

リオン UC - 29 専用音圧計測アンプの試作

2019年09月08日

河野俊彦

1、はじめに

リオンの高周波数帯域測定マイクロフォン UC - 29 用の音圧計測アンプの試作を行ったので報告する。

事の始まりは、昨年の秋口に表題のリオン UC - 29 コンデンサーマイクロフォンをオークションで落札入手した事からである。入手した物はマイクロフォンユニット本体 UC - 29、1 / 4 インチ、1 / 2 インチ変換アダプタ UA - 12、マイクロフォンプリアンプ NH - 05 A 及び、10m 延長ケーブル EC - 04 B である。

此処まで揃うと、後は音圧計測アンプを手に入れるだけである。当初、レンタルバック品を当たって見たが、中古でも非常に高価でおいそれと手が出る代物では無い事が判った。

次にオークションで調べて見ても矢張り特殊な用途である為か過去の出品例を見ても殆ど無い様で当然ながら出品中の物は見当たらず無かった。

結局の処、オークション頼みでは何時入手出来るも分からないので、自分で作る事にした次第である。

2、音圧計測アンプの設計

2 - 1)、UC - 29、UA - 12、NH05A の仕様

プリアンプ		マイクロホン	
型番	NH-05A	型番	UC-29
対応マイクロホン	UC-29 ¹⁾ UC-28/31/33P	対応プリアンプ	NH-05A (Imp. 12kΩ)
口径	100φ (40φ ²⁾)	口径	10φ (4φ)
システム・モード	10	構造	電機
入力端子	0.5	最大実効音圧レベル (dB)	26~130 (20Hz)
出力端子	0.5	マイク電圧 (V)	200
最大実効音圧レベル (dB)	10~100 (20Hz)	最大レベル (dB) (re 1Pa)	-47
バイアス電圧	200	許容電圧 (V)	5
電圧	2500 (1000~2000) 31A (1000)	最大実効音圧レベル (dB) (20Hz)	164 ³⁾
最大実効音圧レベル (dB)	42 (100~200)	小信号時に適用される (dB)	42
システム・モード	100 (4T)	温度変化係数 (1/°C)	-0.01
ケーブル	100φ (40φ) (100φ)	材質	ステン
		重量 (g)	約 7.5 (10g)

(FIG1) に UC - 29、UA - 12、NH05A のカタログスペックを示す。

此より、マイクとプリアンプ、1 / 4 - 1 / 2 インチ変換器を総合した感度は - 47 . 5 dB (re 1 V / Pa) である事が判る。

1 V / Pa は 94 dB (SPL) に相当するので、このマイクロフォンシステムは、94 dB (SPL)、注1) の音圧を受けた時に - 47 . 5 dB V (4 . 22 mV) の出力電圧を発生する事になる。

次に測定周波数範囲 Fw は Fw: 10 Hz ~ 100 KHz である。

マイクロフォンの成極バイアス電圧 + Vb は + Vb = + 200 V である。

後、表には無いがプリアンプの供給電圧は ± 12 V ~ ± 35 V である。

(注1) 音響計測では音圧の実効値を 20 μ Pa を基準に 0 dB SPL と規定するので

$$dB SPL = 20 \log(P / P_0) \quad (P_0 = 20 \mu Pa) \text{ で表される。}$$

従って、1 Pa = 20 log(1 / 20 μ) = 94 dB (SPL) である。

(FIG1) 中の、A 特性とは聴感補正 A の事で IEC - A_{net} と表示される。

本稿では A_{net} と表記する。

2 - 2)、音圧計測アンプに要求される仕様

、音圧計測アンプの利得

音圧計測アンプの利得 A_m を、 $A_m = 41.5 \text{ dB}$ ($F = 1 \text{ KHz}$)とする。

(計測アンプの利得は最終的にはマイク添付の個別校正表の値で修正する必要がある。)

計測用マイクロフォン UC - 29 に 1 Pa ($= 94 \text{ dB (SPL)}$) の音圧が加えられた時、表示計器の指示が -6 dBV になる様に音圧計測アンプの利得を決めると市販の電圧計で表示を代用する事が出来る。即ち、 $2 \text{ Pa} = 100 \text{ dB (SPL)}$ は電圧計の指示が 0 dBV となり、 0 dBV ($= 1 \text{ V}$ フルスケール、 F_s) の電圧計は 100 dB (SPL) フルスケール (F_s) の音圧計として代用出来る。

電圧計は感度を 10 dB ステップで切り替える事が出来るので、 $+10 \text{ dBV} = 110 \text{ dB SPL}$ 、 $0 \text{ dBV} = 100 \text{ dB SPL}$ 、 $-10 \text{ dBV} = 90 \text{ dB SPL}$ の様に簡易音圧計として使用出来る。

(FIG 1) より UC - 29 は 1 Pa の音圧を加えられると、UA - 12、NH05A の挿入損失を加えて $V_s = -47.5 \text{ dBV}$ の信号電圧を発生するので、計測アンプは此の V_s を -6 dBV まで増幅してやれば良い事になる。従って、アンプの利得は $A_m = 41.5 \text{ dB}$ となる。

、周波数特性

周波数特性 $F_w = 10 \text{ Hz} \sim 100 \text{ KHz}$: $A_m = 41.5 \text{ dB} \pm 0.3 \text{ dB}$ 以内とする。

$F_c = 400 \text{ kHz}$ で $A_m = -3 \text{ dB}$ ($F > 500 \text{ kHz}$ では急激に減衰させる事)

(FIG 1) よりマイクロフォン UC - 29 の測定周波数範囲が $F_w = 10 \text{ Hz} \sim 100 \text{ kHz}$ であるので此に影響を及ぼさない様に、 F_w の範囲で計測アンプの周波数特性偏差を $\pm 0.3 \text{ dB}$ 以内に納めれば良い。唯、 $F = 500 \text{ kHz}$ では AM ラジオの電波妨害を受けない様に減衰させる必要があるので、 $F_c = 300 \text{ kHz}$ の 3 次バターワース LPF をを目標に周波数特性の設計をする事にした。

