

電源外付型スイッチングハブの伝導性妨害波伝達特性 測定

2014.11.20

B4 松田光志

概要— 妨害波の伝達箇所を特定することなどを目的として、電源外付け型のスイッチングハブを測定対象とし、ACアダプタ部分のみと、スイッチングハブ部分のみのそれぞれについて、電源から印加された伝導性妨害波の伝達特性を測定した。ACアダプタ部分では、電源線のコモンモードから通信線のディファレンシャルモードへは最大でも -30 dB、コモンモードへは -20 dB 程度であった。それに対して、スイッチングハブ部分では、すべてのモードの伝達特性および変換特性が -6 dB 程度となり、非常に強い結合があることが推測できた。

また、電源回路とスイッチングハブそれぞれの伝達特性(Sパラメータ)を接続し、系全体のSパラメータを表す式を導出した。今後は、これを用いて系全体のSパラメータとの比較を行なう予定である。

1 ACアダプタ型のスイッチングハブに対する伝導性妨害波の評価について

1.1 目的

先行研究および以前の報告では、電源内蔵型のスイッチングハブに対して、図 1.1 のような実験系により電源から印加された伝導性妨害波の伝達特性を測定した[1]。

今回は、妨害波の伝達箇所を特定するために、電源外付け型のスイッチングハブ外付け電源であるACアダプタ部分(以下、ACアダプタ部分と呼ぶ)とそれ以外の部分(以下、スイッチングハブ部分と呼ぶ)に分離し、

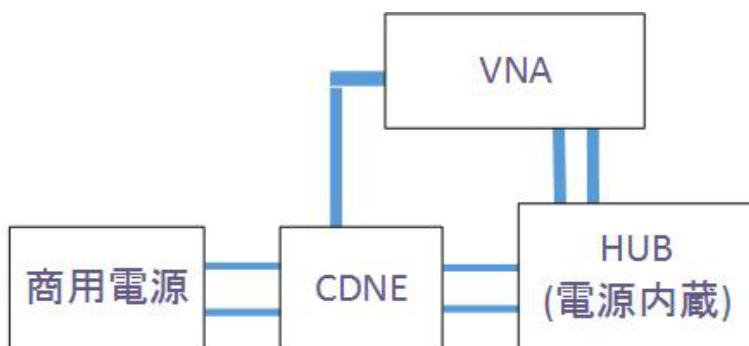


図 1.1: 内蔵型スイッチングハブの測定系(ブロック図)

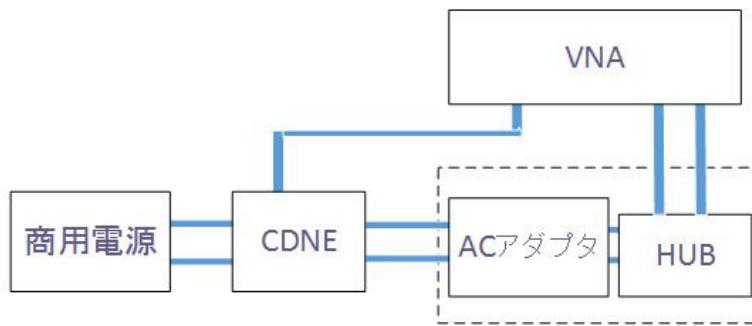


図 1.2: AC アダプタ型スイッチングハブの測定系(ブロック図)

