

## Усилитель мощности S-Audio ZD-50

Очень высокие характеристики данного усилителя достигаются за счёт глубокой ОС, главным образом в звуковой области частот. Усилитель основан на широко известной микросхеме LM3886. Глубокая ОС достигается путём добавления ещё одного, "более высококачественного" ОУ. Таким образом глубина ОС на 20кГц достигает 70дБ и больше на более низких частотах.

Для сравнения у обычного включения LM3886 с  $K_u=12$  глубина ОС на 20кГц всего около 30дБ. Т.е. глубина ОС в звуковом диапазоне у данного усилителя минимум на 40дБ (в 100 раз) больше, чем у стандартного включения и соответственно потенциально искажения в звуковом диапазоне на столько же меньше.

Уменьшаются также шумы, они теперь определяются входным ОУ. Хорошая устойчивость при такой глубине ОС достигается благодаря многопетлевой ОС и "хитрой" частотной коррекции, с заходом за 180 градусов. Схема основана на идее композитного операционного усилителя [1], но значительно усовершенствована. Частота единичного усиления в петле ОС всего 1мГц, что делает схему не столь критичной к монтажу и улучшает повторяемость. Также благодаря "хитрой" коррекции входной ОУ работает с очень малым сигналом (можно сказать как селектор нелинейных искажений). На его выходе в нормальном режиме работы усилителя всего около 100мВ [График 1]. Т.е он работает в очень линейном режиме, можно сказать что в плане искажений его характеристики приближаются к идеальному ОУ.

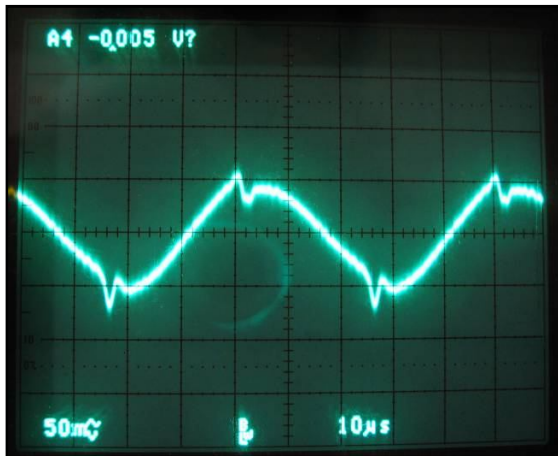


График 1. Напряжение на выходе U2.

Исследование работы множества прототипов сделало ясным тот факт, что искажения реального усилителя определяются конструкцией усилителя. Главным источником искажений являются магнитные поля от цепей питания LM3886, так как они содержат компоненты выпрямленного выходного тока (сигнала). Наводясь на вход усилителя и цепи ОС это приводит к повышению, главным образом чётных, гармоник на ВЧ сигналах (выше 2-3кГц). Для минимизации данного эффекта желательно ставить шунтирующие конденсаторы как можно ближе к LM3886 и минимизировать индуктивность цепей питания. Реально замерянные гармонические

искажения у наилучшего (последнего) прототипа на 10кГц 50W 4Ohm меньше 0.0004%.

График Боде показывает глубину ООС от частоты и фазовый набег. Красным цветом - без U2, т.е. почти стандартное включение LM3886 с усилением около 20, дан для сравнения [График 2]. При обеспечении критерия устойчивости Найквиста, фаза может заходить за 180 градусов на частотах ниже (и выше) частоты ед. усиления ОС, в данном случае это около 1мГц. Как видно из графика фазовый запас усилителя составляет около 40 градусов. Также видно что срез не 6дБ на октаву, а 12дБ на октаву, так как первые 2 полюса довольно низкочастотные (это полюса самих U2 и U3), хотя с LT1363 второй полюс около 10кГц. В районе 50кГц находится ещё один полюс, образованный коррекцией U2, а в районе 250кГц находятся 2 нуля. Т.е коррекция по сути 3-х полюсная, с небольшим заходом за 180 градусов. График для LM318 дан при номиналах указанных ниже.