、残留ノイズ特性

計測用アンプの残留ノイズ $V_n = -60 \text{ dBV (A}_{net})$ とする。

入力換算値 $V_n(\text{in}) = -102 \text{ dBV (A}_{net})$ 、($-2 \text{ dB (SPL, A)} = 1.6 \mu \text{ Pa}$)

(FIG 1) より計測用マイクロフォン UC - 29 の A 特性自己雑音レベルは $V_n = 42 \text{ dB (SPL)}$ があるので計測アンプの残留ノイズは此より -20 dB 位低ければ十分実用になるが、他のもっとノイズの少ないマイクロフォンを使用する場合を考えて、UC - 31 の $V_n = 26 \text{ dB (A)}$ 、暗騒音測定用の UC - 27 の $V_n = 12 \text{ dB (A)}$ 、等の自己雑音レベルを考慮して上記の様な残留ノイズ仕様とした。

、最大出力電圧特性

最大出力電圧 $V_{o \text{ max}} = 7.0 \text{ V}$ ($+16.9 \text{ dBV} = 116.9 \text{ dB (SPL)}$) とする。

計測アンプはリオンの UC - 29 マイクロフォン使用時に 100 dB (SPL) の音圧でアンプを受けた時にアンプの出力が 0 dBV になる様に利得を設定してある。

、最大入力音圧

+ 136.9 dB (SPL): 入力に20 dBの減衰器挿入

+ 126.9 dB (SPL): 入力に10 dB減衰器挿入

+ 116.9 dB (SPL): 入力に減衰器無し(直結)

マイクロフォンUC - 29の最大入力音圧レベルは164 dB (SPL)となっているのもっと大きい音圧を受ける事も出来るが実用上+ 136.9 dB (SPL)で十分であると考えた。

、偏極(バイアス)電圧

偏極(バイアス)電圧: + DC 200V ± 0.5Vとする。

リオンコンデンサマイクロフォンのバイアス電圧仕様より+ DC 200Vとした。

、マイクロフォンプリアンプ電源

プリアンプ電源: ± DC 12Vとする。

最近のリオン製音圧計測アンプのカタログで採用されている電圧をを参考に供給電圧を決めた。マイクロフォンプリアンプの後続の計測アンプの供給電圧では本機に使用する手持ちの電源トランスの電圧仕様からDC ± 15Vとする。電源トランスを新たに作るのであれば使用するOPアンプの電圧に合わせてもっと高い電圧(DC ± 20V以上)に設定した方が良い。

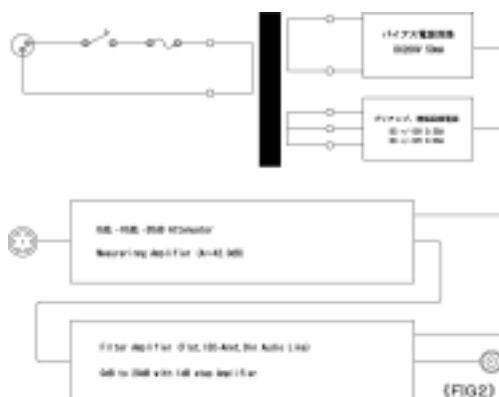
、内蔵フィルター

IEC - Anet Filter

Audio Filter (F_{hp} 20 Hz, F_{lp} 20 kHz, 3 ord - ButterWorth Filter)

騒音測定用にIEC - Anet(聴感補正A型)、Din - Audio Filterに準じた帯域制限フィルター(F_{hp} 20 Hz、F_{lp} 20 kHz、3次バターワースフィルター)を搭載する事にした。

3、回路設計



(FIG 2) にブロック図を示す。

3 - 1)、電源回路

、DC 200V バイアス電源

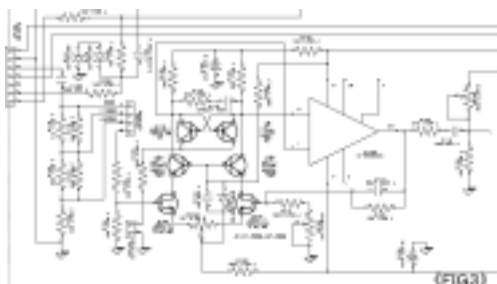
使用した電源トランスは某放送局用ミキサーに使われていた物で薄型Rコアの漏洩磁束が非常に少ない仕様の物である。全世界仕向けの電源トランス仕様でAC 100V回路を2回路持っていた。1回路はAC 100V電源入力に、残りの回路はバイアス電源として倍電圧両波整流してDC 255Vを得た。

此を定電圧安定化電源回路(AVR)を介してバイアス電圧DC + 200Vを得た。フォールドバック型の電流リミッタを搭載して、不意の短絡事故への保護対策とした。

、プリアンプ、増幅回路電源

ブリッジダイオードを両極センタータップ両波整流に使い \pm DC電源とした。この出力を三端子安定化電源ICと組み合わせて計測アンプの電源 ± 1.5 V、次に ± 1.5 Vに三端子安定化電源ICを介してマイクロフォンプリアンプ(FETバッファ)の電源 ± 1.2 Vを作った。

3 - 2)、計測アンプの設計



(FIG3)に計測アンプの回路図を示す。

計測アンプの入力部には -10 dB、 -20 dBの減衰器が設置され必要に応じて許容入力が増加を図る事が出来る様にした。

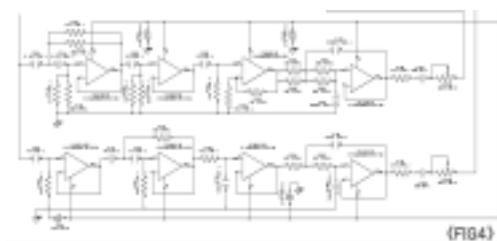
組み合わせるマイクロフォンUC-29の周波数特性に影響を与えない様に、ハイゲイン、広帯域周波数計測アンプを実現する為にOPアンプNE5534の