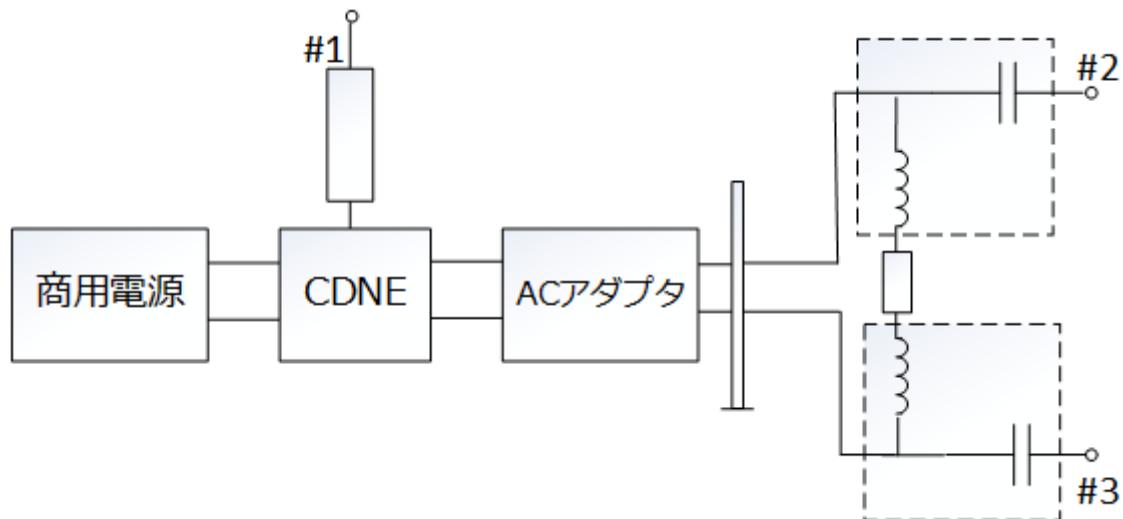


図 2.1: AC アダプタ部分の妨害波伝達特性の測定系 (概略図)

1. AC アダプタ部分
2. スイッチングハブ部分
3. AC アダプタおよびスイッチングハブからなる系全体

今回は 1,2 について、妨害波伝達特性の測定系をそれぞれ提案し、測定結果を提示する。今後、図 1.2 の様な実験系を用いて 3 について測定し、得られた 1,2 の特性を合成したものと比較することで検証する。

2 ACアダプタ部分の伝導性妨害波特性について

2.1 測定系

2.1.1 ACアダプタのAC側

ACアダプタ(1.0A, 5.3V)の入力側はCDNE(Teseq M210)に接続し、CDNEの測定ポートは同軸ケーブルを介してベクトルネットワークアナライザ(Agilent E5017C)のポート1を接続する。入力側のコモンモード電流を低減させるために、同軸ケーブル上に、システムグラウンドに垂直にフェライトクランプ(鹿島 FC22)を配置する。フェライトクランプはシステムグラウンドに垂直に配置する。CDNEのAEポートは、商用電源に接続する。

2.1.2 ACアダプタのDC側

ACアダプタの出力側は銅板を介して1線ずつ、2つのBIASTEE(Picosecond MODEL5545)に接続する。BIASTEEのDC端子間には負荷として抵抗 R_0 を挿入する。また、RF端子にはベクトルネットワークアナライザのポート2,3をそれぞれ同軸ケーブルにより接続する。BIASTEEを用いる理由は2つある。一方はベクトルネットワークアナライザのポートにDCを入力させないため、もう他方は出力側のディファレンシャルモード電流を調整するためである。

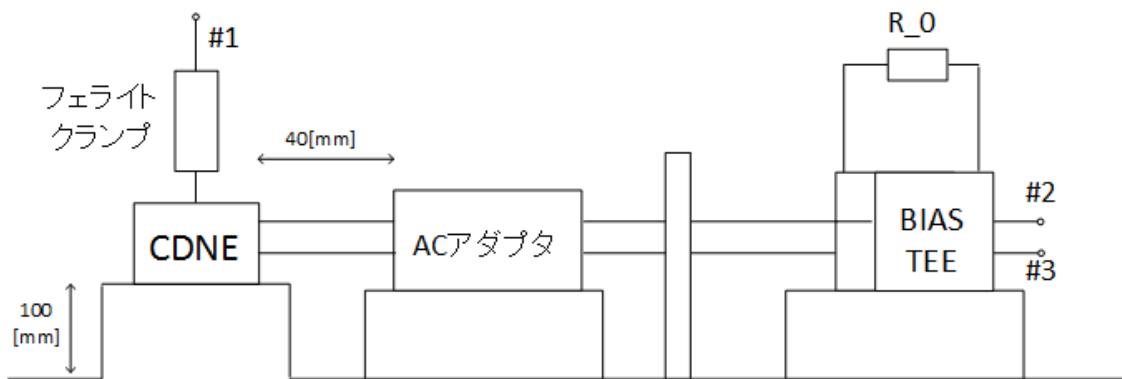


図 2.2: ACアダプタの測定系(側面からの配置図)

表 2.1: ネットワークアナライザの設定

出力電力 (output power)	0dBm
sweep type	log scale
sweep point	1601
測定周波数帯	1MHz-500MHz
IF Band Width	100Hz