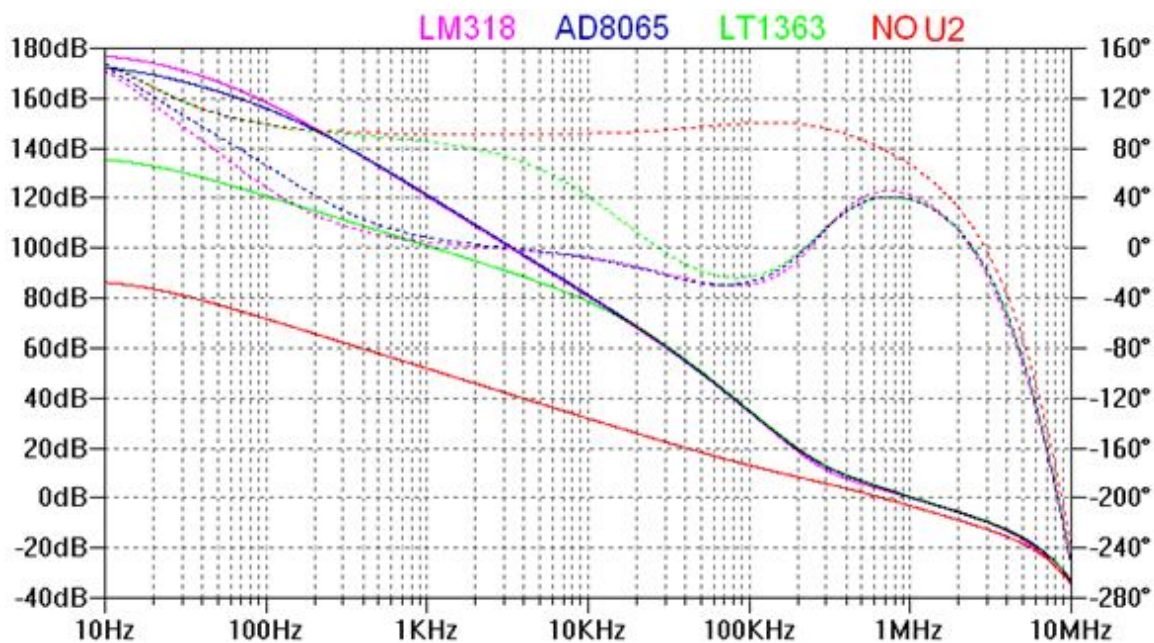


График 2. Глубина ОС усилителя и фазовый набег в петле ОС (график Боде).

Рекомендуемые ОУ на место U2 - LM318, AD8065, LT1363. Для оптимальной работы усилителя на базе LM318, нужно изменить  $C14=68\text{pF}$ ,  $R21=510$ ,  $R22=220$ .

Керамические ёмкости и низкоиндуктивные SMD резисторы R25, C16, R46, C45, R47, C46 - опциональные элементы, их номиналы зависят от печатки, если печатки самодельные их лучше вообще *не ставить*.

Чтобы повысить помехоустойчивость, были установлены цепочки C8, R12 и C11, R15. Они уменьшают коэф. передачи ОС выше 10МГц, тем самым уменьшают уровень помех выше этой частоты на инверсных входах обоих ОУ. В принципе их тоже можно не ставить, так как практически значимый эффект от них не обнаружен. C7 - составной, параллельно 390пФ запаивается чего то типа 22...47пФ.

