

問題解説

群馬大学 山越芳樹
遠坂俊昭

養成人材像

- 電子回路の**アナログ的な振る舞い**を原理原則に立ち返って解明できる能力
- 部品の特性や限界を踏まえた上で**部品の性能を最大限に引き出せる**能力
- CADや回路シミュレーションツール**の限界を知った上で、これらを駆使して設計ができる能力
- 計測、信号処理、画像処理、通信方式、無線技術、制御、熱設計、メカトロニクス設計、電気化学など**関連技術に関する横断的知識**
- アナログ・デジタル混在システム**の設計能力
- 計測器の特性と限界、測定上の課題を十分に理解した上で、**計測器を用いた的確な評価が行える**能力
- 雑音について十分な知識**を有し、雑音について実践的な対応ができる能力
- 堅牢で簡素な設計**(雑音に強く確実に動作しローコスト)ができる能力
- 人的ネットワークを最大限活用**して課題解決の糸口を見出せる能力

- 電子回路のアナログ的な振る舞いを原理原則に立ち返って解明できる能力
- 部品の特性や限界を踏まえた上で部品の性能を最大限に引き出せる能力

- 記憶した知識や計算でない、アナログ技術を使いこなすための基本的な知識、知見(ナレッジ)を問う問題
- ボーデ線図などからシステムの特性を理解し、特性改善を行うための基本的な知識を問う問題

- CADや回路シミュレーションツールの限界を知った上で、これらを駆使して設計ができる能力

- CADソフトの実践についての基本的知識

- 計測器の特性と限界、測定上の課題を十分に理解した上で、計測器を用いて的確な評価が行える能力

- 電子計測についての基本的知識

- 測定結果やシミュレーション結果から解決すべき問題や対策を推察できる能力

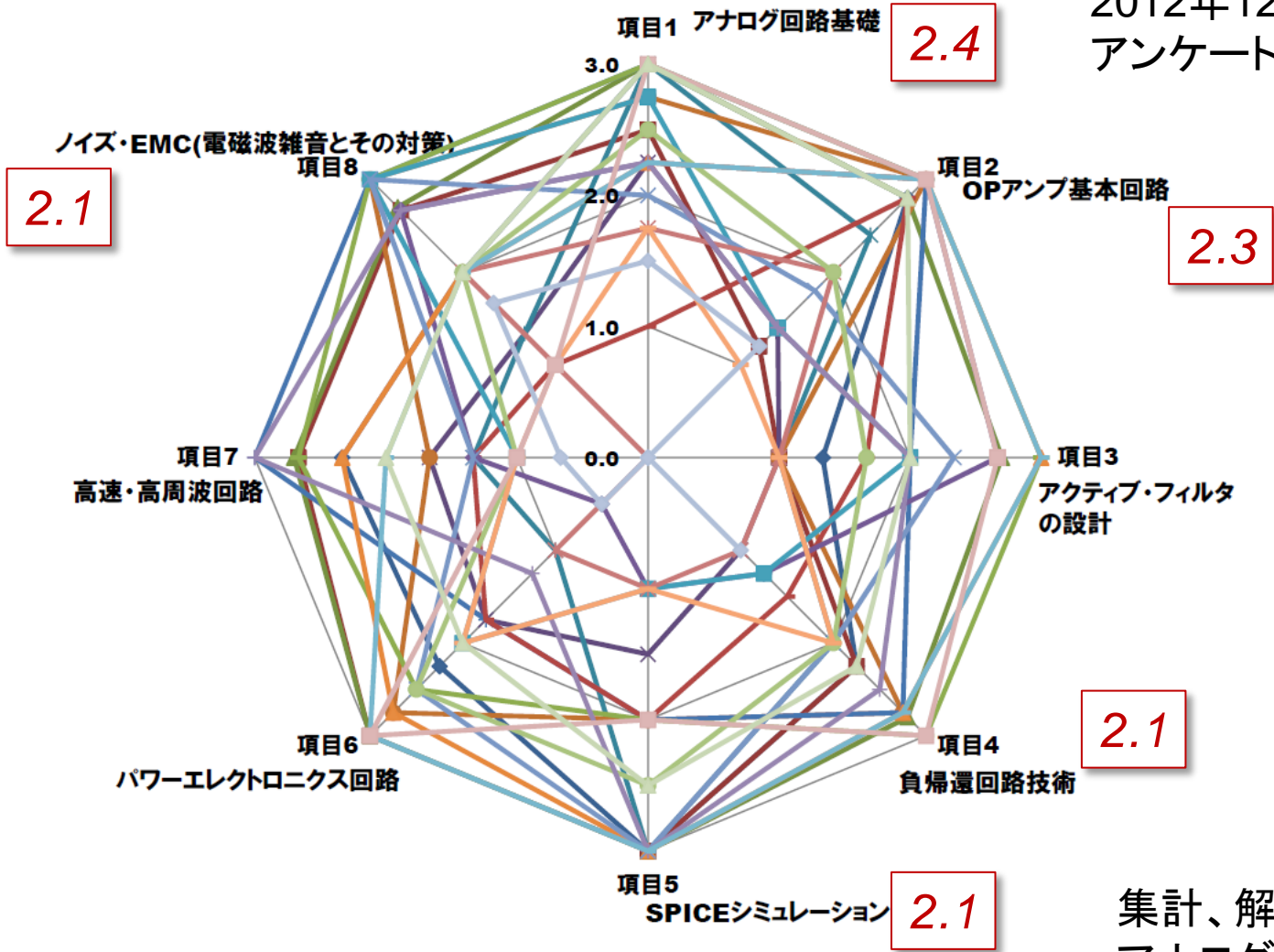
技 術 項 目
1. アナログ回路基礎
1.1 オームの法則とキルヒホフの法則
1.2 複素インピーダンス・ボーデ(Bode)線図とLCR回路の周波数特性、過渡特性
1.3 半導体デバイスの概要と半導体デバイスを用いた基本増幅回路
2. OPアンプ基本回路
2.1 OPアンプの基本特性と基本回路
2.2 OPアンプ回路の実践 (電源、サミングポイント、利得調整、発振対策、電流帰還型OPアンプ)
3. アクティブ・フィルタの設計
3.1 各種アクティブ・フィルタ回路の特性と設計法
3.2 特殊なアクティブ・フィルタ (カスケードBPF、BPFを使用したBEF)
4. 負帰還回路技術
4.1 負帰還回路の特徴、安定性とその評価
4.2 負帰還回路の安定化 (PLL発振回路、多段増幅回路、応答特性改善)
5. 負帰還回路の設計法
5.1 CR回路およびOPアンプ回路の利得・位相-周波数特性とその漸近線
5.2 非反転・反転増幅器とノイズゲイン
5.3 1次および2次の遅れ時定数をもつ回路に対する負帰還回路設計
6. 負帰還回路の応用
6.1 負帰還回路の応用 (微小信号検出回路・信号処理回路)
6.2 負帰還回路の応用(安定化電源回路・SWレギュレータ等)
7. SPICEシミュレーション
7.1 SPICEシミュレーションの解析基礎
7.2 SPICEシミュレーションによる周波数特性解析・時間応答解析
7.3 SPICEシミュレーションによるパラメトリック解析
8. パワーエレクトロニクス回路
8.1 各種スイッチング素子とその回路
8.2 電力変換用変調回路(PWM変調他)とそのシミュレーション
8.3 D級(スイッチング)パワーアンプ(デジタルアンプ)と安定化電源回路(スイッチング電源等)

