

電磁環境の立場から見た スイッチング電源の妨害雑音について

邹 家禄・紫藤 進・吉田 昭二

On Interference from Switching Power Supplies at a View Point of Electromagnetic Compatibility

Jialu ZHOU, Susumu SHITO and Shoji YOSHIDA

Recently, switching power supplies have been widely used as power sources of personal computer etc. The switching power supply has merits such as small size, light weight, high efficiency and others.

However, its high speed switching action causes electromagnetic interference of many frequencies, covering more than several MHz.

The authors have made closer investigations on the conducted EMI, and output noise of typical switching power supplies in the market, as referred to Report of JTTC (Japan Telecommunication Technical Council) and Publication of CISPR (Comité International Spécial des Perturbation Radioélectriques).

近来、開閉電源が非常に広く用いられるようになった。開閉電源は、体积小、重量軽、効率高第一の利点がある。但是、高速スイッチング動作により、数兆赫の電磁干渉を発生させる。

筆者は、日本電気通信技術審議会答申と国際電波障害特別委員会公刊、就市販の典型的開閉電源の伝導雑音及び出力雑音等について、詳細な調査と実験を行った。

1. まえがき

エレクトロニクスの発展普及は電源装置にも大きな変革をもたらした。電子回路を巧みに応用した新しいタイプの電源として、スイッチング電源が各方面で使用されるようになった。スイッチング電源は従来広く用いられてきたドロップ電源に比し、小形、軽量、高効率という特徴を持っているが、高速スイッチングにより出力電圧を制御する方式をとっているため、付随的に電磁妨害(EMI)を発生して電磁環境を悪化させることになる。

スイッチング電源は、現在ではパーソナル・コンピュータ等のデジタル機器の電源として広く用いられているが、将来はこの種EMIの防止対策の進歩により、アナログ機器の電源としても使用されることが予想される。現状においても、デジタル機器とアナログ機器が共存するシステムにおいては、このEMIによりシステムの正常動作が阻害されることが起きている。

元来、雑音はその性質が複雑多岐にわたるので、測定器、測定法によってその定量的測定値が異なるため、従来から各種の電気・電子機器から発するEMIについては、国際機関および各国の国内機関によって、それぞれ規格値、測定法が決められている。コンピュータは、その本

体に数MHzのクロックパルス、およびそれによる制御パルス等が存在し、電源部には数10KHzのスイッチングパルスが存在するので、最近ではコンピュータからの放射、ならびに伝導雑音が問題となって来ている。

コンピュータを始めとする、各種情報技術装置から発生するEMIについては、米国FCC(連邦通信委員会)は1981年から規制を実施し、西独VDE(電気技術者協会)では1952年から電子機器のEMIを規制している。CISPR(国際無線障害特別委員会)と我が国のJTTC(電気通信技術審議会)は、それぞれ1985年に妨害波の許容値および測定法の勧告、および答申を行った。従って、インパルスを含むあらゆる電気電子機器は、環境電磁工学¹⁾の立場から見直しを迫られる時期に来ていると言える。

筆者らは以前からのこの種の妨害雑音についての測定を行ってきたが、今回特にスイッチング電源に着目し、また5年間の妨害雑音の改善状況を知るために、1980年に購入した5V7台、12V9台と、1985年に購入した5V3台について、上記勧告による測定法に従って比較測定を行ったので報告する。

2. スイッチング電源

2.1 スイッチング電源の概要

一般に商用交流電源から一定の直流電圧を得る電源回路には、いわゆるドロップ方式とスイッチング方式がある。スイッチング電源の方式には大きく分けてチョップ方式とインバータ方式があるが、基本原理はほとんど同じである。図1にスイッチング電源の基本構成図を示す。図中、AC入力是一般に商用交流電源AC100V、又はAC200Vが入力される。一次整流平滑部ではこれを直接全波整流、平滑して直流入力電圧 V_{in} を得ている。チョップ方式では、普通シリーズ・レギュレータと同様トランスで降圧してから整流平滑する場合が多い。スイッチング電源は用途によりこのAC入力部がなく、直接直流電圧 V_{in} を入力する場合がある。入力されたDC電圧は、DC-DCコンバータ部中のインバータ部において、高周波パルスにより断続して交流に変換し、高周波トランスを介して一次、二次間を絶縁すると同時に、必要な電圧に降圧（又は昇圧）し、2次整流、平滑部で直流出力電圧 V_o に変換される。直流出力電圧 V_o は又、分圧された後、誤差増幅器により、基準電圧 V_r と比較され、ON、OFF制御回路によってインバータ部トランジスタのオン、オフ時間を制御するパルスとなる。

このパルスの幅、又は周波数により誤差電圧を最少にする様な負帰還ループとなっている。

2.2 スイッチング電源の回路方式

スイッチング電源の中心部分はDC-DCコンバータ部である。DC-DCコンバータ部には大別してチョップ方式とインバータ方式に分類出来る。それらは又、発振方式により、メインスイッチング部自身で発振を行う自励式と、別に発振器を有する他励式があるが、最近では、専用ICが多数市販されていることもあり、ほとんどが他励式をとっている。図2に最も代表的なDC-DCコンバータの方式を示す。

図2 a) は降圧形チョップ方式の原理図である。メインスイッチQ、メインスイッチQがOFF時にコイルLに蓄えられたエネルギーを放電するダイオードD、平滑

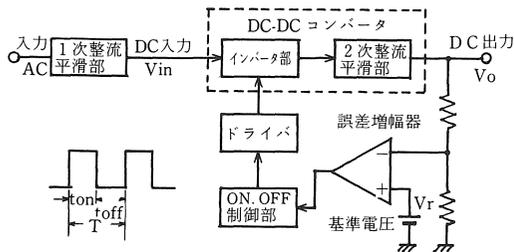
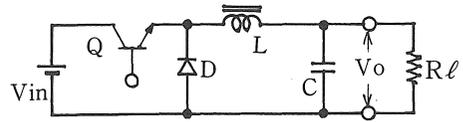
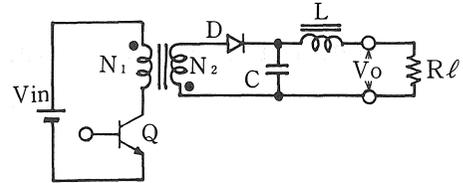