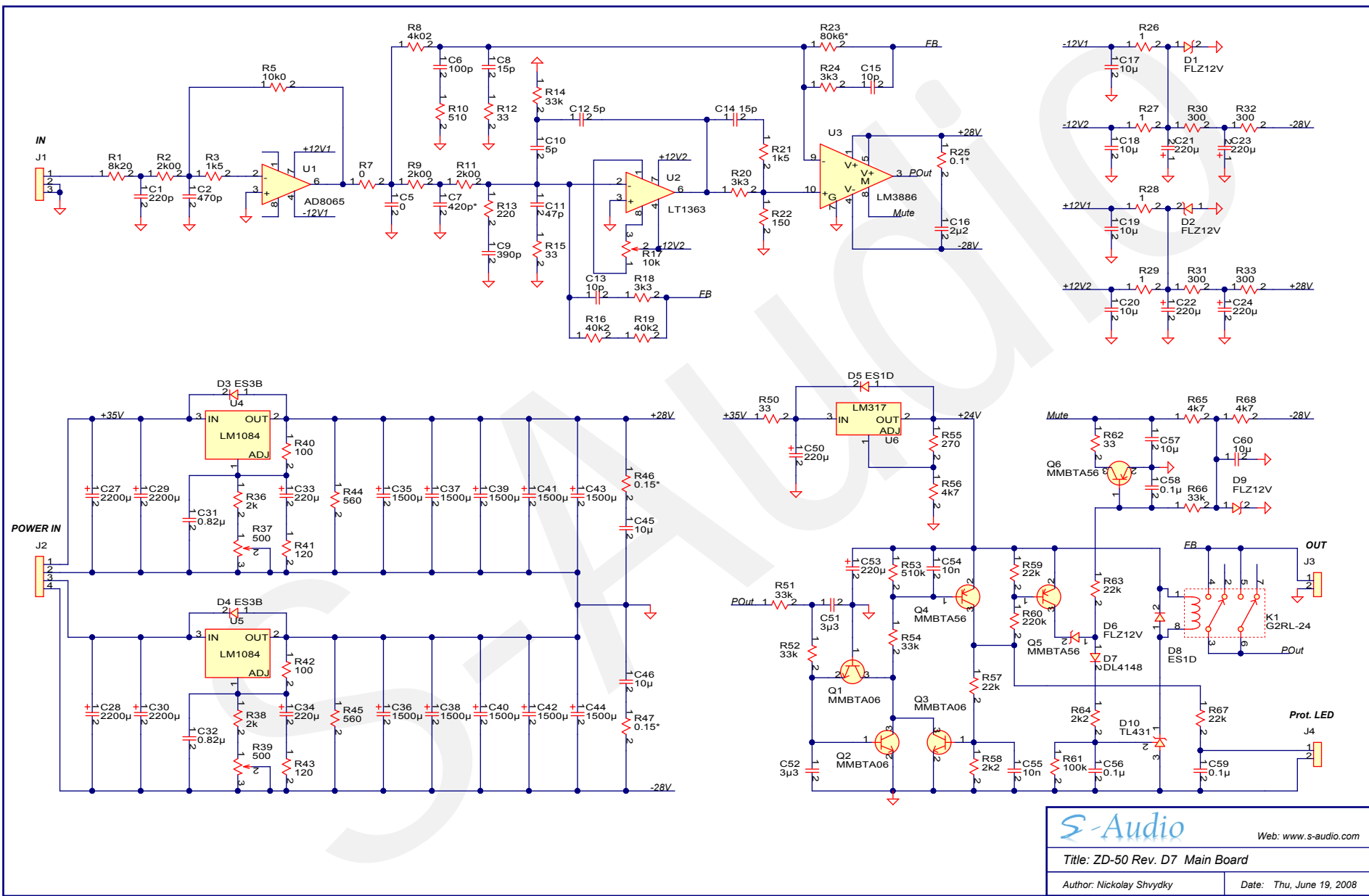
На схеме нет выходного фильтра - я использовал 18 витков на 8 мм оправе провод 1.5 мм и параллельно 10 ом резистор, они были размещены прямо на выходных клеммах. Также параллельно выходным клеммам нужно поставить последовательную цепочку из плёночного 0.1uF и 2Вт 10ом резистора. Для питания (перед стабилизаторами) я использовал 2 моста из диодов шоттки и 2x3x10000uF на канал.

Для достижения описанных характеристик усилитель нужно делать исключительно как двойное моно.

При соблюдении номиналов и точности входных цепей и цепей ОС, необходимости в настройке нет. Иначе желательно подобрать R22 по минимуму напряжения на выходе U2, подав на вход синус 100Гц около 0.25 вольта и C7 по минимуму напряжения на выходе U2, подав на вход синус 20кГц около 0.25 вольта.

#### Ссылки:

[1] John D Yewen, High-precision composite op-amps, Electronics and Wireless World (Date?).