前段にローノイズ、ハイgmのFET差動アンプを追加して $F_c = 300$ kHz、 $A = 42$ dBの計測アンプを作った。

周波数 $F = 300$ kHzの帯域ではAMラジオ帯の電波の妨害を受けない様にローパスフィルタ(LPF)特性を持つ様に設計をした。

FET差動アンプとNE5534を組み合わせるとDCオープンゲインは $A_o = 140$ dB位有る事になる。NE5534は内部にフィードフォワード補償回路を持っており単体での使用時には仕上がりゲインが $A_{nf} = 3$ (10 dB)では動作が不安定になるので、仕様書では $A_{nf} = 10$ dB以上で使用する様に推奨されているが、之に約 40 dBのゲインが有るFET差動アンプを組み合わせる事で $A = 42$ dBの計測アンプに仕上げるにはNFB回路設計の腕の見せ処である。

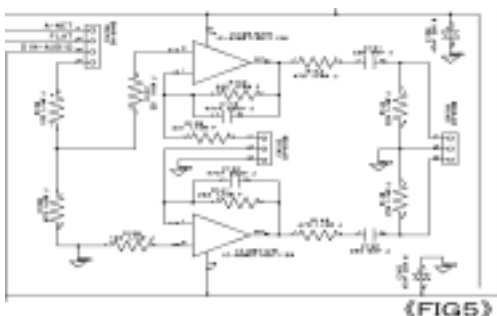
3 - 3)、フィルタ回路



(FIG4)にフィルタ回路図を示す。

フィルタ回路は聴感補正用Anetフィルタと帯域制限フィルタとして $F_w = 20$ Hz ~ 20 kHzの3次バターワースフィルタを搭載した。

3 - 4)、出力回路

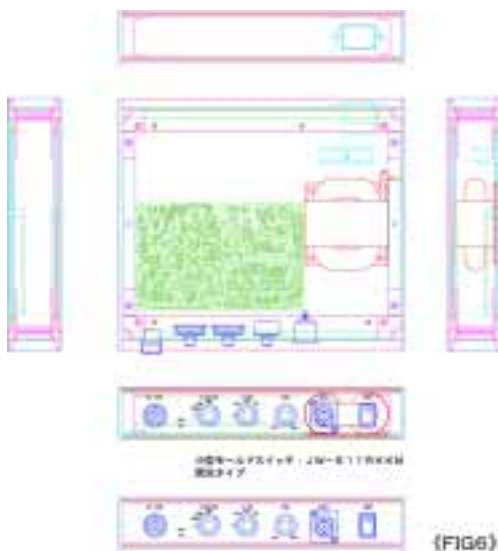


(FIG5)に出力回路図を示す。

フィルタ出力は 1 dBステップでゲインを増加出来る $0 \sim 20$ dB正相アンプ及び 0 dB反転アンプを介して出力される。

出力端子がBNCの場合は+出力、キャノンコネクタの場合は \pm バランス出力とする。

4、機構設計



(FIG6)に機構検討図を示す。

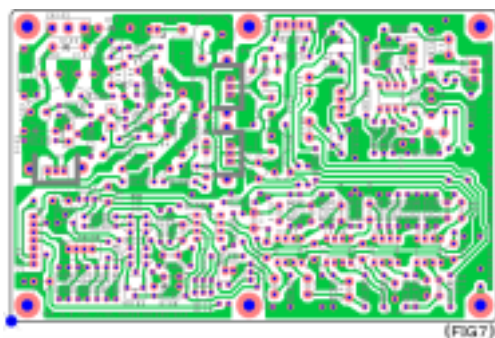
ケースは手持ち在庫の中から(株)タカチ電機製作所のOSシリーズのアルミサッシケースを使用して作った。

電源トランスはリーケージフラックスの少ないRコアトランスを用いたが、マイクインレットから出来るだけ距離が取れ、フラックスがプリント基板のパターンと交差しない様に配置した。

入出力コネクタ、スイッチ類とプリント基板のコネクタは配線が極力短くなる様に配置した。

部品は手持ち部品を優先的に使う事で設計をしたが、新たに部品を入手するので有ればプリント基板に直付けした方が良い様に思う。

5、プリント基板設計



(FIG7)にプリント基板図を示す。

プリント基板は片面1枚基板として設計する事で配線作業を簡略化した。

試作基板が1枚だけの為、基板彫刻加工機でルータ加工して作る事にした。

例によって徳島県工業技術センターの設備を借わせて貰う事にした。

基板外形寸法は152mm×98mmである。

6、基板組み立て



(FIG8)に完成基板写真を示す。

キャパシタは太陽通信、ニッセイコンデンサで共に誤差を選別して使用した。

キャパシタの外皮が水色の物である。

抵抗類は入力の減衰器、出力アンプの1dBステップゲインコントローラ、NFB抵抗が誤差1%の金属皮膜抵抗、その他の抵抗は電力抵抗は酸化金属皮膜抵抗、残りはR25カーボン抵抗である。

プリント基板とパネルの部品の接続は日圧のXHコネクタを使用した。

7、出力アンプ利得可変スイッチの改造



(FIG9)に出力アンプの利得可変スイッチのウエハー基板を示す。

東京光音(株)のP2511型スイッチ式デントポリウム(VR)の抵抗を交換して改造試作した物である。

21デントあるので1dBステップとすると利得は0dB～+20dBまで可変出来る。

A (dB)	A (Li)	Rf/Rk	Rk Q	R (diff)	Rk (R24)	A (Li)	A (dB)
20	10.0	9.0	244	244	240	10.16	20.14
19	8.91	7.91	278	34	33	9.06	19.14
18	7.94	6.94	317	39	39	8.05	18.11
17	7.08	6.08	361	44	43	7.19	17.14
16	6.31	5.31	414	53	51	6.42	16.15
15	5.62	4.62	476	62	62	5.70	15.12
14	5.01	4.01	549	73	75	5.05	14.07
13	4.47	3.47	634	85	82	4.52	13.10
12	3.98	2.98	738	104	100	4.03	12.11
11	3.55	2.55	862	124	120	3.60	11.13
10	3.16	2.16	1018	156	150	3.21	10.13
9	2.82	1.82	1209	191	200	2.84	9.07
8	2.51	1.51	1457	248	240	2.53	8.07
7	2.24	1.24	1774	317	330	2.25	7.03
6	2.0	1.0	2200	426	430	2.00	6.03
5	1.78	0.78	2821	621	620	1.78	5.02
4	1.59	0.59	3729	908	910	1.59	4.03
3	1.41	0.41	5366	1637	1.6k	1.41	3.00
2	1.26	0.26	8462	3097	3.0k	1.26	2.04
1	1.12	0.12	18333	9781	9781	1.12	0.985
0	1	0	1Meg	1Meg	1Meg	1.002	0.19