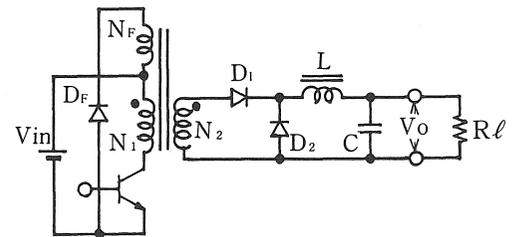
図1 スイッチング電源の基本構成



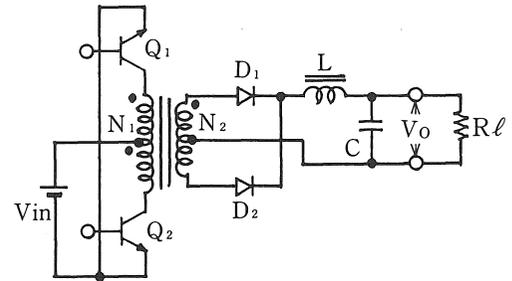
a) 降圧形チョップ方式



b) フライバック方式



c) フォワード方式



d) プッシュプル方式

図2 DC-DCコンバータの代表的な方式

作用をするコイルL、およびコンデンサCからなり、ON、OFF制御回路出力によってメインスイッチQがオン、オフし出力電圧 V_o を一定に保つ。この方式は構成が簡単であるが、入、出力間が絶縁出来ない欠点がある。

図2 b) はフライバック方式と呼ばれ、比較的小電力用に用いられる。メインスイッチQがオンの時（ダイオードDはオフ）にトランスの1次巻線 N_1 に蓄えられたエネルギーが、Qがオフ時にトランスの2次巻線 N_2 、ダイオードDを通して放電され、コンデンサCで平滑され直流出力 V_o となる。この方式は古くからテレビジョンの高圧発生回路としてよく用いられて来た。

図2 c) はフォワード方式の原理図である。

フライバック方式と似ているが、メインスイッチQが

オン時に2次側へエネルギーが伝送される点が異なる。メインスイッチQがオフ時に、 N_1 に蓄えられたエネルギーがコイル N_F 、ダイオード D_F を介して放電される。ダイオード D_1 はQがオン時に2次巻線 N_2 に発生した電圧を整流し、コイルLに加える。ダイオード D_2 はチョップ方式のダイオードDと同様に、ダイオード D_1 がオン時にコイルLに蓄えられたエネルギーを、 D_1 オフ時に放電し、コンデンサCで平滑し直流出力 V_o を得ている。フォワード方式は比較的構造が簡単であるため、小出力から大出力まで最も多く用いられている。本報告で用いたスイッチング電源も、旧、新形ともほとんどがこの方式であり、旧形(1980年購入)に対し新形(1985年購入)の方がICが多用されている点や部品点数がわずかに減っている点を除けば、ほとんど同じ構成である。

図2d)はプッシュプル方式の原理図で、メインスイッチ Q_1 、 Q_2 が交互にオン・オフし2次側へエネルギーを供給する方式である。このため Q_1 (Q_2)がオフ時に、 Q_2 (Q_1)がコイル N_1 に蓄えられたエネルギーを放電するためトランスを効率よく利用出来る。このため比較的大電力用として用いられている。この他にもいくつかの方式²⁾があるが省略する。

2.3 雑音発生機構と伝播経路

スイッチング電源は、パルス波形を用いてスイッチングを行うことにより、メイントランジスタの損失を減少させ、スイッチング周波数を高めることにより(通常20kHz~200kHz)、トランス、コイル、コンデンサの容量、サイズを減少させている。従って、さらに高周波化³⁾、小形軽量化が進行すると考えられている。しかし、スイッチ素子自身の損失は、主としてその波形の立上り、立下り時間に発生し、これらの時間と、スイッチング周波数に比例する。このため、効率を下げることなく、小形、軽量化のためスイッチング周波数を上げるためには、立上り、立下り時間を減少させねばならない。しかし立上

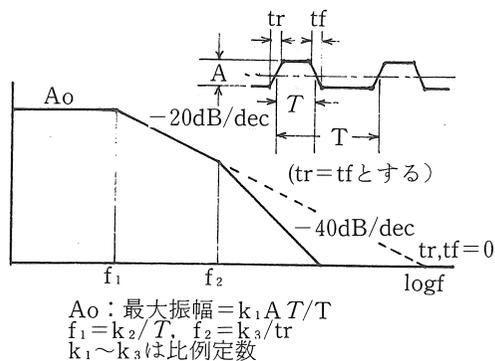
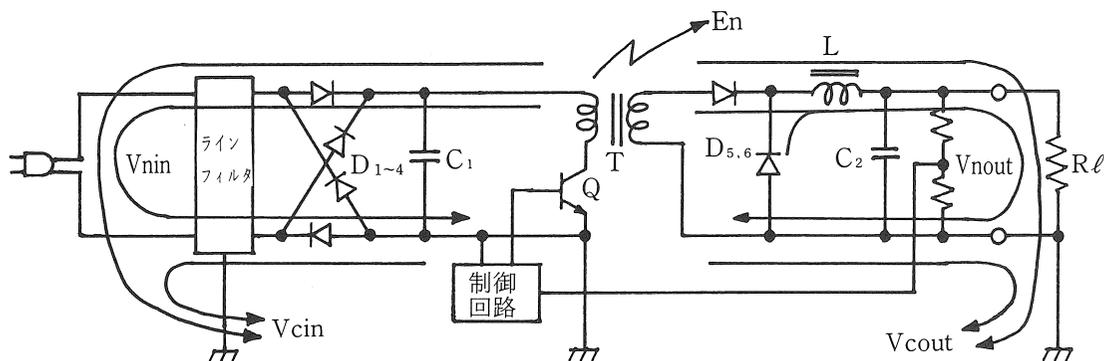