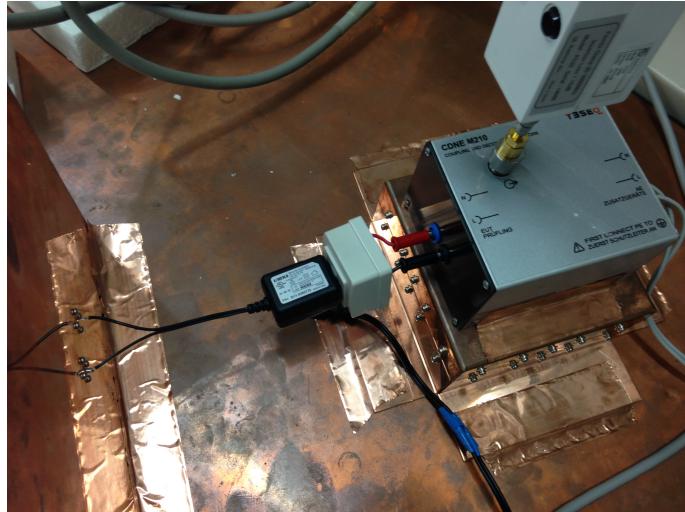


図 2.3: 実際の配線図 (AC アダプタ周辺)



図 2.4: 実際の配線図 (BIASTEE 周辺)

2.1.3 高さ (システムグラウンドからの距離)について

伝送特性を安定させるため、電源ケーブルおよびACアダプタ、BIASTEEはシステムグラウンドから高さ 100 mm の箇所に配置した。電源ケーブルは 2 本が非対称にならないよう、それぞれのシステムグラウンドからの高さを 100 mm にした。CDNE は銅板により治具を作成し、システムグラウンドと低インピーダンスで接続しながらも他の機器と同じ 100[mm] の高さに配置した。

2.1.4 各線長さについて

実際に測定した範囲は 1-500 MHz であるが、今回用いた CDNE の測定範囲周波数帯は 30 から 300 MHz である。300 MHz の妨害波の波長は 1 m であり、電源ケーブルを伝送線路とみなさないためにはケーブル長をその 1/20 程度に収める必要があるとされる。すなわち、今回は 50 mm 以下にすることが求められる。今回の実験では、図 2.1.4 のように、AC アダプタの電線は 40 mm とした。また、2.1.4 図に示すとおり銅板と BIASTEE は直接接続し、BIASTEE と抵抗 R_0 は 10 mm の導線により接続した。