A=1+Rf/Rk 240Ωを外付けにして、CW側から詰めて配置する事

(表1)

出力アンプの帰還抵抗 $R_f = 2.2k$ とするとデテントVRの各定抗値は左表(表1)の R_k (R_{24}) に示す様な値になる。

1番目の抵抗値240の抵抗を外付けにして、その他の抵抗はウエハー基板上に配置する。

利得誤差は最大+0.19dBとなりオフセットを+0.1dBとすると誤差は±0.1dB以内で概ね良好であると云える。

此のオフセット分は全体利得の調整の時に補正し吸収すれば良い。

8、組み立て作業

8-1)、コネクタ配線図



リオンの計測用コンデンサマイクロフォンのコネクタは多治見無線電機製の7ピンコネクタを使用しているので接続図を(FIG10)に示す。

コネクタの型番は図中の説明文をを参照されたい。

多治見のコネクタは直半田付け、プリント基板側は日圧のXHコネクタを使用した。

マイクロフォンの偏極バイアス電圧+30V、+60Vは使用しないので省略した。

8-2)、総組配線作業



組み立て完了写真を(FIG11)に示す。

ケースのアルミパーツに取付孔を加工後、手製のフロントパネルを貼り付けて、ケースを組み立てる。

フロントパネルは厚手の写真印刷用光沢紙にプリンタで印刷しクリアコート塗装で仕上げた。

プリント基板、電源トランスを取り付けた後、配線はAC1次ライン周り、2次トランス周り、入力コネクタ、減衰器スイッチ、フィルタ切り替えスイッチ、ポリウム周りの順で作業する。

作業完了後、目視検査をして配線間違いが無い事を確認しておく。

作業完了後、目視検査をして配線間違い

9、通電チェックと調整作業

9 - 1)、通電チェック

まず、目視検査を行ってプリント基板上のダイオード、ケミコン、トランジスタ、ICの取付に間違いが無いことを確認する。極性が有る部品は特に注意して検査する。

次にフューズホルダに125V0.5Aのフューズを挿し、トランスの2次側DC出力にデジタル電圧計を接続し、AC1次入力にAC電圧計を接続し、電圧を絞ったスライダック介挿して商用電源に接続する。

まず、スライダックで徐々に電圧を上げて2次DC電圧の極性に異常が無い事を確認する。

問題無ければ、スライダックの電圧をAC100V迄上げてDC+200VAVRの入出力電圧、3端子レギュレータの入出力を測定して設計通りの電圧が出ている事を確認する。

AC1次巻き線電圧	: AC100V (入力電圧)
ACバイアス巻き線電圧	: AC100V
AC2次巻き線電圧 (CT付き)	: AC34.9V (CT付き)
DCバイアス整流出力電圧	: DC241V
DC2次巻き線整流出力電圧	: DC43.4V (CT付き)
DCバイアスAVR出力電圧	: DC200V
DC±15V-AVR出力電圧	: ±15V
DC±12V-AVR出力電圧	: DC±12V

(表2)

(表2)に各部電圧を示す。

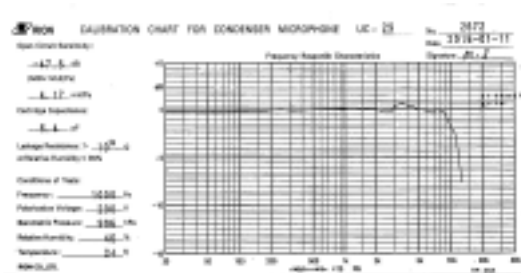
AC電圧の誤差は±5%以内、DC電圧の誤差はDC200Vは電圧調整後±0.5V以内、3端子レギュレータの出力電圧は±0.3V以内であれば良い。

9 - 2)、調整作業

、DC200Vの電圧調整

電源の出力チェックピンにデジタルマルチメータを接続し、VR101半固定抵抗を可変して正確にDC200V±0.5Vに合わせる。

、計測アンプの利得、DCオフセットの調整



(FIG12)

(FIG12)にリオン計測マイクユニットUC-29の校正データを示す。

マイクの感度は1V/Paの音圧が掛かった時にVs = -47.6dBである。1/4、1/2インチ変換ユニットUA-12、プリアンプNH-05Aの損失が0.5dB有るので此を加えるとマイクの感度はVs = -48.1dB(0dB = 1V/1pa)となる。

1Pa = 94dB(SPL)で有るので、指示計器の表示を1V = 100dB(SPL) = 0dBVに設定すれば94dB(SPL)はV = -6.0dBVとなるので、計測アンプの利得A = 42.1dBとなる。

計測アンプの入力コネクタ(多治見)のB(Gnd)端子、C(Sig)端子に発振器からF = 1kHz、Vi = -48.1dBVの正弦波信号を入力し、OPアンプNE534の出力にAC電圧計を接続してVo = -6.0dBVの電圧が得られる様に計測アンプ部の利得調整用半固定抵抗VR103を調整する。

次に同じ出力ポイントにデジタルマルチメータを接続し、FET差動アンプのカソードのVR102を調整してDCオフセット電圧を±20mV以内に調整する。

、フィルター出力電圧の調整

入力はと同じ条件で、出力のBNC端子にAC電圧計を接続し、フロントパネルのレベルVRはCCW側に廻し切って置き、フィルター切り替えスイッチを切替えて、Flat、Anet、Dinの出力が同じレベル(-6dBV)になる様にVR104、VR105、VR106を調整する。調整が終われば切り替えスイッチをFlatポジションにしておく。

、入力減衰器の調整

入力減衰器スイッチを0dBのポジションにして周波数 $f = 1\text{kHz}$ 、 100kHz 、 200kHz 、 300kHz での出力レベルを測定し此を基準レベル(0dB Ref)とする。