図3 台形波スペクトラム最大値包絡線

り、立下り時間が減少する程図3に示す様にその波形の高調波は増大し、電磁妨害の増大をまねく。この様に小形軽量化(即ち高周波化)と妨害波の発生は相反する問題である。

今図4に示す様な回路構成を考えると、前述の様なパルスによって駆動されるメインスイッチQのターンオフ時にはトランス等のインダクタンスによって過大な振動電圧が発生する。この電圧サージはトランスを介して直流出力側へ伝播し、また入力交流電源側へも伝播する。スイッチQのターンオン時には急激な電流の立上りによって大きな振動電流が流れ、これによりプリント基板のパターンやリード線のインダクタンス分、抵抗分に電圧降下を生じ、これが入力側、出力側への伝導雑音となり、又電磁界として空間への放射雑音となる。この他にダイオードDのターンオフ時には電荷蓄積効果による逆回復電流がパルス状に流れ、これも雑音源となる。これらの雑音源は静電誘導、電磁誘導によって複雑にからみあって妨害雑音となる。

この様に発生した雑音は正負2本のライン間に発生するノーマルモード雑音、正負2本のラインに共通に接地



Vc: コモンモード雑音, Vn: ノーマルモード雑音, En: 放射雑音

図4 雑音発生と伝播

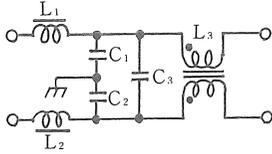


図5 ラインフィルタの例

回路へ流入するコモンモード雑音となって、交流入力ライン側に伝播する伝導雑音，電磁波となって放射する放射雑音，および出力端へ伝播する出力雑音（リップルノイズ）となる。

普通のスイッチングレギュレータではACライン側へ伝播する伝導雑音を抑圧するために、回路の入力部に必ずラインフィルタを挿入する。図5にラインフィルタの例を示す。L₁、L₂、C₃はノーマルモード雑音用，C₁、C₂、L₃はコモンモード雑音抑圧用である。L₁、L₂は使用しない場合もある。しかし、これらのフィルタによって伝導雑音を数10dB減衰させることは可能であるが、完全に除去することは困難である。

3. 電磁妨害の許容値と測定法

3.1 電磁妨害の許容値

スイッチング電源は電磁環境工学の面から見ると、いわゆる情報処理装置の中に分類され「情報装置から発生する妨害波の許容値，および測定法」は従来の一般電気機器からの妨害波（CIRPR Pub 14）とは別に細かく定められるようになった。代表的なものを上げると国際的には CISPR Pub 22 が，米国には FCC Part 15，西独には VDE 0871 などがある。日本でも1985年12月に電気通信技術審議会答申が出された。表1～6にこれらの電磁

表1 FCC 電源線伝導妨害の許容値

周波数範囲 (MHz)	伝導妨害電圧 (μV)	
	クラスA	クラスB
0.45～1.6	1000 (60)	250 (48)
1.6～30	3000 (69.5)	250 (40)

() は，dBμV

表2 FCC 妨害波電界強度の許容値

周波数範囲 (MHz)	妨害波電界強度 (μV/m)	
	クラスA 30mにおける許容値	クラスB 3mにおける許容値
30～88	30 (29.5)	100 (40)
88～216	50 (34)	150 (43.5)
216～1000	70 (36.9)	200 (46)

() は，dBμV/m

表3 VDE 電源線伝導妨害の許容値

周波数範囲 (MHz)	伝導妨害電圧 (dBμV)	
	クラスA	クラスB
0.01～0.15	91～69.5 ⁽¹⁾	79～57.5 ⁽¹⁾
0.15～5	66	54
5～30	60	48

⁽¹⁾ この周波数範囲で直線的に減少

表4 VDE 妨害波電界強度の許容値

周波数範囲 (MHz)	妨害波電界強度	
	クラスA 100mにおける許容値 (μV/m)	クラスB 3mにおける許容値 (dBμV/m)
0.01～1	50 (34)	91.5～51.5 ⁽¹⁾
1～30		51.5～40.7 ⁽¹⁾
30～41	500 (54)	10mにおける許容値 μV/m
41～68	30 (29.5)	
68～174	500 (54)	50 (34)
174～230	30 (29.5)	
230～470	500 (54)	10mにおける許容値
470～760	180 (45)	
760～1000	900～700(59.1～56.9 ⁽¹⁾)	100 (40)

() は dBμV/m, ⁽¹⁾ この周波数範囲で直線的に減少

表5 電気通信技術審議会答申電源線伝導妨害の許容値

周波数範囲 (MHz)	伝導妨害電圧 (dBμV)			
	第1種情報装置		第2種情報装置	
	準尖頭値	平均値	準尖頭値	平均値
0.15～0.5	79	66	66～56 ⁽¹⁾	56～46 ⁽¹⁾
0.5～5	73	60	56	46
5～30	73	60	60	50

⁽¹⁾ はその周波数範囲で直線的に減少

表6 電気通信技術審議会答申妨害波電界強度の許容値

周波数範囲 (MHz)	妨害波電界強度 (dBμV/m)	
	第1種情報装置 30mにおける許容値	第2種情報装置 10mにおける許容値
30～230	29.5	29.5
230～1000	36.5	36.5