2.1.5 終端条件について

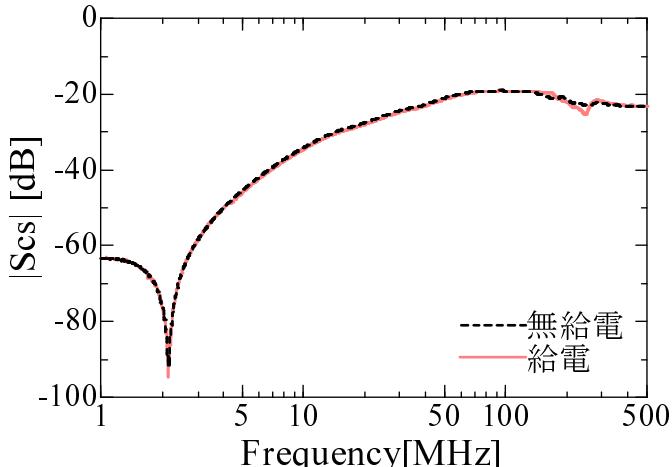
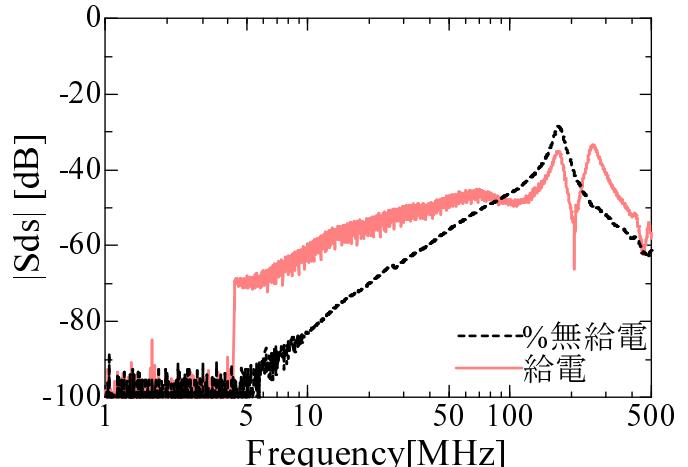
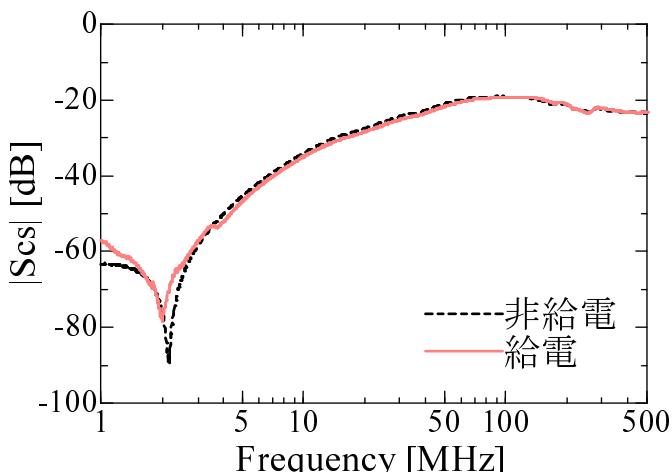
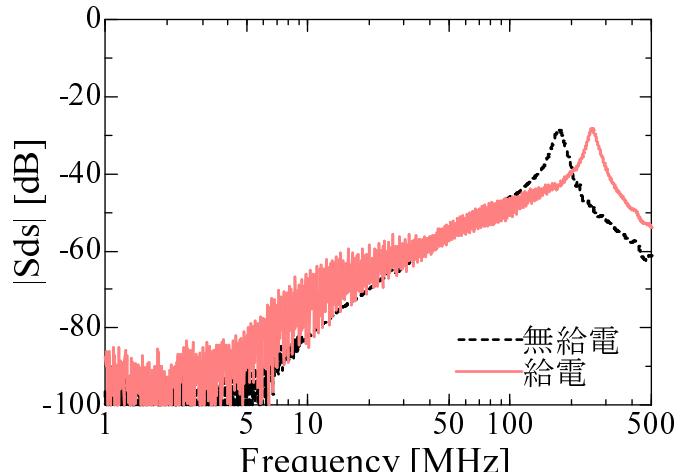
入力側については、CDNE によって終端条件が定められる。

- ディファレンシャルモード : CDNE によって、 100Ω 終端となる。
- コモンモード : CDNE によって、 150Ω 終端となる。

DC 側については、 50Ω 系で測定しているため、

- ディファレンシャルモード： $100\ \Omega$
- コモンモード： $25\ \Omega$

となる。

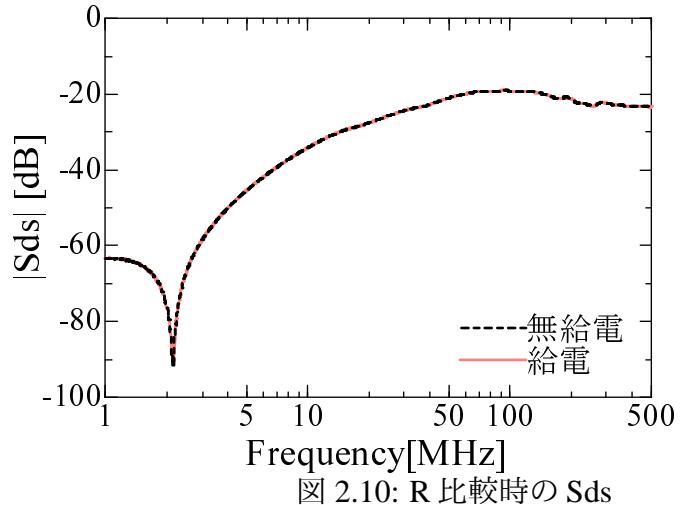
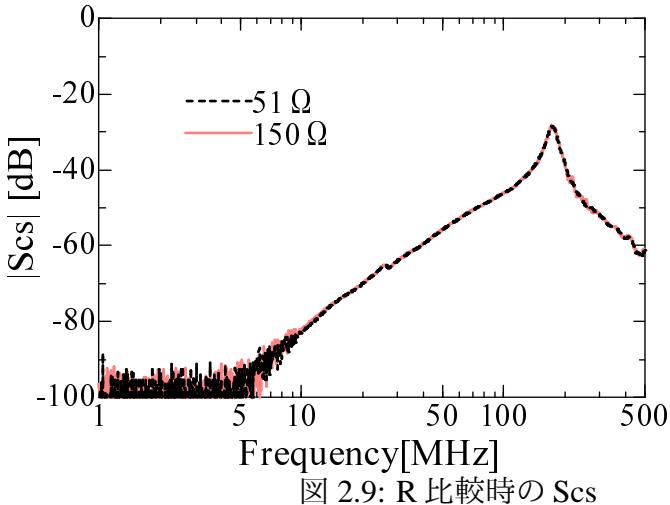
図 2.5: 給電・無給電時の $|Scs|$ ($R_0=51\Omega$)図 2.6: 給電・無給電時の $|Sds|$ ($R_0=150\Omega$)図 2.7: 給電・無給電時の $|Scs|$ ($R_0=51\Omega$)図 2.8: 給電・無給電時の $|Sds|$ ($R_0=150\Omega$)