業務に必要な
回路理論の基礎、
OPアンプ回路の基本と応用
回路設計のノウハウ
など、実践的なアナログ技術
に関する知識・能力

出題形式は五者択一方式とし、
30問、試験時間は1時間

企業ニーズ分析 解析結果

2012年12月に実施
アンケート回答数:21社



必要性 なし=0 低い=1 あり=2 大いにあり=3

集計、解析
アナログ企業連絡協議会
(2013年1月)

アナログ検定2012(出題分野と講座との対応)

(*)電子回路基礎ナレッジ養成コース

1. アナログ回路基礎	10問 (9問)	1章*
2. OPアンプ基本回路	7問 (6問)	2章*
3. アクティブ・フィルタの設計	0問 (2問)	3章*
4. 負帰還回路技術	12問 (12問)	4, 5, 6章*
5. SPICEシミュレーション	2問 (2問)	7章*
6. パワーエレクトロニクス回路	4問 (2問)	パワーエレクトロニクス ナレッジ養成コース
7. 高速・高周波回路	2問 (2問)	高速・高周波 ナレッジ養成コース他
8. ノイズ・EMC	3問 (0問)	ノイズ・EMCナレッジ 養成コース他

カッコ内は昨年度の出題問題数

問4. 同軸ケーブルのRG58A/Uは1mで1波長になる周波数が213MHzである。RG58A/Uを10m使用して、インピーダンスマッチングしていないときに定在波が生じる最低周波数はいくつか。

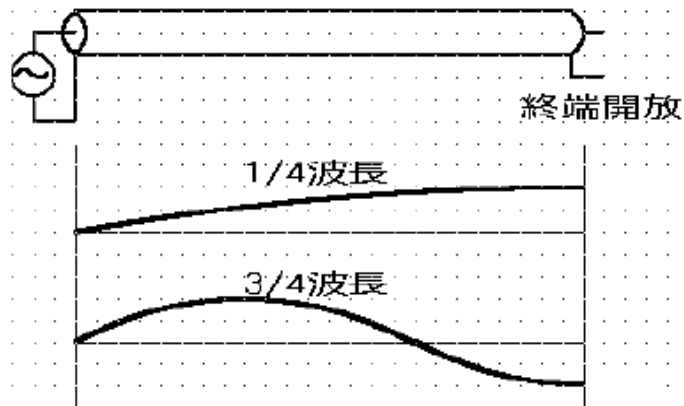
(a) 約5.3MHz (b) 約10.7MHz (c) 約21.3MHz (d) 約107MHz (e) 約213MHz

正解 (a)

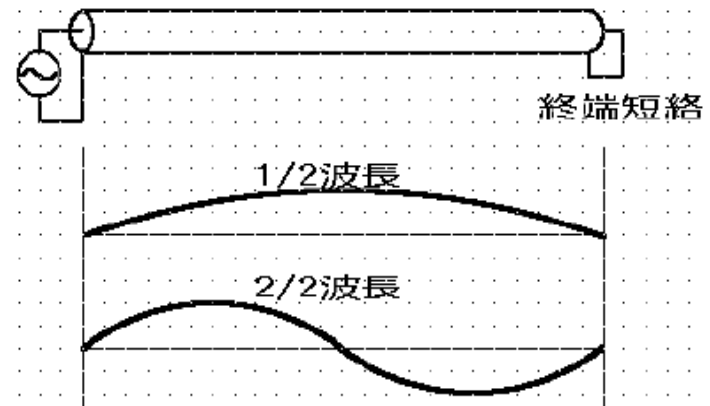
RG58A/Uを10m使用すると1波長になる周波数は21.3MHz、1/4波長になる周波数は5.3MHzになります。定在波は1/4波長から生じるので(a)が正解になります。

同軸ケーブルに出カインピーダンス 0Ω の信号源を接続し、終端を短絡、開放すると下図の定在波が発生します。

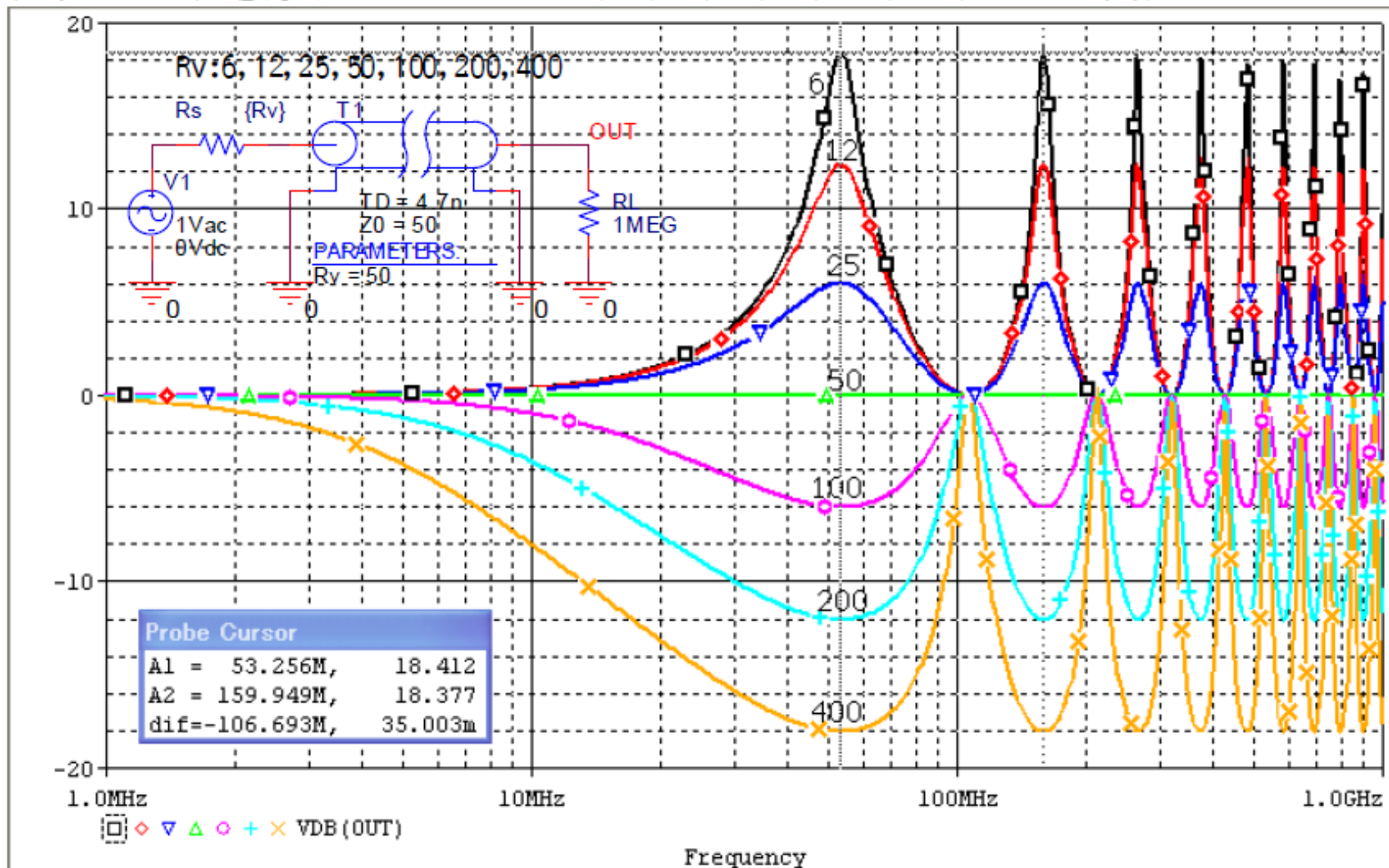
終端を開放したときの定在波の発生



終端を短絡したときの定在波の発生



下図はRG58A/Uを1m使用し、終端を開放して、振幅－周波数特性をシミュレーションした結果です。信号源インピーダンスを、6, 12, 25, 50, 100, 200, 400Ωに変化させています。