妨害に対する許容値を示す。なお CISPR Pub 22 の数値は電気通信技術審議会答申の値と同様であるので省略した。表中第 1 種情報装置(FCC ではクラス A 計算用機器, VDE では許容値クラス A 機器とよぶ)は商業, 工業地域で使用される機器, 第 2 種情報装置(又はクラス B 機器)は住宅地域, 又はその隣接地域で使用される機器に対して適用されるものである。スイッチング電源はパーソナル・コンピュータ等に組み込まれて一般家庭でも使用されるので第 2 種情報装置の許容値を満足することが望ましい。日本では前記答申を受けて電子機械工業会等の 4 工業会が, 情報処理装置等電波障害自主規制協議会を発足させ 1986 年 6 月より自主規制をスタートしている。なお上記答申に対する経過措置とし第 1 種情報装置では 1987 年 12 月まで許容値 +10dB, 1987 年 12 月から 1989 年 12 月まで許容値 +4 dB の, 第 2 種情報装置では 1988 年 12 月まで許容値 +4 dB の緩和措置が設けられている。

3.2 電磁妨害の測定法

前述の許容値を満足するか否かを確認するため測定器, 測定法が定められている。伝導雑音の測定は電源端子妨害電圧として測定する。電源端子妨害電圧は妨害源に接続されている AC ケーブルを通して AC 電源線に伝播してくる妨害電圧を測定するものである。一般に AC 電源線のインピーダンスは個々に異っているため, これを一定化し, 妨害波成分のみを測定するための疑似電源回路網 (FCC では LISN, 電源線インピーダンス安定化回路網と呼ぶ) を妨害源の AC ケーブルと AC 電源線との間に接続し, 電源線の各線とアース間に存在する不平衡電圧を測定する。AC 電源側から測定系へ雑音が入る場合には, さらに低域通過フィルタを接続する。

疑似電源回路網の回路図を図 6 に示す。

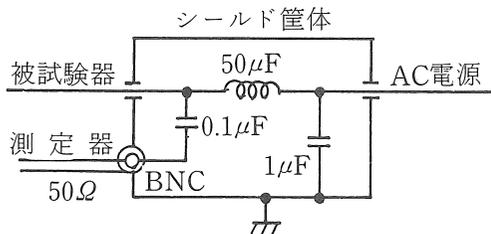


図 6 疑似電源回路網 (LISN)

FCC の電源線インピーダンス安定化回路網は図 6 の $0.1\mu\text{F}$ のコンデンサからアースへ $1,000\Omega$ の抵抗が存在するが, 測定値には実質的な差はない。実際の測定には図 7 に示す様に, シールドルーム内において, 被試験器 (妨害源) は接地金属面より 80cm 以上離し, 床面 (グラウンド・プレーン) 上 40cm の高さに設置し, 床面においた疑似電源回路網と 80cm 離す。被試験器と疑似電源回路

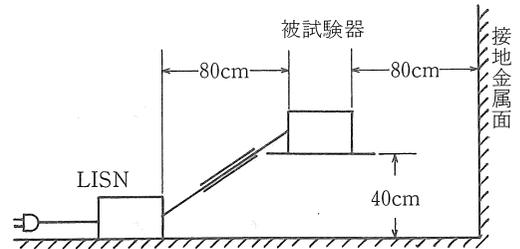


図 7 電源端子妨害電圧の測定

をつなぐ AC ケーブルは床面に接するなどのたわみをつけず, 途中 40cm で束ねる。疑似電源回路網と妨害波測定器は BNC 接栓を介した同軸ケーブル (50Ω) で接続する。妨害波測定器 (又は CISPR で定められた検波器を持つスペクトラムアナライザ) は時定数の定められた (周波数 $0.15\text{MHz}\sim 30\text{MHz}$ に対し充電 1ms , 放電 160ms) 準尖頭値 (QP 値) 検波器を有し, 通過帯域幅 (-6dB 帯域幅) が周波数 $0.15\text{MHz}\sim 30\text{MHz}$ に対し 9kHz , 指示計の機械時定数 160ms , 入力インピーダンス 50Ω のものを使用しなければならない。スペクトラムアナライザを使用する時には, 広帯域ノイズに対してミキサが飽和して正確な測定が出来なくなる場合があるので注意を要する。(FCC は使用を認めている)

放射雑音の測定は $30\text{MHz}\sim 1000\text{MHz}$ に対して電界強度を測定することになっており, 被試験器とアンテナを $3\text{m}\sim 30\text{m}$ の距離において, 外来ノイズの少ないオープンサイトで行うことになっているが, 最近ではサイトアッテネーションを確認した公認テストサイトで行う傾向にある⁹⁾。本実験でも放射雑音についてチェックしたがデータに不確定な点もあるので, 今後の課題として本報告から割愛した。

4. スwitchング電源の妨害波測定

4.1 伝導雑音の測定

まえがきにも述べた様に, 1980 年購入の 5V (10Amax) 7 台, 12V (4Amax) 9 台, 1985 年購入の 5V (10Amax) 3 台について, 前述した測定法に従って測定した。測定系はシールドルーム⁹⁾内において, 木製測定台においたスイッチング・レギュレータに疑似電源回路網を接続し, さらに AC 電源線側からのノーマルモード雑音の混入を防ぐために遮断周波数約 6.2kHz のローパスフィルタを挿入した。使用した測定器は, 疑似電源回路網は協立電子製 KNW-408, 妨害波測定器は同 KNM-402C であり, スペアは準尖頭値表示を備えたタケダ理研製 TR-4132 である。図 8 に測定回路を示す。電源端子妨害電圧の他に, 妨害電圧の波形を観測するために遮断周波数約 30kHz のハイパスフィルタを介したオシロスコ