次に、減衰器スイッチ10dB、20dBポジションで同様の測定を行い、各周波数での減衰量の偏差を測定して周波数特性が出来るだけフラットになる様に、入力減衰器受け側抵抗(R124)に小容量キャパシタ(FEコン)をパラ付けしてカットアンドトライで調整する。

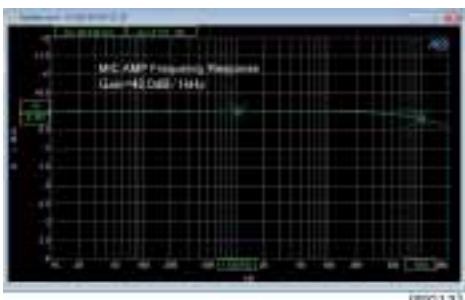
10、測定データ

10 - 1)、基本特性

- a)、消費電力 $P_c = 4.5\text{W}$ 、(AC102.9V、 $f = 60\text{Hz}$)
- b)、利得 $A = 42.0\text{dB} \sim 62.0\text{dB}$ ($F = 1\text{kHz}$)
- c)、残留ノイズ $V_{nf} = -65.2\text{dBV}$ ($A = 42.0\text{dB}$) (Flat)
 $V_{na} = -74.4\text{dBV}$ ($A = 42.0\text{dB}$) (A-net))
- d)、入力換算ノイズ $V_{nf} = -107.2\text{dBV}$ ($A = 42.0\text{dB}$) (Flat)
 $V_{na} = -116.4\text{dBV}$ ($A = 42.0\text{dB}$) (A-net))

10 - 2)、周波数特性 (Filter: Flat)

a)、1 (ATT = 0dB、出力アンプA = 0dB、フィルター: Flat)の周波数特性

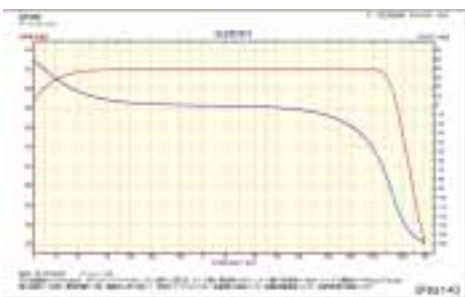


《FIG 13》に1の周波数特性を示す。

グラフから分かる様に周波数 $F = 1\text{kHz}$ の時の利得は $A = 42.0\text{dB}$ である。

次に高域周波数は $F = 100\text{kHz}$ での周波数偏差は $Dif = -0.2\text{dB}$ でありマイクロフォンの測定結果に影響を与える事は無い良好な値と考えられる。

b)、1 - A (ATT = 0dB、出力アンプA = 0dB、フィルター: Flat)の広帯域周波数特性



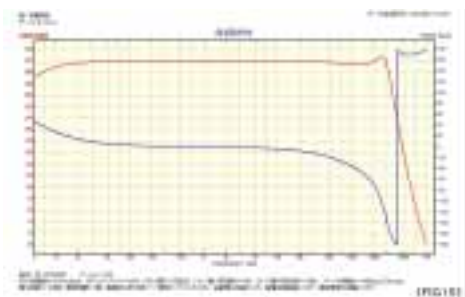
《FIG 14》に1の広帯域周波数特性を示す。

周波数 $F = 1\text{kHz}$ の利得は $A = 42.0\text{dB}$ である。

高域周波数でのカットオフ周波数は $F_c = 350\text{kHz}$ であり十分な特性である。

低域周波数特性のカットオフ周波数も $F_c = 5\text{Hz}$ で十分な特性である。

c)、2 (ATT = 10dB、出力アンプA = 0dB、フィルター: Flat)の広帯域周波数特性

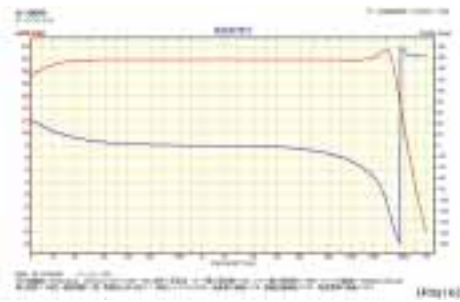


《FIG 15》に2の広帯域周波数特性を示す。

周波数 $F = 1\text{kHz}$ の利得は $A = 31.9\text{dB}$ である。

$F = 250\text{kHz}$ に $+0.8\text{dB}$ のピークがあるが、それ以上の周波数で充分減衰しているので問題無いとした。亦、 $F = 100\text{kHz}$ で $Dif = -0.35\text{dB}$ であるので問題無しとした。

d)、3 (ATT = - 20 dB、出力アンプ A = 0 dB、フィルター : Flat) の広帯域周波数特性

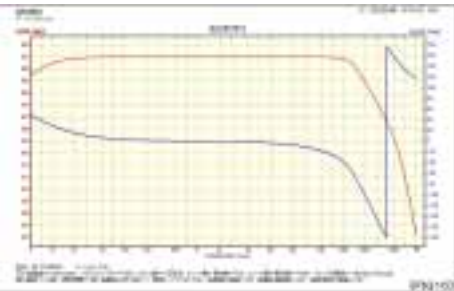


《FIG 16》に2の広帯域周波数特性を示す。

周波数 $F = 1 \text{ kHz}$ の利得は $A = 22.0 \text{ dB}$ である。

$F = 300 \text{ kHz}$ に $+1.5 \text{ dB}$ のピークがあるが、それ以上の周波数で充分減衰しているので問題無いとした。亦、 $F = 100 \text{ kHz}$ で $\text{Dif} = -0.2 \text{ dB}$ であるので問題無しとした。

e)、4 (ATT = 0 dB、出力アンプ A = 20 dB、フィルター : Flat) の広帯域周波数特性



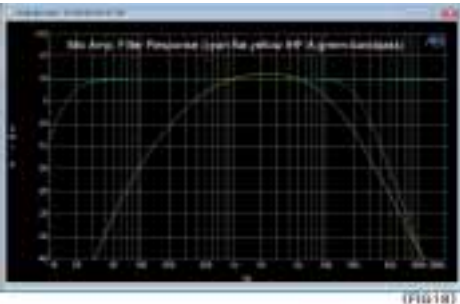
《FIG 17》に1の広帯域周波数特性を示す。

周波数 $F = 1 \text{ kHz}$ の利得は $A = 62.0 \text{ dB}$ である。

高域周波数でのカットオフ周波数は $F_c = 180 \text{ kHz}$ であり十分な特性である。

亦、 $F = 100 \text{ kHz}$ で $\text{Dif} = -0.3 \text{ dB}$ で問題は無い。

10 - 3)、フィルター - の周波数特性



《FIG 18》に聴感補正用フィルター - の周波数特性を示す。

Cyan : Flat、

Yellow : (A net) 聴感A補正、

Green : Band Pass ($F_{ch} = 20 \text{ kHz}$ 、 $F_{cl} = 20 \text{ Hz}$) 特性を示す。Band Pass はハイパス (HPF)、ローパスフィルター (LPF) 共に3次バターワースフィルターで構成した。A net フィルタ、Band Pass 共、偏差が少なく良好な特性である。