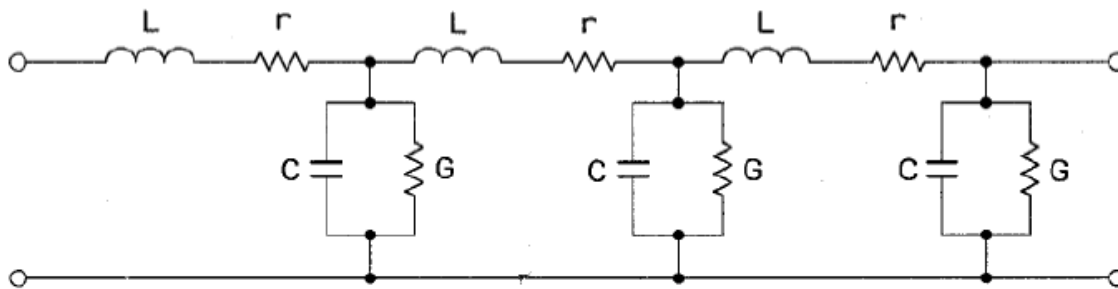


問5. 同軸ケーブルのRG58A/Uと3C2Vを比べるとRG58/AUのほうが()。

- (a) 特性インピーダンスが高い
- (b) 単位長さあたりの容量が小さい
- (c) 伝搬速度が速い
- (d) 単位長さあたりのインダクタンスが大きい
- (e) 高周波損失が大きい

正解 (c)

計測に欠かせない同軸ケーブルは特性インピーダンスが規定された信号ケーブルで、等価回路で表すと下図になり、各パラメータは下式の関係になります。



$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$t_p = \sqrt{L \times C}$$

$$C = \frac{t_p}{Z_c}$$

$$L = t_p \times Z_c$$

Z_c : 特性インピーダンス

C : 単位長さあたりのキャパシタンス

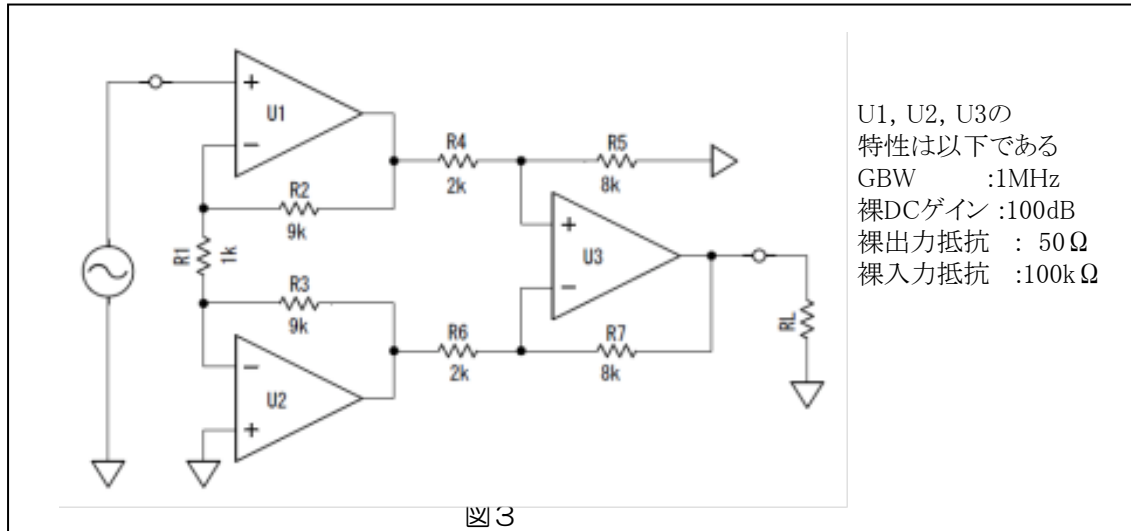
t_p : 単位長さあたりの伝搬速度

L : 単位長さあたりのインダクタンス

同軸ケーブルの名称	Z_c	C	L	t_p
RG58A/U	50Ω	93.5pF/m	0.23uH/m	4.7ns/m
3C2V	75Ω	67pF/m	0.38uH/m	5.0ns/m

問9. 図3の回路の100Hzにおける一番近い利得の値を下から選びなさい。
(a) 36倍 (b) 40倍 (c) 72倍 (d) 76倍 (e) 144倍

正解 (d)

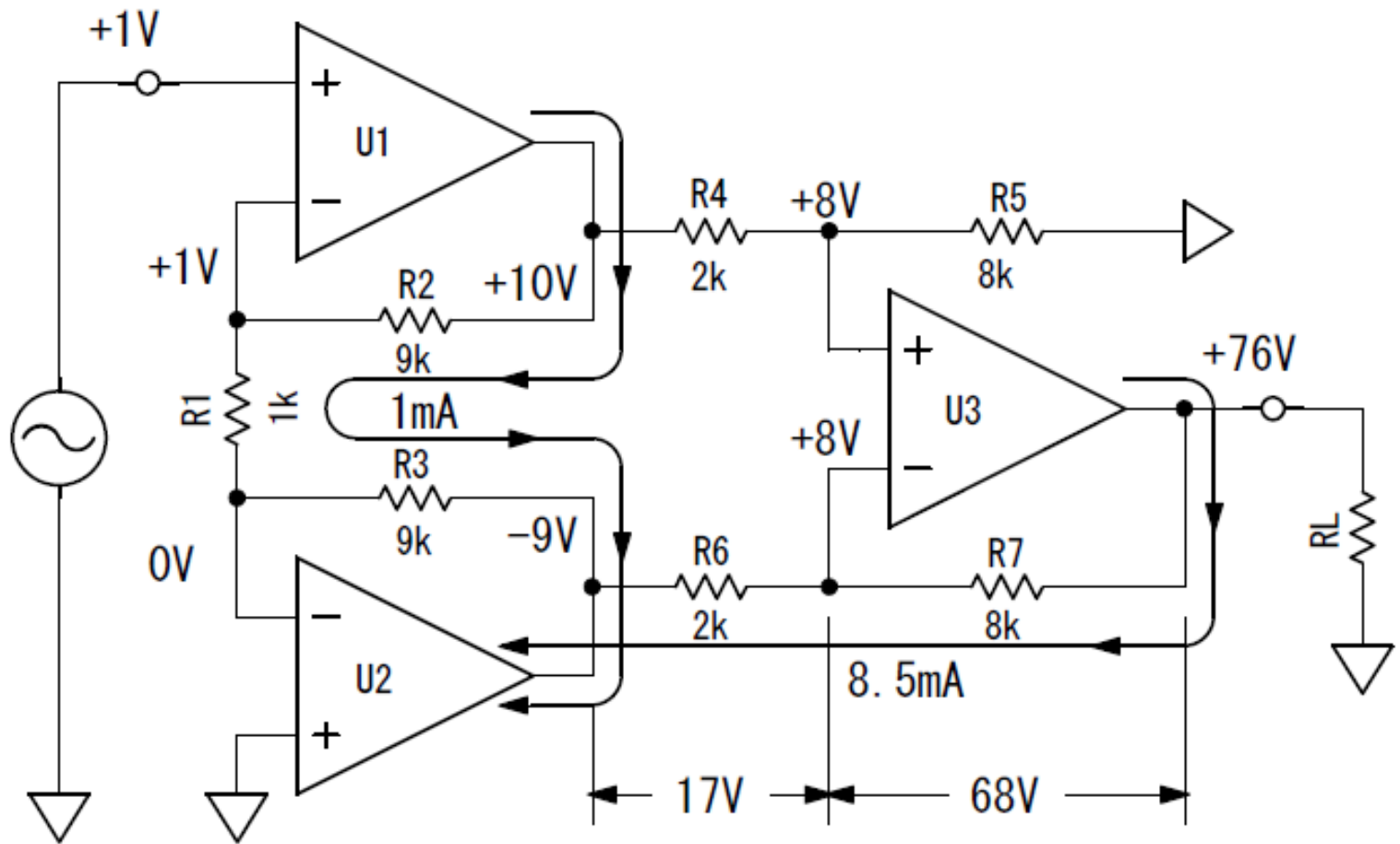


3-5 バーチャル・ショート(イマジナリ・ショート)