2.2 測定結果

2.2.1 給電・無給電の比較

CDNE の AE ポートは商用電源に接続せず、まずは無給電の状態について測定し、その後接続して給電した状態を測定した。これらを比較することでモード変換の発生に関して、半導体回路部分が支配的か、寄生結合が支配的かを判断する。

結果：黒い点線が無給電時、ピンクの実線が給電時を表している。Scs では両者に違いは見



られなかった。 S_{DS} について、 $R_0 = 51\Omega$ のときは5MHz以上の周波数帯で給電時が大きい。また、 $R_0 = 150\Omega$ は概ね同じ特性であったが、ピークとなる周波数が100MHz異なった。

2.2.2 R_0 の値の比較

R_0 の値を 51Ω と 150Ω と二種類計測し、それぞれの伝達特性を比較することで、ACアダプタの妨害波伝達特性が通過電流依存性を持つか否かについて調査した。

- S_{CS} は-20dB程度の値を示した。 R の値を変えて全く変わらなかった。
- S_{DS} は-40dB程度。(CDNEの動作周波数帯である)30-300MHzにおいては、最高で10dB程度異なった。また、ピークの数が異なっている。

これらのことから、コモンモードへの伝達はACアダプタ内部の回路の寄生結合が支配的であることが推測できる。また、ディファレンシャルモードへの伝達については、回路動作が大きく影響していることが分かった。

3 スイッチングハブ部分の伝導性妨害波特性について

3.1 測定系

スイッチングハブ部分に関して、電源側から入ったノイズが通信側にどの程度伝搬するか、という妨害波特性を測定する。測定系を図3.1に示す。DUTの通信線のSTPケーブルのうち、2線を取り出して、RJ45-SMAコネクタと銅板を介してVNAの1,2ポートに接続する。残りの6線は 50Ω 終端としている。また、電源側は2線それぞれにBIASTEEを接続し、二つのOUT/IN

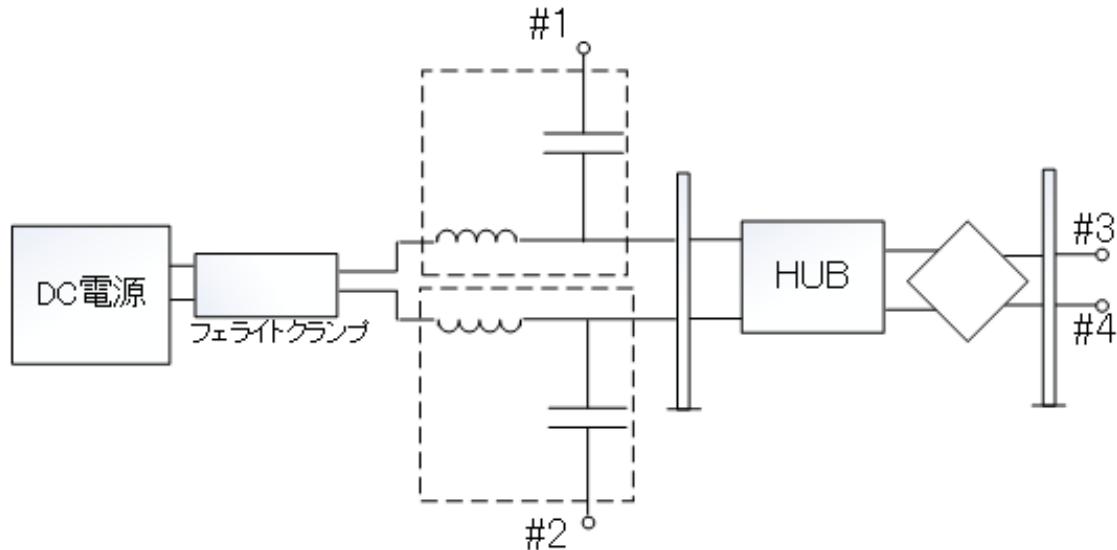


図 3.1: スイッチングハブの測定系

端子を VNA の 3,4 ポートに、また二つの DC 端子を DC 電源に接続する。BIASTEE は、ベクトルネットワークアナライザに直流成分を印加しないために用いる。