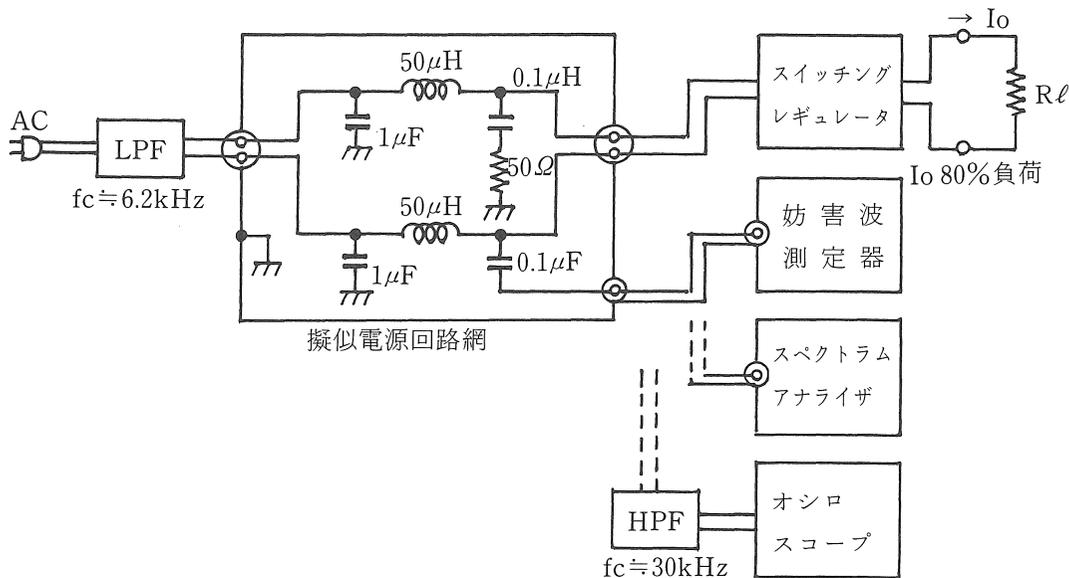
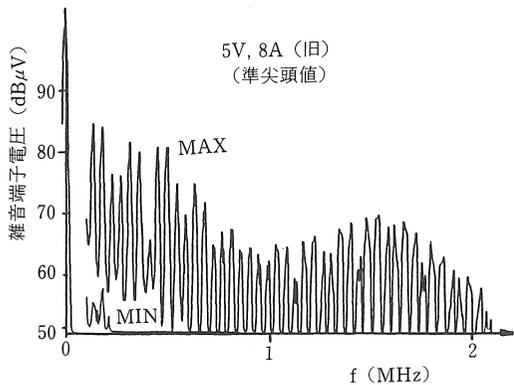


図 8 伝導雑音測定回路

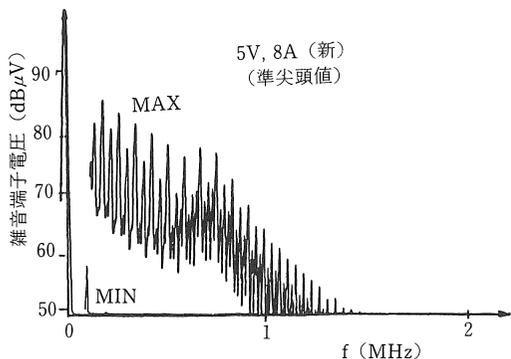
ープにより観測した。

4.2 伝導雑音の測定結果

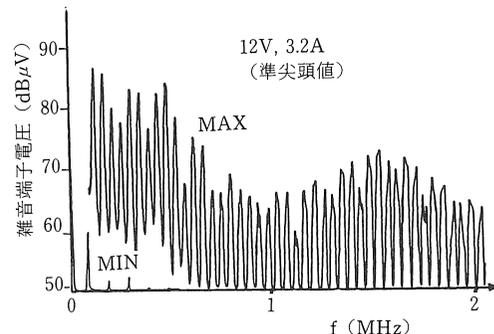
まず雑音スペクトラムの全体像を把握するためにスペ



a) 旧形, 準尖頭値雑音端子電圧



b) 新形, 準尖頭値雑音端子電圧新

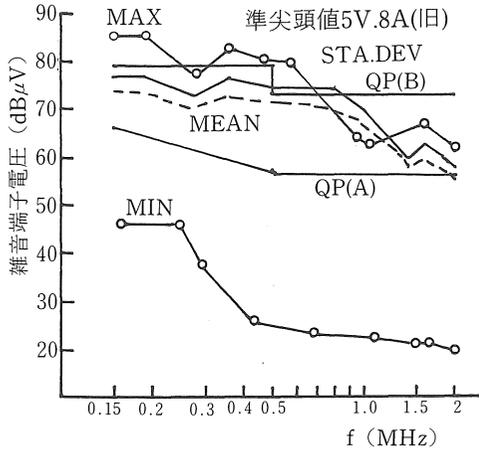


c) 12V電源, 準尖頭値雑音端子電圧

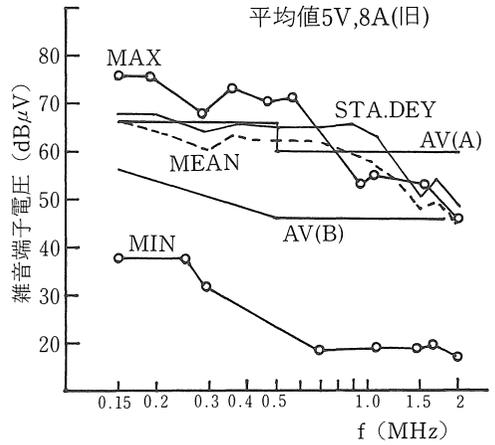
図 9 準先頭値検波器を持つスペアナによる伝導雑音スペクトラム

クトラムアナライザを用い、X-Yレコーダに描かせたものが図9 a) ~ c) である。図 9 a) は旧形 (1980年製) 5 V10Aのスイッチングレギュレータ 7機種 (メーカーはすべて異なる)中、雑音が最大のものと最少のもの、b) は新形 (1985年製) 5 V10A 3機種中最大、最小の雑音スペクトラムを示す。いずれも80%負荷の 8 Aを流した時の雑音である。図 9 c) は12V 4 Aのスイッチングレギュレータに80%負荷電流3.2Aを流した時の雑音スペクトラムである。