OPアンプの**+-入力端子は電位差がなく電流も流れ込まない**、このような状態を**バーチャル・ショート(イマジナリ・ショート 仮想短絡)**と呼んでいます。

上記の結果**+入力端子の電位に-入力端子の電位が追従してくる**動作になります。

OPアンプを使用した回路の設計や動作を考える場合、このバーチャル・ショートを前提にして考えると理解がとても楽になります。



問13. 図8の回路の出力にシールド線10mを接続したところOPアンプの出力波形が図9の上の波形になった。この現象の説明で適切なものは下のどれか選びなさい。

- (a) 接続されたシールド線により位相が遅れて発振した。発振対策として出力に47Ω程度の抵抗を直列挿入する。
- (b) 接続されたシールド線により位相が遅れて発振した。発振対策として出力とグラウンド間に1000pF程度のコンデンサを挿入する。
- (c) 接続されたシールド線によりOPアンプ出力に高周波雑音が入った。雑音対策として出力とグラウンド間に1000pF程度のコンデンサを挿入する。
- (d) 接続されたシールド線によりOPアンプ出力に高周波雑音が入った。雑音対策として出力にL:16μF、C:1000pF程度のLCローパスフィルタを挿入する。
- (e) 接続したシールド線の高周波損失が大きいため波形が乱れた。高周波損失の少ない同軸ケーブルに変更する。

正解 (a)

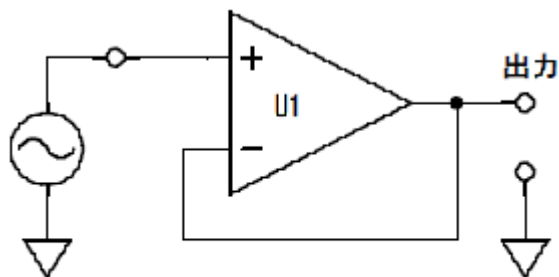
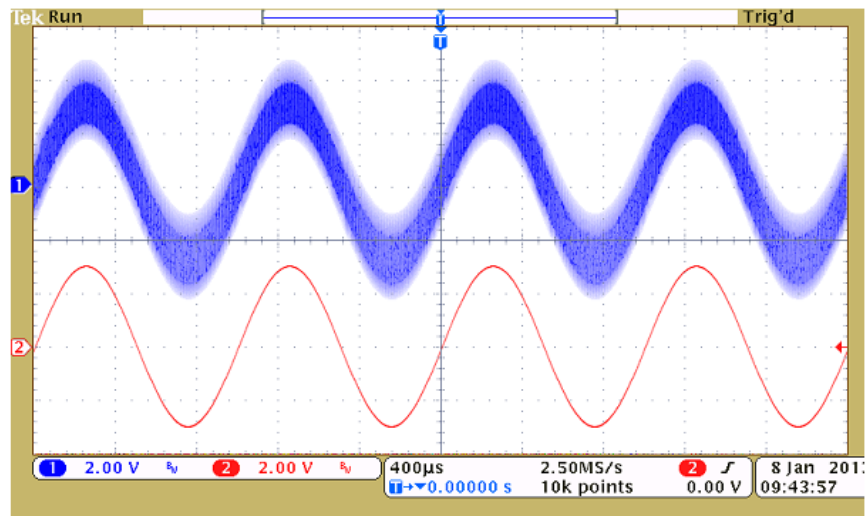


図8



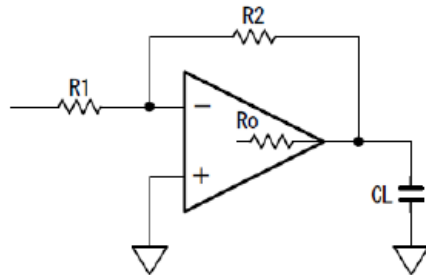
上段(青)：出力波形 下段(赤)：入力波形

図9

■■■■ 2. OPアンプ増幅回路の容量負荷対策 ■■■■

2-1 容量負荷の影響

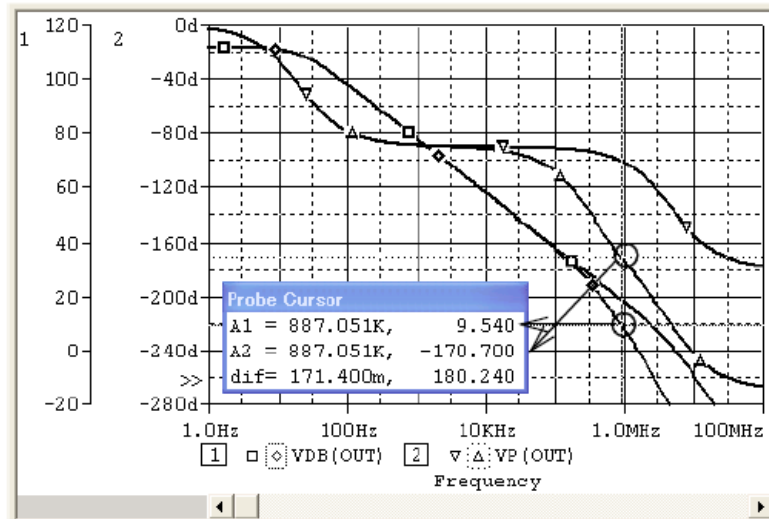
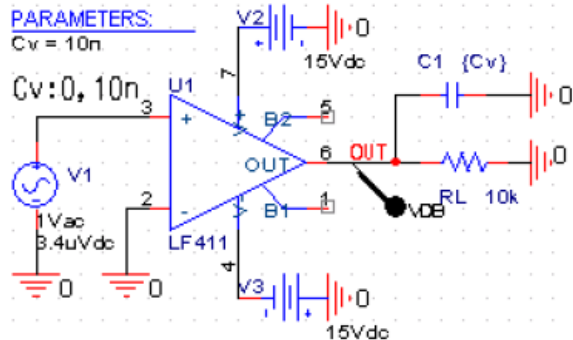
OPアンプを使用した増幅回路のトラブルで比較的多いのが増幅器の出力にシールド・ケーブル等を接続したときに異常発振してしまう等の容量負荷によるトラブルです。



この容量負荷による周波数特性のピーク発生の原因は左図に示すようにOPアンプの出力抵抗 R_o と容量負荷 C_L によってLPFが形成されてしまい、位相が遅れ、負帰還の位相余裕が少なくなってしまうためです。

下記はLF411に10nFの容量負荷が有無のオープン・ループ特性です。利得2倍の反転増幅器では、裸利得3倍(9.54dB)のときループ利得が1になります。シミュレーション結果ではこのときの位相遅れが約170°、位相余裕が10°と危ない特性です。