3種類の異なるスイッチングハブをそれぞれ測定対象とした。それぞれの性質を表 3.1 に示す。

表 3.1: HUB の分類表

	メーカー	筐体	GND Connection	
HUB5	I-O DATA	プラスチック	×	5
HUB6	BUFFALO	プラスチック	○	5
HUB9	BUFFALO	プラスチック	○	8

3.2 実際の測定について

- DC 電源と BIASTEE の DC 端子間の接続には対摺り 2 線を用い、フェライトクランプを設置した。
- AC アダプタの線の長さを 40[mm] にした。
- BIASTEE の GND からの高さを 100[mm]、スイッチングハブの GND からの高さを 100[mm]、DC 電源の GND からの高さを 100[mm] とした。

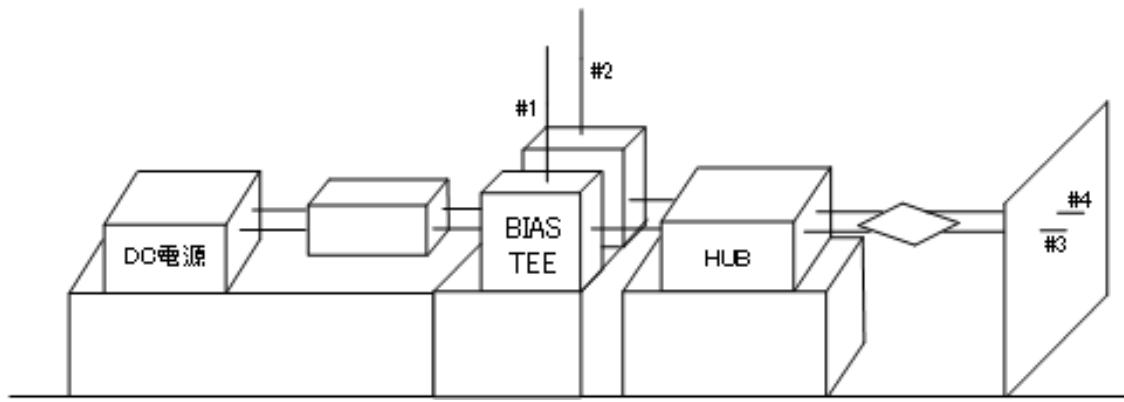


図 3.2: スイッチングハブの測定系(側面からの配置図)

3.3 測定結果

図より、コモンモード・ディファレンシャルモードの入力に対して、約 -6dB の伝達が観測された。これらは、AC アダプタ単体での伝達特性に比べて高い値で、非常に結合が強いといえる。