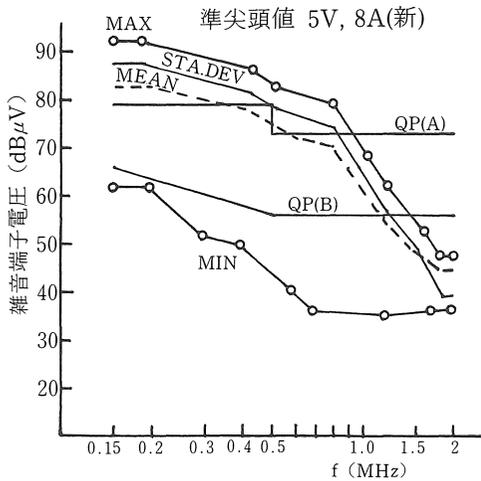
伝導雑音の測定は原則として妨害波測定器で測定することになっている (FCCではスペクトラムアナライザの使用を認めている) ので以後は妨害波測定器での測定結果を示す。伝導雑音は150kHz から30MHzまでを測定することになっているが、大きな雑音レベルを示すのは 2 MHz以下であるので、以下の結果は 2 MHz以下を



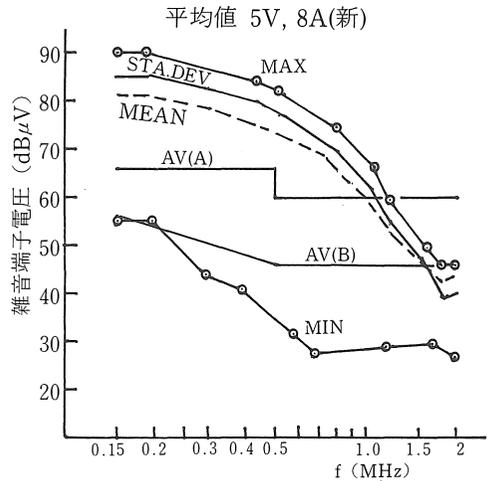
a) 旧形準尖頭値雑音端子電圧



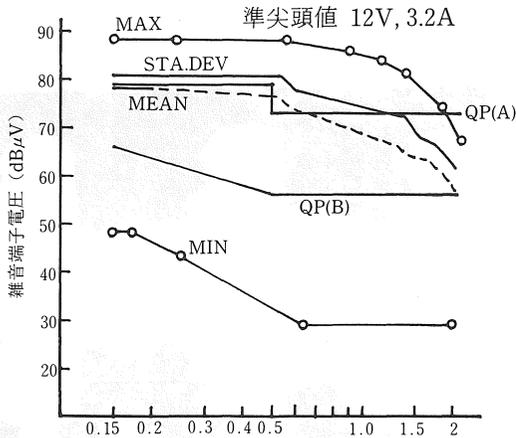
b) 旧形平均値雑音端子電圧



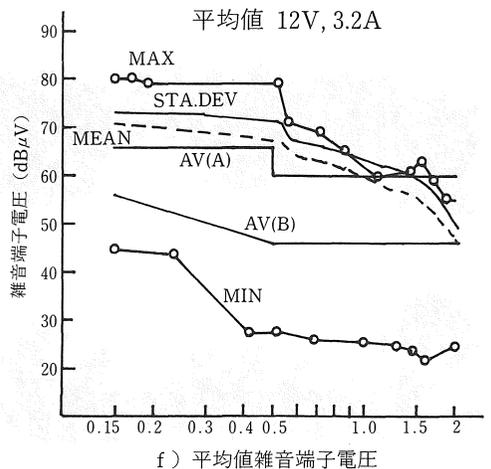
c) 新形準尖頭値雑音端子電圧



d) 新形平均値雑音端子電圧



e) 準尖頭値雑音端子電圧



f) 平均値雑音端子電圧

図10 伝導雑音の測定結果

MAX: 最大値, MIN: 最小値, QP(A): 準尖頭値第1種,
QP(B): 準尖頭値第2種, AV(A): 平均値第1種, AV(B): 平均値第2種,
MEAN: 平均, STA.DEV: 標準偏差

表7 伝導雑音測定結果のまとめ

方式	機 種 良さ f(MHZ)	5V 8A (台)						12V 3.2A ('80)(台)			計 (%)		
		旧 ('80)			新 ('85)								
		A	B	X	A	B	X	A	B	X	A	B	X
準尖頭値	0.15~0.5	1	4	2	0	2	1	3	3	3	21.0	47.4	31.6
	0.5~30	1	4	2	0	2	1	2	4	3	15.8	52.6	31.6
平均値	0.15~0.5	1	4	2	2	0	1	3	3	3	31.6	36.8	31.6
	0.5~30	1	4	2	1	1	1	2	4	3	21.0	47.4	31.6

(注) A：第一種情報装置の妨害波許容値は満足するが第2種情報装置の許容値は満足しない。

B：第二種情報装置の許容値を満足する。

X：第一種情報装置の許容値を満足しない。

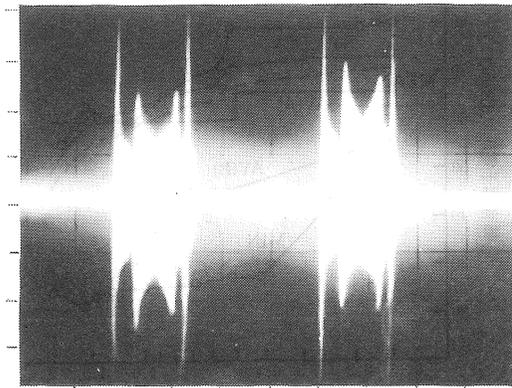
示す。図10a)~f)がそれぞれ5V旧, 新形及び12V電源の雑音端子電圧である。グラフ中には, 各スイッチングレギュレータ中の雑音最大のもの, 最少のもの, 平均値, および標準偏差を記入した。又, CISPRおよび電気通信技術審議会答申での, 第1種情報装置(クラスA), 第2種情報装置(クラスB)の許容値を比較のため記入した。

