C0603	Ceramic capacitor, X7R, 50 V	Murata	GRM188R71H102 KA01	FEC 8819955
C9	1 nF	10%	C0603	Ceramic capacitor, X7R, 50 V	Murata	GRM188R71H102 KA01	FEC 8819955
L4	300 k Ω		805	A type ferrite	TE Connectivity /Sigma Inductors	BMB2A0300AN1	FEC 1193418RL
L5	300 k Ω		805	A type ferrite	TE Connectivity /Sigma Inductors	BMB2A0300AN1	FEC 1193418RL

名称	値	許容誤差	PCB デカール	部品説明	メーカー	部品番号	ストック・コード
ADC の電源							
C10	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C11	10 μ F	10%	RTAJ_A	Capacitor Tantalum, 6.3 V,	AVX	TAJA106K006R	FEC 197-014
C17	10 μ F	10%	RTAJ_A	Capacitor Tantalum, 6.3 V,	AVX	TAJA106K006R	FEC 197-014
C19	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C21	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C22	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C18	10 μ F	10%	RTAJ_A	Capacitor Tantalum, 6.3 V,	AVX	TAJA106K006R	FEC 197-014
C20	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
R5	0 k Ω	1%	R0603	Resistor			FEC 923-3130
R16	1.5 k Ω	1%	R0603	Resistor	Phycomp	RC0603FR- 071R5L	FEC 923-8140
R17	0 Ω	1%	R0603	Resistor			FEC 923-3130
L1	1000 k Ω		L0805	Ferrite bead, 1000 Z, 300 mA	Tyco	BMB2A1000LN2	FEC 119-3421
ADC の SPI ライン							
C14			C0603	Capacitor ceramic, 50 V, X7R,			Not inserted
C15			C0603	Capacitor ceramic, 50 V, X7R,			Not inserted
C16			C0603	Capacitor ceramic, 50 V, X7R,			Not inserted
C23			C0603	Capacitor ceramic, 50 V, X7R,			Not inserted
C24			C0603	Capacitor ceramic, 50 V, X7R,			Not inserted
R20	0 Ω	1%	R0603	Resistor			FEC 923-3130
R21	0 Ω	1%	R0603	Resistor			FEC 923-3130
R22	0 Ω	1%	R0603	Resistor			FEC 923-3130
R23	0 Ω	1%	R0603	Resistor			FEC 923-3130
レギュレータ							
U53			SOT23-6	Voltage regulator, 3.3 V	Analog Devices	ADP3330ARTZ-3.3	
C51	12 pF	5%	C0603	Capacitor ceramic, 50 V, COG	Phycomp	CC0603JRNPO9B N120	FEC 721-979
C63	4.7 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 6.3 V, X5R	Phycomp	CC0603KRX5R5B B475	FEC 940-2110
C64	4.7 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 6.3 V, X5R	Phycomp	CC0603KRX5R5B B475	FEC 940-2110
USB インターフェース/マイクロコントローラ							
U51	CY7C68013		LFCSP-56_RP	Microcontroller, EZ-USB FX2LP	Cypress	CY7C68013- 56LFXC	FEC 126-9133
U52	24LC64		DFN-8	EEPROM, I2C, 64k	Microchip	24LC64-I/MC	FEC 133-1336
C8	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C54	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C55	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C56	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C57	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C58	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C59	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C60	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C61	0.1 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 16 V, X7R	Phycomp	CC0603KRX7R7B B104	FEC 432-210
C62	4.7 μ F	10%	C0603	Capacitor ceramic, 6.3 V, X5R	Phycomp	CC0603KRX5R5B B475	FEC 940-2110

名称	値	許容誤差	PCB デカール	部品説明	メーカー	部品番号	ストック・コード
J1			JUMPER_3_N OTEXT	6-pin (3 × 2) 0.1" pitch SMD header	Tyco	1241050-3	Not inserted
J6	1 × 2-pin		CON\POWER	Screw terminal block, pitch 3.81 mm	Phoenix Contact	1727010	Not inserted (solder short used)
J51	Mini-USB		USB-MINI-B	Connector, USB Mini-B	Molex	548190572	FEC 978-6473
LED51	Red		LED-0603HSML-C191	LED, high intensity (> 90 mCd)	Avago Tech.	HSMC-C191	FEC 855-4528
R51	10 kΩ	1%	R0603	Resistor	Phycomp	RC0603FR-0710KL	FEC 923-8603
R52	1 kΩ	1%	R0603	Resistor	Phycomp	RC0603FR-071KL	FEC 923-8484
R53	1 kΩ	1%	R0603	Resistor	Phycomp	RC0603FR-071KL	FEC 923-8484
R54	100 kΩ	1%	R0603	Resistor	Phycomp	RC0603FR-07100RL	FEC 923-8360
R55	100 kΩ	1%	R0603	Resistor	Phycomp	RC0603FR-07100KL	FEC 923-8727
R56	100 kΩ	1%	R0603	Resistor	Phycomp	RC0603FR-07100KL	FEC 923-8727
R57	100 kΩ	1%	R0603	Resistor	Phycomp	RC0603FR-07100KL	FEC 923-8727
マイクロコントローラのクリスタル							
Y10	24 MHz		XTAL-CSM-8A	Crystal, load 12 pF, SMD, 5 × 3.2 mm	AVX	CX5032GB24000H0PESZZ	FEC 136-8770
C52	12 pF	5%	C0603	Capacitor ceramic, 50 V, COG	Phycomp	CC0603JRNPO9B N120	FEC 721-979
C53	12 pF	5%	C0603	Capacitor ceramic, 50 V, COG	Phycomp	CC0603JRNPO9B N120	FEC 721-979