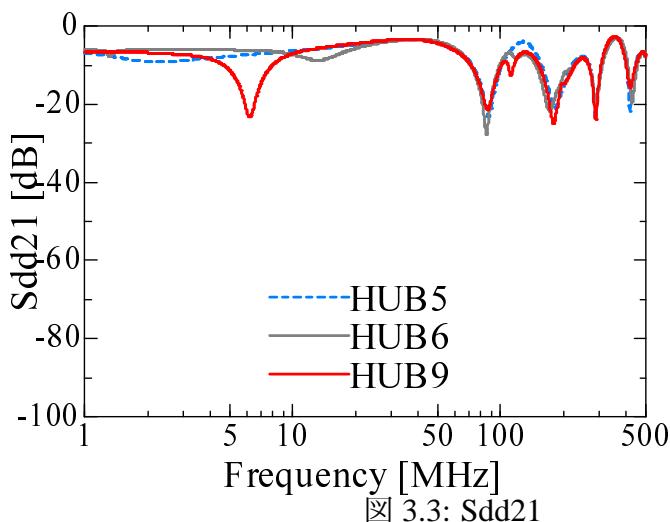


図 3.3: Sdd21

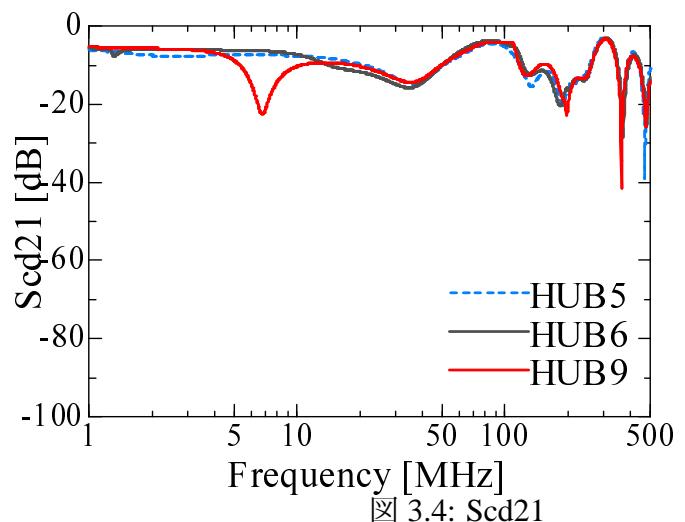
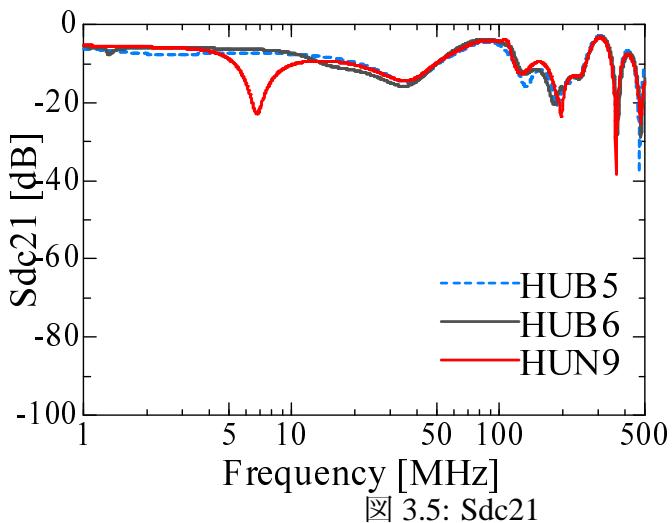
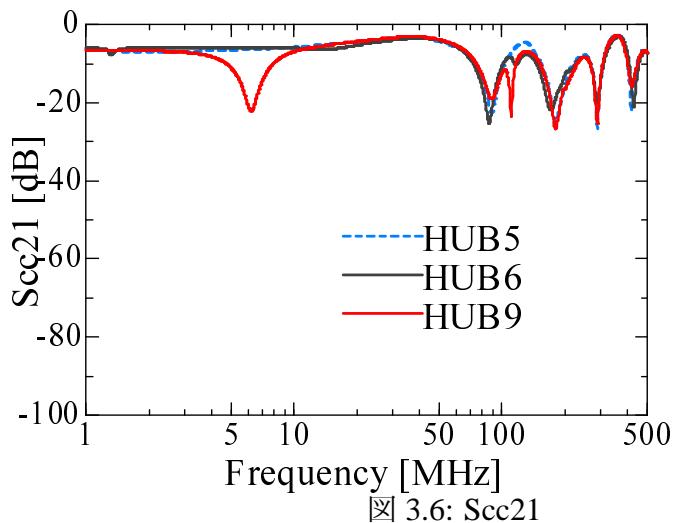
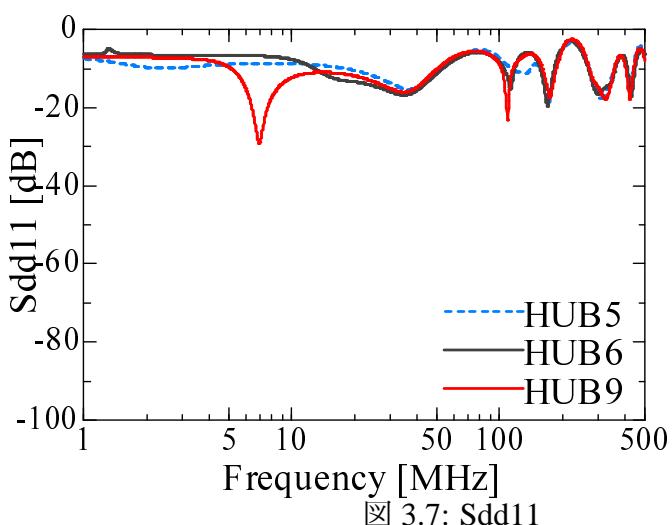
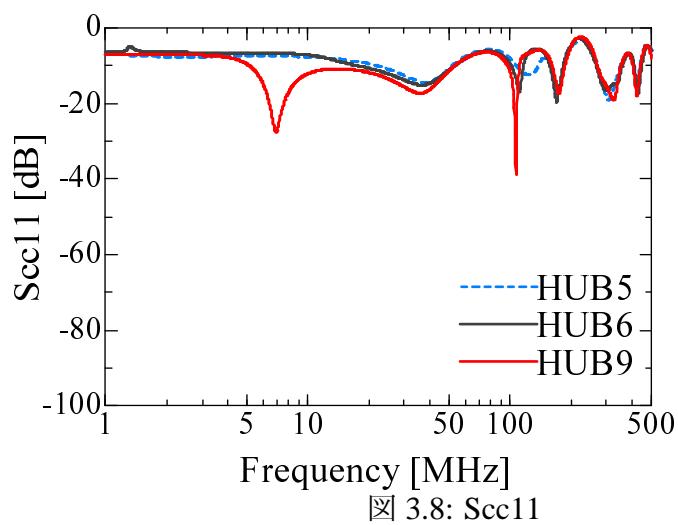