11、計測アンプ、UC - 29コンデンサーマイクロフォン外観写真



《FIG 19》に完成した計測アンプのフロントパネル外観写真を示す。

外形寸法: $W \times D \times H$:

$260 \times 230 \times 49 \text{ (mm)}$



《FIG 20》にUC - 29コンデンサーマイクロフォンの外観を示す。

ユニットはプリアンプ NH - 05A、口径変換

ユニットUA - 12、マイクロフォン本体UC - 29より構成される。マイクユニットUC - 29はマイク口径が $1/4$ インチである。

12、測定使用例

今回、試作した計測アンプとリオンUC - 29コンデンサーマイクロフォンを使って手持ちのスピーカシステムの周波数特性を測定した実施例を示す。

測定の準備として、まず、ホワイトノイズとFFTを使用して周波数特性を観測し、オーディオシステムに介挿した10バンドパラメトリックイコライザ(PEQ)を操作して、音楽試聴位置でのスピーカの周波数特性が出来るだけフラットになる様に調整をする。

次に、タイムストレッチパルスを用いてスピーカのインパルス応答を求め、此からFFTで周波数特性を分析する。尚、TSP(タイムストレッチパルス)の同期加算回数はAve. = 16である。

、測定に使用した機材

、測定マイク : リオンUC - 29 + UA - 12 + NH - 05A

、計測アンプ : 今回の試作品(本機)

、FFT測定システム : ラップトップパソコン + EMU1616M(ADC) + FFTソフトウェア

、FFTソフトウェア : RA(吉正電子(株))、WaveSpectra+Wavegene(efu)

、被測定オーディオシステム

、プリアンプ : SCA2000(TRF A.E.)

、パワーアンプ : 6GB8(UL)PPSTA(Nyanbo.com)

、パラメトリックEQ : MPEQ - 9010A(10BandパラメトリックEQ、TRF A.E.)

、スピーカシステム : Tannoy GRF - N(HW) + Fostex T - 90A(with Network)

12 - 1)、Lchスピーカ(マイク位置:高さH = 90cm、距離L = 1.0m)



(FIG21)

(FIG21)に測定結果を示す。

スピーカの音圧はリオンの騒音計NL - 06を使ってホワイトノイズで94dB(SPL)に合わせた。測定系の内、EMU1616Mがレベル校正されていないので相対値で周波数特性グラフを観測している。ADCのFs = 96kHzの為、測定帯域幅はf = 20Hz ~ 48kHz迄である。

12 - 2) Rchスピーカ(マイク位置:高さH = 90cm、距離L = 1.0m)



(FIG22)

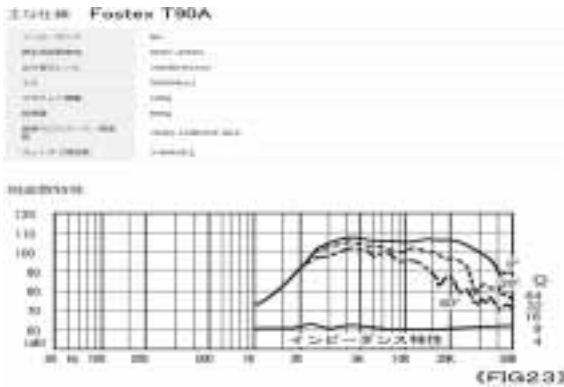
(FIG22)に測定結果を示す。

測定条件は(FIG21)と同じである。

LchとRchでは部屋の反射条件が違うのでディップの出る周波数に差が有るが概略似た傾向の特性が得られた。

音圧設定はTannoy GRF - N(HW)の軸上距離1.0mで騒音計NL - 06(Anet)を用いて行った。アンプの出力はPo = 1.0Wである。

Tannoy GRF - M(HW)単体では周波数特性はF = 18kHz位までしか伸びていないので、其れより高い周波数ではFostex T90Aを追加した効果であると思われる。Fostex T90Aはメーカーの取扱説明書によると周波数特性は35kHz(-10dBdown)であるので概ね良好な特性が測定出来たと考えている。



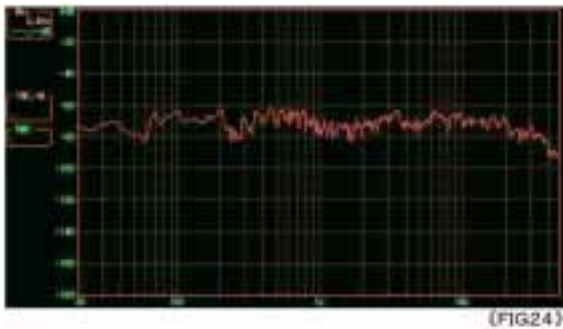
TannoyとFostexのクロスオーバー周波数は $F_c = 18 \text{ kHz}$ としてTannoy側はローパスフィルタ無しの流れである。Fostex側はユニットの2次ハイパスフィルタとレベル合わせの為に 9 dB のアッテネータを入れている。

このような設定にするとTannoy単体で使用する事も出来、スーパーツイータ有無での効果の評価が簡単に出来るからである。

(FIG 23) にFostex T90Aの仕様書、周波数特性図を示す。

数特性図を示す。

12 - 3)、STスピーカ(マイク位置:高さ $H = 90 \text{ cm}$ 、距離 $L = 2.8 \text{ m}$ 、SP間距離 $L_{sp} = 2.4 \text{ m}$)