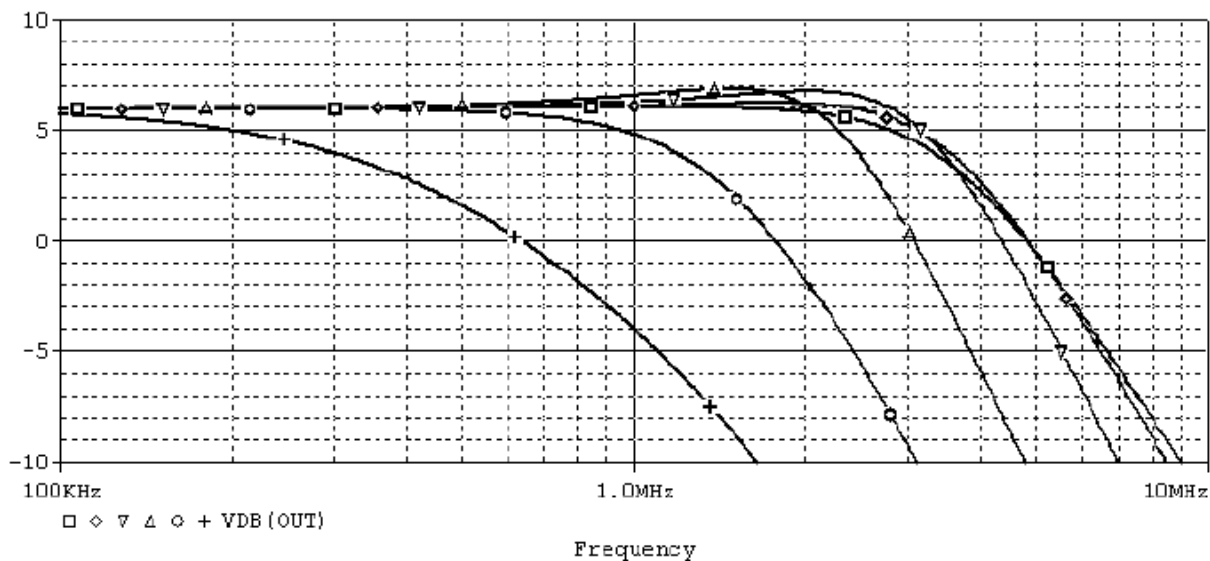
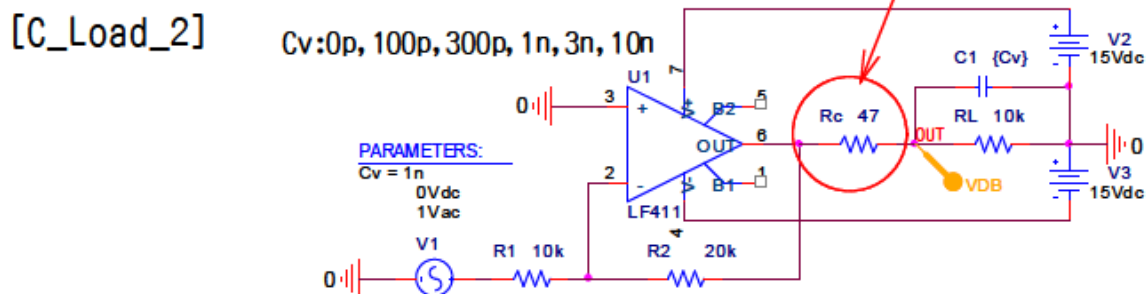
[LF411_OL]



2-2 一番簡単な容量負荷対策

OPアンプの出力に高域での裸の出力抵抗と同じ程度の抵抗 R_c を挿入し、帰還信号がCLによる位相遅れの影響を受けないようにします。

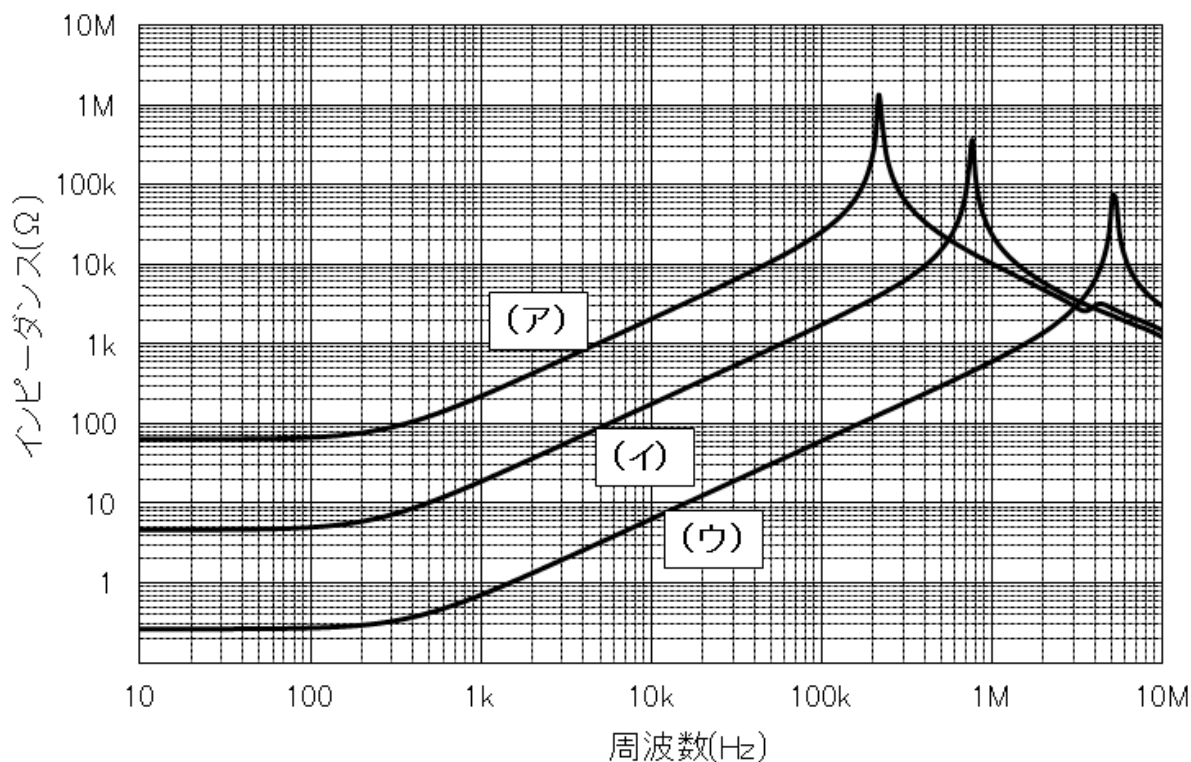
下記がそのシミュレーションです。 R_c の値は正確さは必要ないのでE12系列から50Ωに近い値として47Ωを選びました。



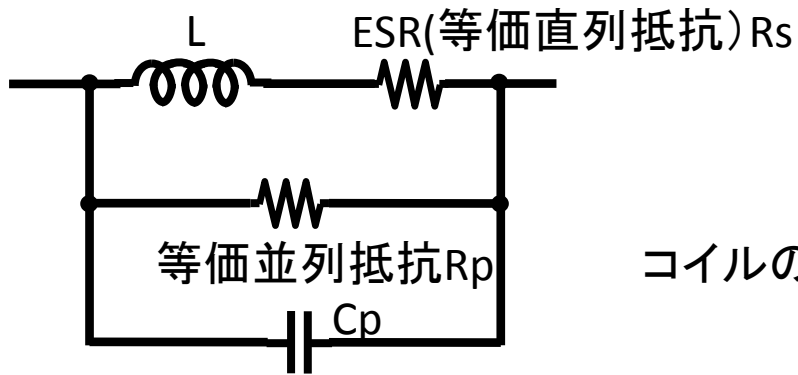
問20. コイル(インダクタ)(ア)、(イ)、(ウ)の周波数特性を測定した結果である。
適切でないものはどれか。