以上の結果から, スイッチングレギュレータの伝導雑音に関して, 各メーカー間に大きな差があることがわかる。その差は最大約50dBもあり, 偏差を見てもわかる通り, 各社のバラツキも極めて大きい。又, 新, 旧形の比較においては, 新形の方の台数が3台とサンプル数が極めて少いので, 簡単に結論づけることは出来ないが, 5年の時間差に対して, 雑音の面から言えば1機種のみで改善が見られ, 他は大きな進展は見られなかった。部品点数, サイズの点ではわずかに小形化(20%程度)が計

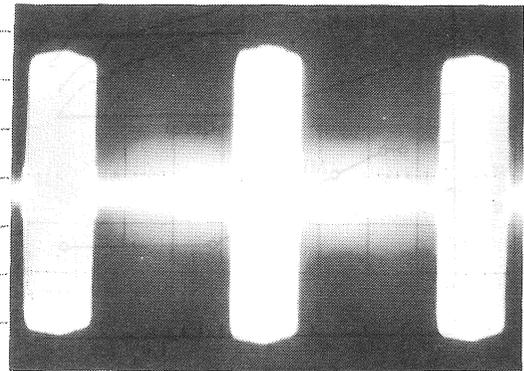
られている。

許容値に対する満足度であるが, グラフを見てもわかる様に, いずれの機種も, 各機種間の平均値が第1種(クラスA)の許容値と, 第2種(クラスB)の許容値の中間に位置しており, いずれも, いわゆる住宅地域ではなく高, 工業地域での使用にはそれ程問題はないものと思われる。

全機種の許容値に対する満足度を一覧表にしたものを表7に示す。この表から, 第2種の許容値を満足するものが約50%, 第1種の許容値を満足するものが約20%あるが, 第1種の許容値も満足しないものが約30%もある点は問題であり, 現在すでに多数普及しているパーソナル・コンピュータ等に組込まれているスイッチングレギュレータの雑音レベルも同様のものが使用されているであろうと考えられるので, 実装上の問題もあるが, 今後一層の改善が望まれる。



a) 5V,8A (旧) 伝導雑音波形の一例
(V: 10mV/DIV, H: 2ms/DIV)



b) 5V,8A (新) 伝導雑音波形の一例
(V: 50mV/DIV, H: 2ms/DIV)

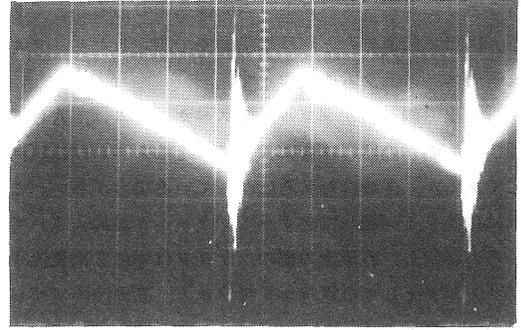
写真1 伝導雑音波形

4.3 伝導雑音の波形観測

図8の測定回路に示した様に、伝導雑音波形を観測した。AC電源線への伝導雑音は100V、60Hzの電圧に重ね合っているため遮断周波数約30kHzのバイパスフィルタを用いて低域をカットし、オシロスコープで観測した。スイッチングレギュレータからの伝導雑音は、普通、スイッチング周波数を持ったインパルス性ノイズが連続的に電源線側に伝播していると考えられるが、写真1に示す様に、スイッチング周波数を持つ振動波形が120Hzのトーン・バースト状となって現れている。これは、図1のスイッチングレギュレータの構成図に示した一次整流平滑回路が、ダイオード・ブリッジとコンデンサ・インプット形フィルタが用いられているためコンデンサへの充電が120Hzの間欠的な波形となり、この時だけダイオード・ブリッジのダイオードがオンとなり、直列インピーダンスが低下して、電源線側へスイッチングノイズが伝播してくるためと考えられる。このことは、雑音スペクトラムが極めて低い周波数まで広がっていることを意味する。又、ダイオードのオフ時には、相当量伝導雑音を抑制していることがわかる

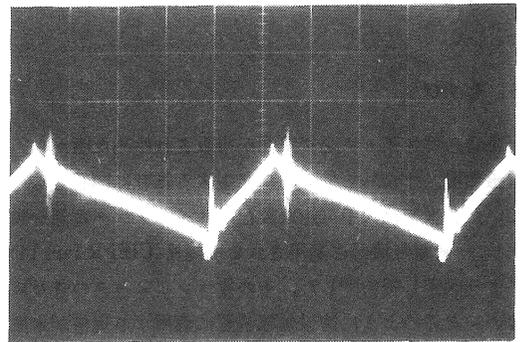
4.4 直流出力側への雑音

直流出力側へ現れる電圧波形は通常リップルと呼ばれているものであるが、雑音発生機構の所でも述べた様に、もともと動作原理上入る、いわゆるリップル成分以外に、メインスイッチQのオン、オフに伴う、プリントパターンやリード線のインダクタンス、線間浮遊容量、素子の電極間容量等の充放電や共振による振動が上記リップルに重ね合され、その振動のPeek to Peek電圧は無視できない程大きなものとなる。これらリップル雑音は、電磁環境の立場からの許容値というものとは定められていないが、直流電源としての直接的な性能にかかわるものである点、今まで述べて来た電源線への伝導雑音や、空間への放射雑音とは多少意味が異なる。直流電源の負荷は一般に電子回路であり、リップル雑音は負荷電子回路の信号に直接影響を与える。特に負荷側がアナログ信号を取扱っている場合には極めて大きな問題となる。普通デジタル信号を取扱っている場合が大半であるが、デジタル信号の場合には誤動作の原因となる。リップル雑音もまた放射雑音として、あるいは信号ケーブル、直流電源ケーブルを介しての伝導雑音として他の機器に妨害を与える可能性がある。リップル雑音は通常時間領域での電圧波形として扱った方が理解しやすい。写真2に今回測定したスイッチングレギュレータの中から代表的な波形を示した。又、リップル雑音の振幅(P-P値)は最大1000mV、最少50mV、平均388mV、標準偏差249mVであった。