(FIG 24) に普段の試聴位置での測定結果を示す。

STスピーカの音圧はリスニングポイントで測定して凡そ 86 dB (SPL) となった。

音圧設定、測定条件は前の2項と同じである。定性的に見てスピーカからの距離が凡そ3倍弱であるが部屋の反射があるので音圧は 8 dB 位しか減衰していない。低い周波数では

2個のスピーカから発せられた音波の干渉で暴れが大きくなって歎いているのが観測される。高域周波数では空気中での減衰の為、周波数特性の落ちが大きいのが見て取れる。

13、測定に関する考察

(FIG 1) のカタログスペックによると計測コンデンサマイクロフォン UC - 29 の A 特性自己雑音レベルは $V_{ni} = 42 \text{ dB (SPL, A net)}$ である。手持ちの UC - 29 を計測アンプに接続してアンプ出力での残留ノイズを実測してみると、 $V_o = -57 \text{ dBV (A net)}$ であった。

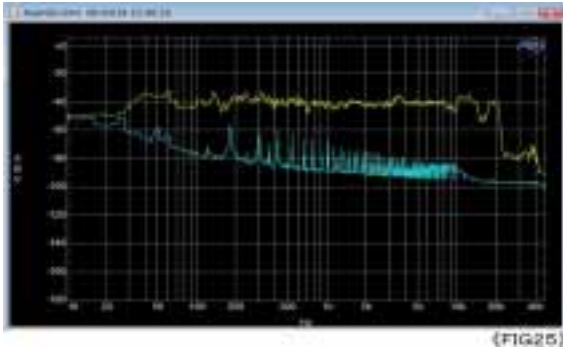
$V_o = -57 \text{ dBV}$ を入力換算値に変換し、SPL表示にすると $V_i = 43 \text{ dB (SPL, A net)}$ となるのでカタログスペック(公称値)と比べて 1 dB 程悪い値であるが、校正データによるとマイクの感度が -0.5 dB 低いので、カタログスペック(公称値)との差は 0.5 dB (5%) となり、概ね妥当な数値であると考えている。

因みに比較の為にリオンの普通騒音計 NL - 06 を用いて同一条件で暗騒音を測定してみると $V_n = 22.0 \text{ dB (SPL, A net)}$ であったので、手持ちのリオンマイクロフォン UC - 29 の実測雑音値(A net)は部屋の暗騒音の影響を受けていないと思われる。

次に、FFT測定時の低域周波数での暗騒音レベルを評価、検討をした。

低域周波数での暗騒音の影響が出るのは $F = 250 \text{ Hz}$ であるのでCDPlayerからホワイトノイズを再生し測定レベルを設定、此のFFT結果(S)と無信号時のFFT結果(N)を比較してS/Nの確認をした。CDPlayerはSony CDP-R3、FFTAnalyzerはAP Sys2522Aを使用した。

測定レベルの設定には、ホワイトノイズをアンプで増幅してスピーカから再生し、此をリオンの騒音計 NL - 06 (A net) で測定してレベルを 94 dB (SPL) に設定した。



ホワイトノイズをAnet補正の騒音計で測定して再生レベルを設定するとAnetで帯域制限された分だけレベルが下がるのを之を補正すると+2.3dBだけ大きくなり、補正後の音圧は96.3dB(SPL)となる。

次に(FIG25)にホワイトノイズ再生時と無信号(暗騒音)時のFFTグラフを示す。

Yellowがホワイトノイズ(S)、Cyanが暗騒音(N)のスペクトラムを示す。

音(N)のスペクトラムを示す。

$F_s = 96 \text{ kHz}$ 、FFTのBIN = 32768ポイントに設定してあるので、FFT表示帯域では半分となり $F_w = 48 \text{ kHz}$ 、BIN = 16384ポイントとなる。

此处でCDから再生されるホワイトノイズの帯域は(FIG25)から分かる様に、 $F_w = 20 \text{ kHz}$ であるのでBIN数は帯域制限されてBIN = 6827となる。

出力電圧 $V_o = \sqrt{\text{BIN}} \times V_c \sqrt{\text{BIN}}$ であるので、Yellowグラフから読み取ってホワイトノイズの各BINの平均電圧を $V_c \sqrt{\text{BIN}} = -41.0 \text{ dBV} = 8.9 \text{ mV}$ として、 $\sqrt{\text{BIN}} = 82.6$ とすればホワイトノイズの各コンポーネントの総和()は $V_o = 0.74 \text{ V}$ と計算される。

一方、計測アンプの出力電圧は $V_o = 0.66 \text{ V}$ であったので、FFTの結果から計算した値と比べて約1dB程低い値が出ているが、音響工学的には概ね合っていると考えて良いと思う。

従って、Yellowのホワイトノイズ(S)グラフは定量的に信頼出来るデータであると考ええる。

次に、暗騒音のグラフでは商用電源の高調波と見られるスペクトラムが観測される。計測アンプのアッテネータを操作するとノイズのレベルは表示通りに変化するのでアッテネータより前の段階で発生している様子である。

考えられるノイズの発生源は電源周波数の奇数倍のスペクトラムである事からリスニングルーム内にある交流電源機器のトランスの唸りをマイクが拾っている可能性が大きい様に思える。

後、可能性としては少ないがマイクロフォンのバイアス電源の残留リップル、マイクプリアンプへの供給±12V電源ノイズが考えられる。

この件に附いては今後、検討し改善する必要のある課題と考えている。

此のグラフからS/N的に実用になるのは $F = 30 \text{ Hz}$ の周波数領域である事が判る。

前掲のTSPデータやホワイトノイズをFFTした周波数特性グラフで $F = 35 \text{ Hz}$ でレベルが減衰しているのは、部屋の共振の影響を軽減する為に、パラメトリックEQで $F = 20 \text{ Hz}$ 付近の音圧を減衰させているからである。此の為、 $F = 25 \text{ Hz}$ ではホワイトノイズのレベルと暗騒音レベルが殆ど被っていて差が無い様になっている。