- (a): インダクタンス値が最も大きいものは(ア)である
- (b): ESR(等価直列抵抗)がもっとも小さいは(ウ)である
- (c): (ア)、(イ)、(ウ)とも周波数100Hzではインダクタとして機能しない
- (d): 周波数1MHzでインダクタとして機能するのは(ア)だけである
- (e): 自己共振周波数が最も低いのは(ア)である

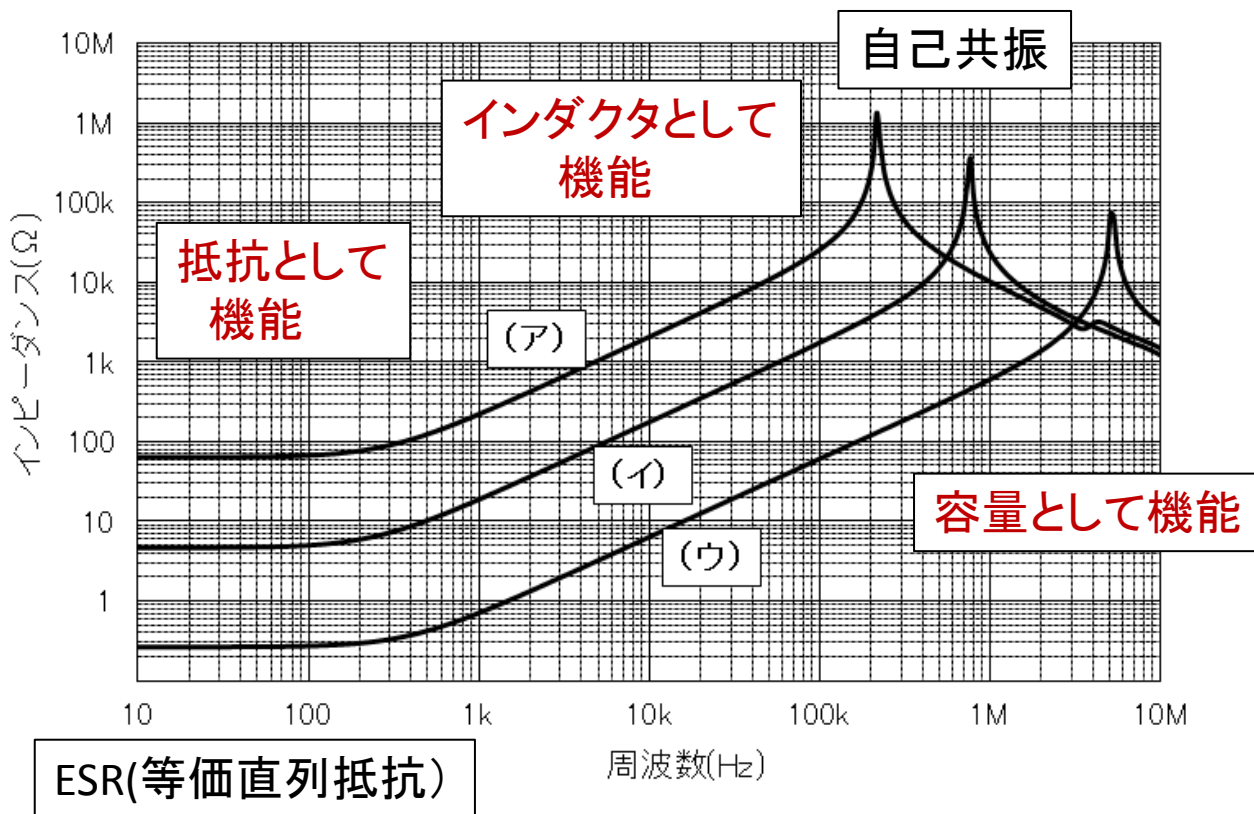
正解 (d)



ラジアルリード型
インダクタ
(大電流用)



分布容量(浮遊容量)

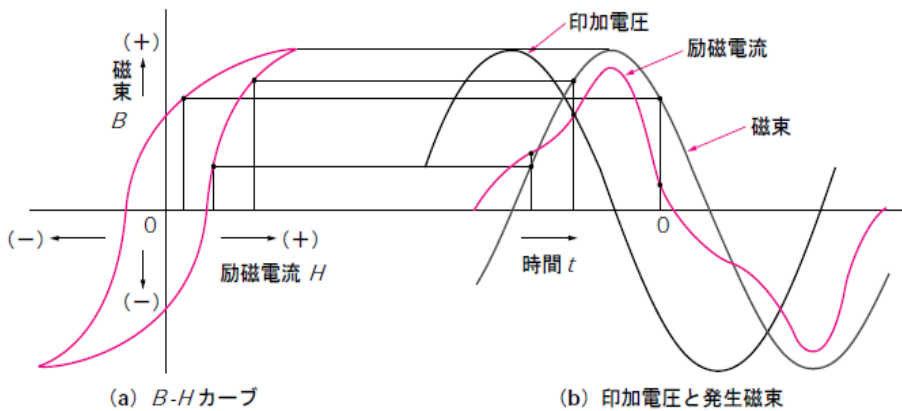


問29. 電源の雑音を少なくするために商用周波数のトランスを使用し、定格消費電流の2倍程度のヒューズを使用した。

ところが極まれに電源投入時に故障していないにもかかわらずヒューズが切れてしまう。対策として適切なものは次のどれか選びなさい。

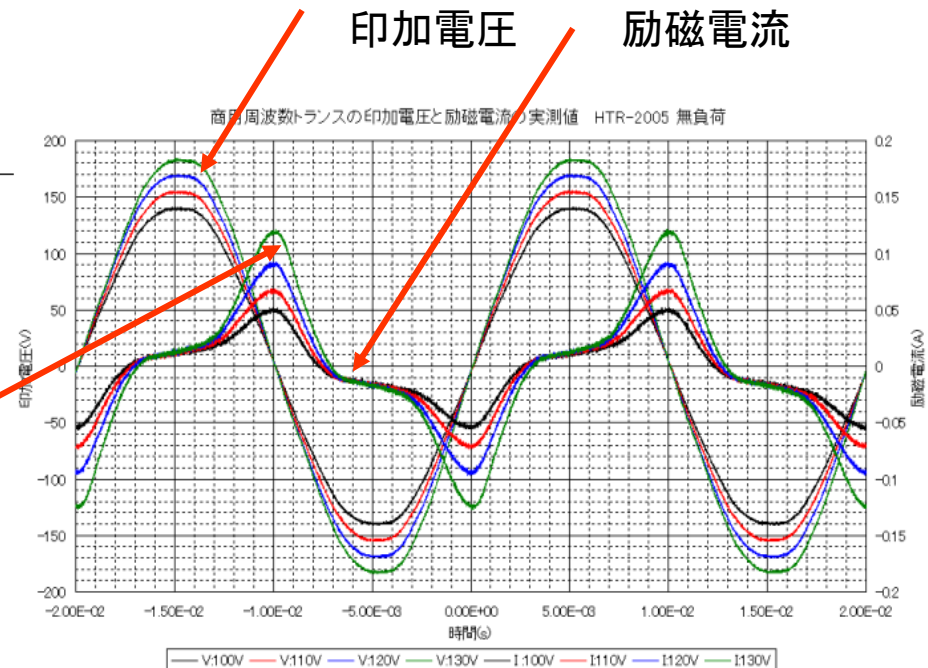
- (a) 平滑用のコンデンサの容量が大きすぎるので半分程度に容量を減らす。
- (b) 電源投入時に過大電流が流れないように整流回路に突入電流防止回路をつける。
- (c) 電源投入時に過大電流が流れないように整流回路をチョーク入力回路に変更する。
- (d) 電源トランスの巻き線抵抗が低温時に下がるのでヒューズの容量をさらに大きくする。
- (e) 電源投入時の電源トランスの磁気飽和なので溶断速度の遅いヒューズに変更する。