a) 5V,8A (新) リップル雑音波形の一例

(V : 100mV/DIV, H : 2 μ s/DIV)



b) 12V,3.2A リップル雑音波形の一例

(V : 100mV/DIV, H : 2 μ s/DIV)

写真2 出力リップル雑音波形

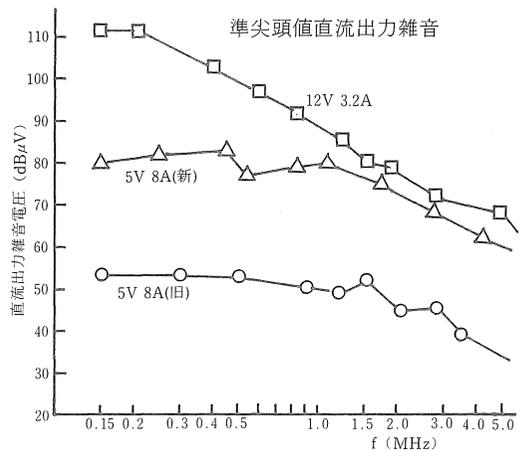


図11 同一メーカー機種別直流出力雑音電圧

しかしスイッチングレギュレータのリップル雑音はシリーズレギュレータのリップルと異り、極めて広い周波数スペクトラムを持つので、そのスペクトラムを測定す

ることは伝導雑音スペクトラム同様意味のあることである。図11に伝導雑音と同様準尖頭値で測定したリップル雑音のスペクトラムの例を示す。

直流出力側へのリップル雑音スペクトラムは、AC電源ライン側への伝導雑音に較べて、そのレベルはほぼ同じであるが、帯域はむしろ広がっている場合が多い。これは電源ライン側へは必ずラインフィルタが挿入されているのに対し、直流出力側のフィルタは単に2次整流平滑フィルタとしての電解コンデンサと、高周波のバイパスのためのセラミックコンデンサのみが挿入されている場合が多いためであると考えられる。

なおリップル雑音電圧のP-P値と雑音スペクトラムの大きさとの相関は基本波成分以外はほとんどなかった。

5. むすび

筆者らはスイッチング電源が市販され始めた頃から、電磁環境、すなわち付随的に発生する雑音に関心をもっていた。当初は入手可能な数社のスイッチング電源を購入し、一般電気機器に適用される旧規格(CISPR Pub 14)により測定し報告⁷⁾した。その後コンピュータの普及に伴い、上述のように情報処理装置に適用する規格が米国FCC、西独VDEにより決定され、国際機関CISPRも新しい規格を勧告した。

わが国においてもJTTC規格が答申され、電子機械工業会においても自主規制規格VCCIがきめられ、さらに最近機械安全化・無公害化委員会(通産省)が電波障害問題としてスイッチング電源、電子計測器等を取上げると聞いている。

今回筆者の一人である中国研究員が当研究室に滞在するに当り、新しい立場からスイッチング電源を再調査実験⁹⁾した。各機器の回路図等についてはメーカーからの提供が得られなかったため、回路解析等はできなかったが電磁環境という立場からのデータはとることができた。

供試器の殆んどが5年以上以前に製造されたもので、意外に大きい測定値のものもあったがあく迄単体として

のデータであり、装置に組み込んだとき、さらにフィルタ挿入等の対策を施したときには相当の改善が期待でき、またそのようなデータも得られている¹⁰⁾¹¹⁾。新旧比較については供試器3台のうち1台は大幅に改善⁹⁾されているので、今後の規制の動向により電磁環境の立場からの性能の向上が期待できる。

参考文献

- 1) 吉田：環境電磁工学—現状と課題，テレビジョン学会誌，38(5)，434-439，1984
- 2) 田畑：スイッチング電源の原理，電子技術，27(2)，26-35，1985
- 3) 原田：電源技術の現状と将来，電子技術，28(5)，2-9，1986
- 4) 川名：オープンサイトの考え方とサイトアッテネーションの測定法，電子技術，27(10)，33-40，1985
- 5) 吉田：本学に設置した電磁障害測定装置の性能について，愛工大研究報告16-B，11-20，1981
- 6) 鄧，紫藤，吉田：雑音測定用擬似電源回路網に関する比較実験について，昭60電気関係学会東海支部連大，341，1985
- 7) 山田，宇佐美，吉田：CISPR法によるスイッチングレギュレータの雑音測定，昭56電気関係学会東海支部連大，350，1981
- 8) 吉田：スイッチングレギュレータの妨害波(電源側への漏れ雑音)の測定，昭57電気関係学会東海支部連大，370，1982
- 9) 鄧，吉田：市販スイッチング電源の妨害雑音について，昭61電気関係学会東海支部連大，415，1986
- 10) 河村，吉田：パーソナルコンピュータの放射雑音対策の一例，昭59電気関係学会東海支部連大，360，1984
- 11) 吉田：パーソナルコンピュータ放射雑音のシールドルーム内での比較測定について，昭60電気関係学会東海支部連大，S41-S44，1985

(受理 昭和62年1月25日)