此のデータを測定した時は、アンプの出力が $P_o = 1 \text{ W}$ 位であったので、もっとアンプの出力を上げて信号(S)のレベルを大きくすれば、低い周波数でも相対的に良好なS/Nを得る事が出来る。例えば、 $P_o = 2 \text{ W}$ にすれば信号レベル(S)は+6dBアップするので信号成分とノイズフォロア成分とのS/Nが概ね確保出来る様に思う。

ベラネックのNC曲線に示される様に低域周波数では暗騒音レベルが増加するのでS/Nの良い測定は難しい物がある。

精密騒音計NA-42の取説にUC-29の直線動作範囲(Anet)は50dB~164dB(SPL)、レベルレンジが90dB~150dBとあるので、基準レベルは100dB以上に設定するのが望まし

いと云う事だろうと思う

音圧を6dB上げて100dB(SPL)で測定してもアンプやスピーカが壊れる事は無いと思うが、ホワイトノイズの音圧が100dB(SPL)になると、流石に測定する人間の方が耳栓でもしないと耐えられ無いのではと思う処である。

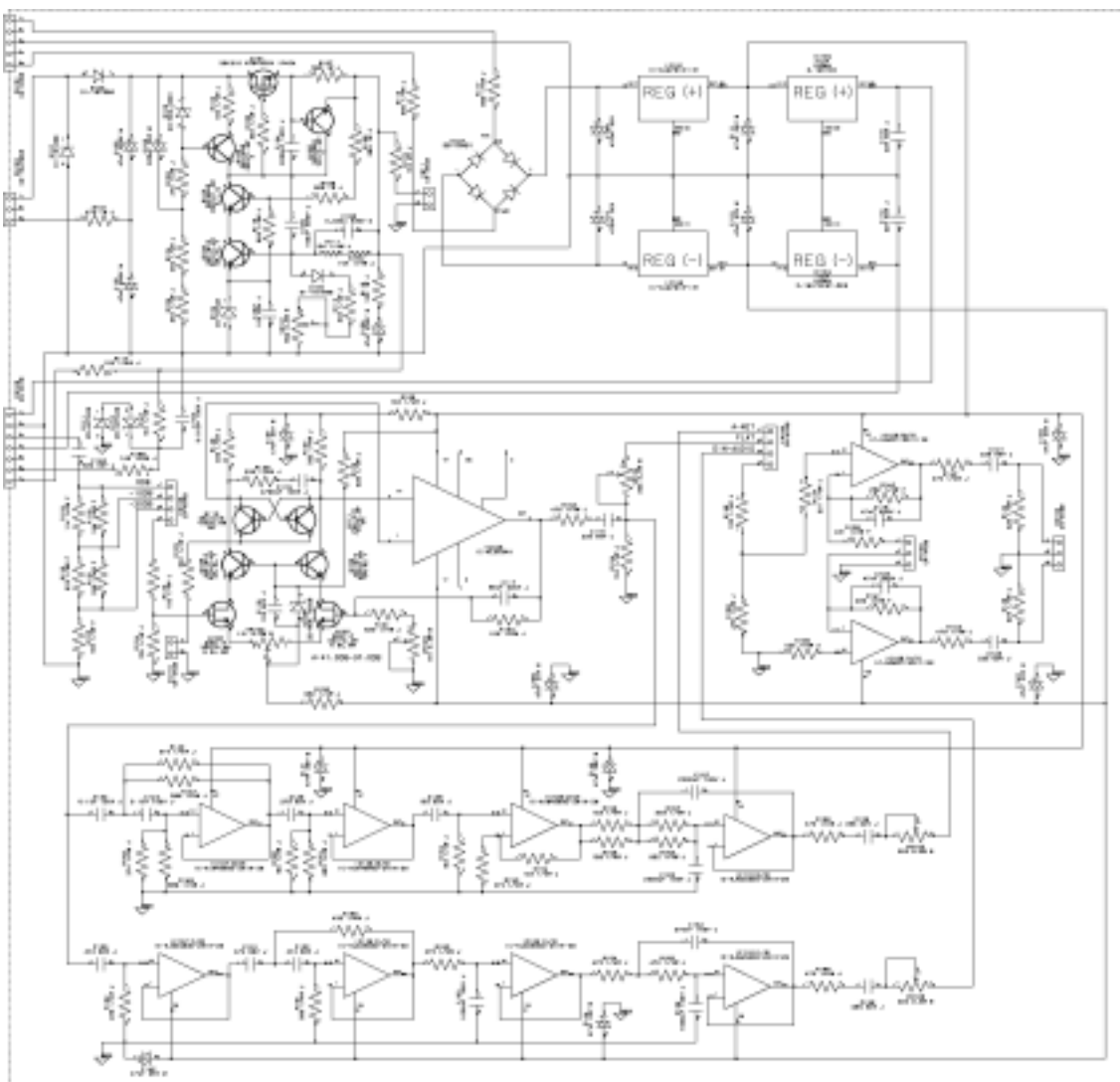
14 結論

リオン計測用マイクロフォンUC-29を入手した事で専用計測アンプの試作実験をして来たが概ね良好な性能の計測アンプを作る事が出来た。特性的にもメーカー製の遜色の無い物に仕上がって、充分実用になる計測アンプが出来たと考えている。

計測マイクロフォンUC-29は測定可能周波数を100kHz迄、伸ばす為に振動板の口径が小さく設計されて1/4インチとなっており、感度、自己雑音共に悪い様である。

従って使用に当たっては測定信号の音圧レベルを100dB(SPL)以上に設定してS/Nを確保する必要がある様だ。

15、全体回路図



16、使用測定器

- 、オーディオアナライザ:オーディオプレジジョンSYS2522A
- 、周波数特性分析機:NF回路設計ブロックFRA5095A
- 、デジタルマルチメータ:アジレント34401A
- 、オシロスコープ:テクトロニクス2465B、2445B
- 、電子電圧計:NF回路設計ブロック:M170、M177
- 、電力計:日置電機3186

17、参考文献

- 、リオン(株)騒音計NA42、NA40取り扱い説明書
- 、リオン(株)計測用マイクロフォンカタログ
- 、小野測器(株)騒音計とは(概要と背景)
- 、JISハンドブック