正解 (e)

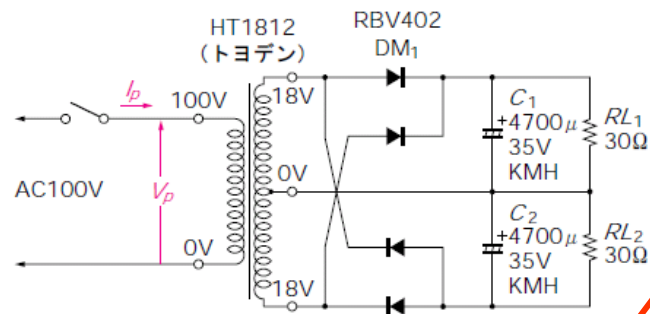


トランスの印加電圧を増大していくと励磁電流が急増する

トランスの飽和

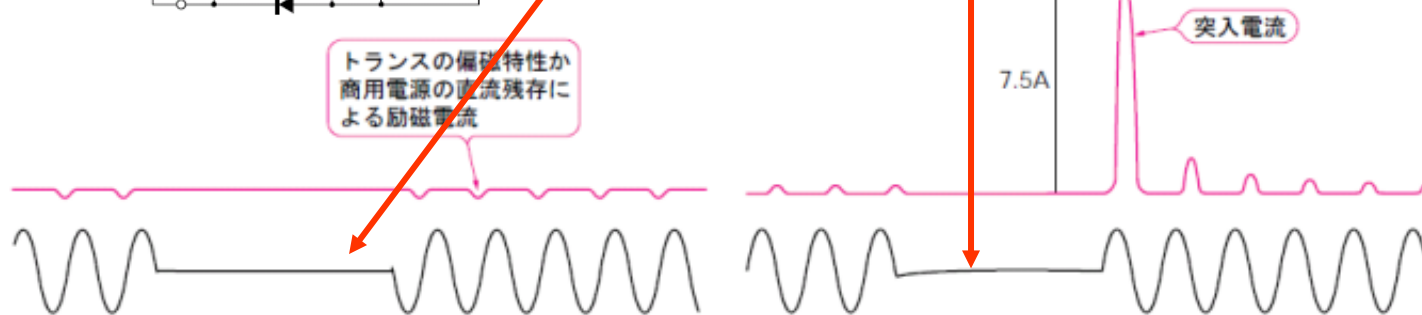


トランスの飽和により突入電流が急増する



180°で切断して、180°で投入

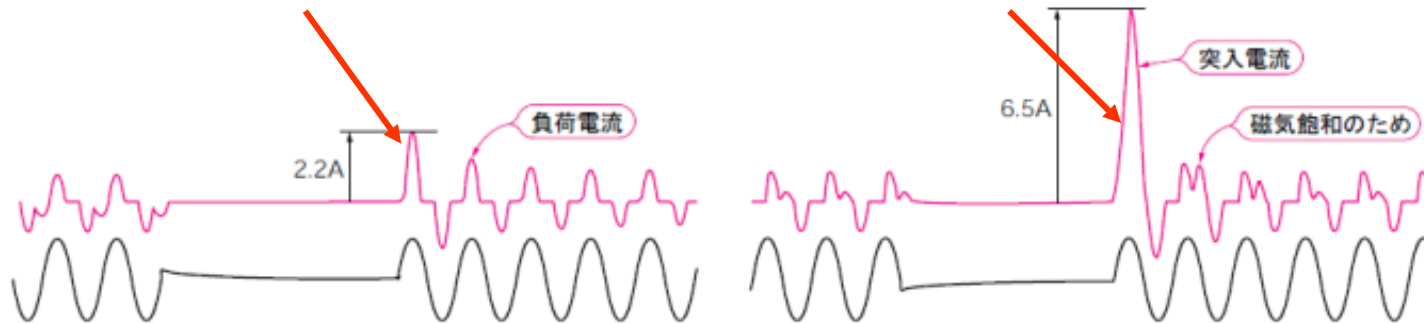
180°で切断して、0°で投入



(a) トランス単体(180°切断, 180°投入)

(b) トランス単体(180°切断, 0°投入)

負荷電流による突入電流よりも磁気飽和による突入電流のほうが大きい



(c) 負荷あり(0°切断, 0°投入)

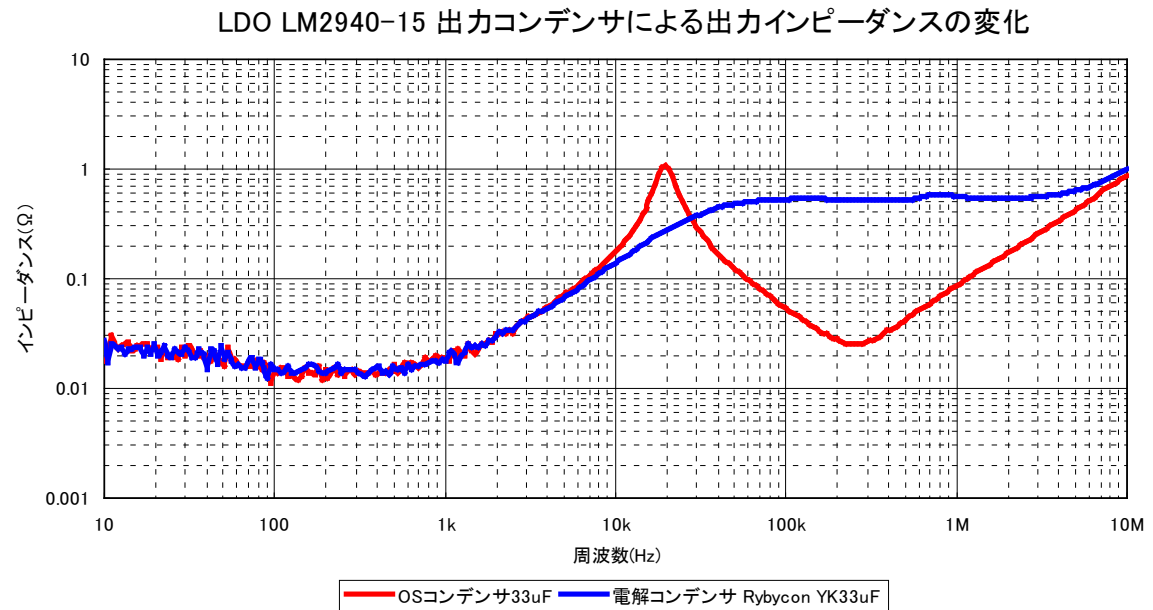
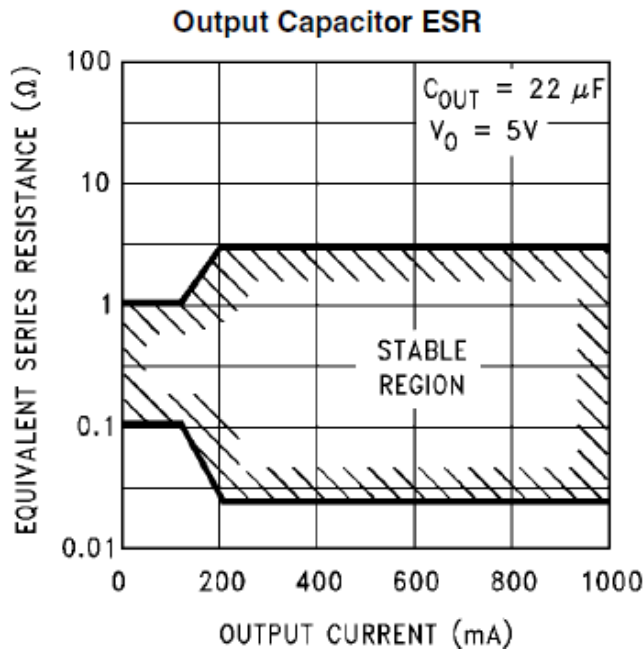
(d) 負荷あり(180°切断, 0°投入)