図 3.4: Scd21

図 3.5: S_{dc21} 図 3.6: S_{cc21} 図 3.7: S_{dd11} 図 3.8: S_{cc11}

4 今後の見通し

4.1 モード変換が起きている箇所の特定

候補は2つ、1つはAC電源の出力側近辺。もう1つはスイッチングハブのパルストラns。これを特定するべくAC電源、スイッチングハブ個別、その全体、の3通りについて妨害波伝達特性を測定、比較する。

電源回路とスイッチングハブそれぞれの伝達特性(Sパラメータ)について、以下が成り立つ。

$$b_i^A = S_{ii}^A a_i^A + S_{io}^A a_o^A \quad (4.1)$$

$$b_o^A = S_{oi}^A a_i^A + S_{oo}^A a_o^A \quad (4.2)$$

$$b_i^H = S_{ii}^H a_i^H + a_{io}^H a_o^H \quad (4.3)$$

$$b_o^H = S_{oi}^H a_i^H + S_{oo}^H a_o^H \quad (4.4)$$

$$a_o^A = b_i^H, b_o^A = a_i^H \quad (4.5)$$

また、電源回路とスイッチングハブ合わせた、系全体のSパラメータをSとして、以下の様に書ける。

$$S = \begin{bmatrix} S_{II} & S_{III} \\ S_{II} & S_{III} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$\begin{bmatrix} b_i^A \\ b_o^H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{II} & S_{III} \\ S_{III} & S_{III} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_i^A \\ a_o^H \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

図(4.7)から図(4.11)からSの各要素となる行列を求めるには、

$$S_{II} = S_{ii}^A + S_{io}^A (E - S_{ii}^H)^{-1} S_{ii}^H S_{oi}^A \quad (4.8)$$

$$S_{III} = S_{io}^A (E - S_{ii}^H S_{oo}^A)^{-1} S_{io}^H \quad (4.9)$$

$$S_{III} = S_{oi}^H (S_{oi}^A + (E - S_{ii}^H S_{oo}^A)^{-1} S_{ii}^H S_{oi}^A) \quad (4.10)$$

$$S_{III} = S_{oi}^H (E - S_{ii}^H)^{-1} S_{io}^H + S_{oo}^H \quad (4.11)$$

とすればよい。今後は、この式を用いて電源回路とスイッチングハブそれぞれの伝達特性(Sパラメータ)から、系全体のSパラメータを求める。さらに、実験で得られた系全体のSパラメータと比較する。

4.2 CDNEの3線への対応、コモンモードとディファレンシャルモードの分離

コモンモードのみ、またはディファレンシャルモードのみというように分離して測定できるようする。そのようなCDNEを作ることが目的。シミュレーションを完成させて、ふさわしい回路を特定する。その際、先行研究を参照する。各パラメータを決めて、思う通りの特性が得られたら、それを実際に作ってみる。

参考文献

- [1] 和田修己, 松嶋徹, “多様な伝搬モードで通信装置に侵入する伝導性妨害波の評価技術と対策技術に関する研究,” NTT 共同研究 2013 年度研究報告書, Mar. 2014.