新製品出荷時には最悪条件での試験が必要

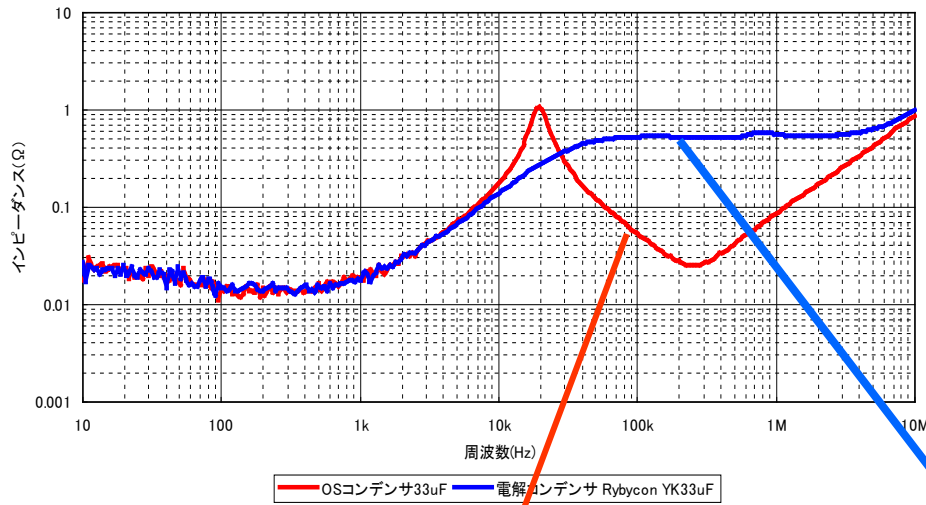
問30. LDO(Low Drop Out)三端子レギュレータを使用した。そして負荷電流(300mA)を120us間隔でON/OFFしたところ図14の波形が観測された。この現象について適切な対策を下記のなかから選択しなさい。

- (a) 出力電圧のリングングを吸収するためにLDO出力のコンデンサをESRの小さな積層セラミックコンデンサに換える。
- (b) 負帰還の動作が不安定なので、LDO出力のコンデンサをESRの大きな一般的な電解コンデンサに換える。
- (c) 負帰還の動作が不安定なので、出力ー負荷間の浮遊インダクタンスが少なくなるようにプリント基板のパターンを修正する。
- (d) AC電源からの雑音を除去するために電源入力部分にラインフィルタを挿入する。
- (e) LDOの入出力電位差を大きくするために入力電圧を高くする。

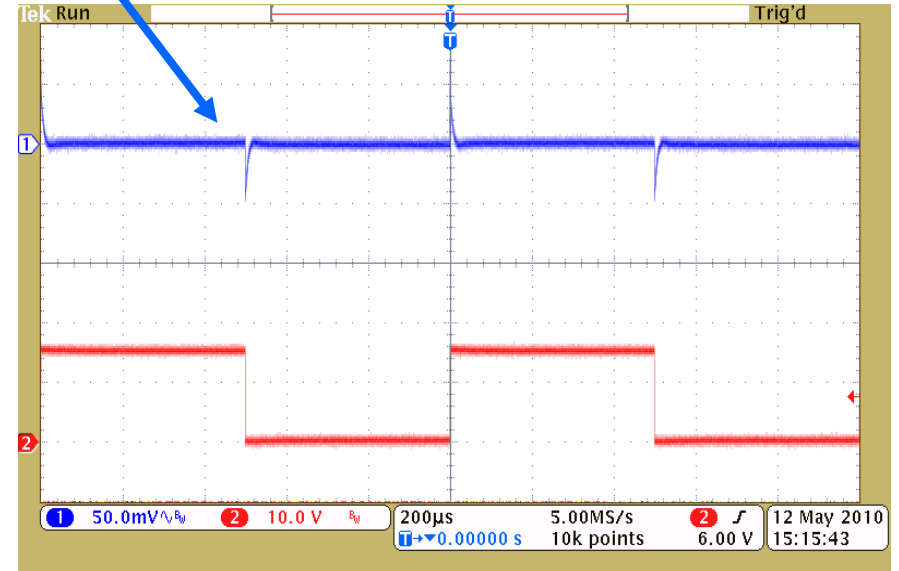
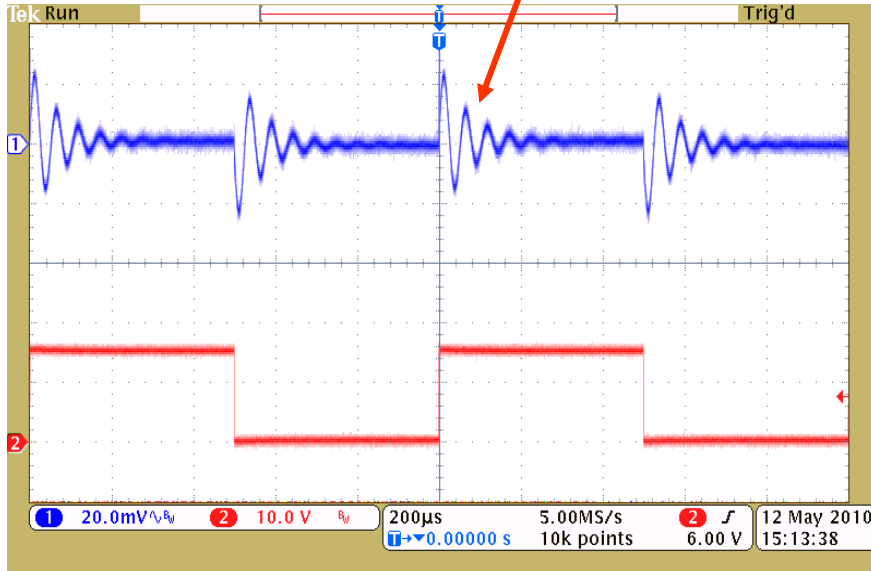
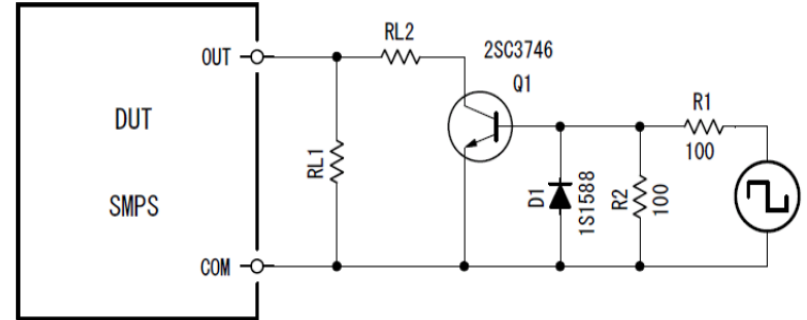
正解 (b)



LDO LM2940-15 出力コンデンサによる出力インピーダンスの変化



負荷電流を急変させると



さらに条件が悪くなると小振幅で連続発振してしまう