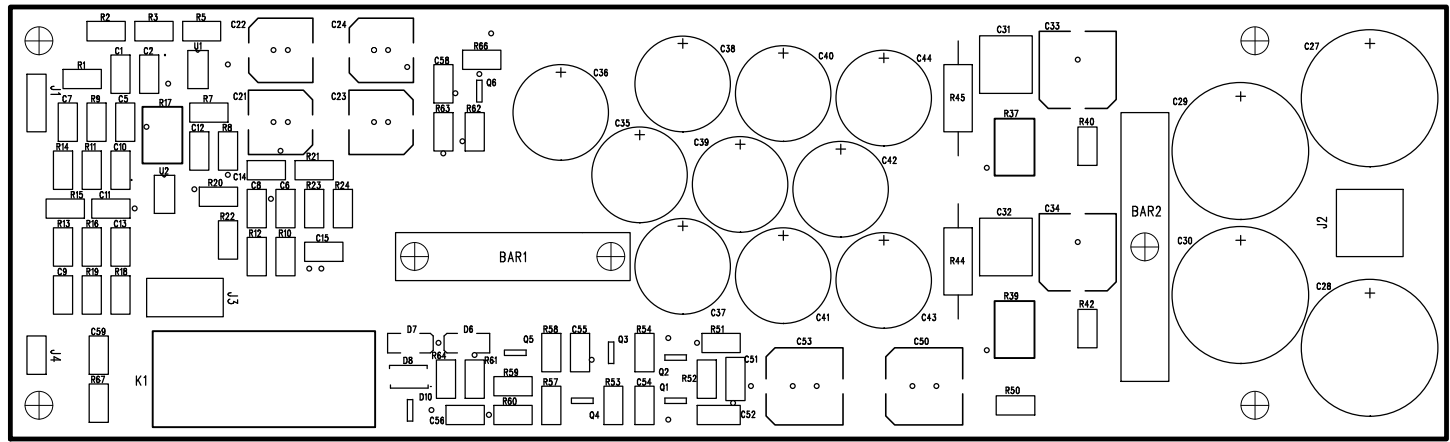


S-Audio ZD-50 Main Board

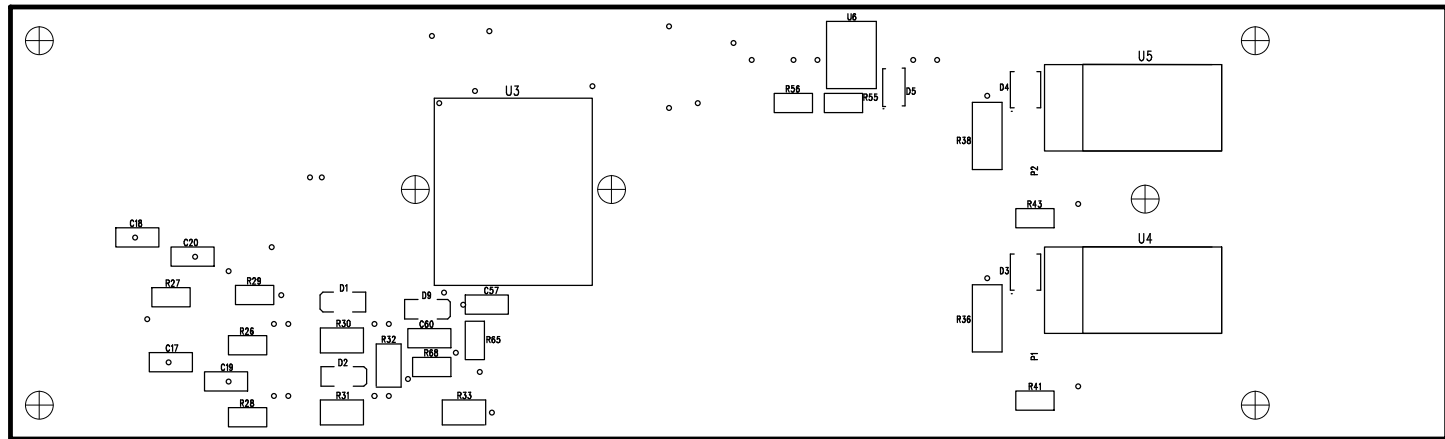
Rev. D7.12

Part Name	Reference	Additional info	Part Number	Case/Lead Style	Digikey Part Number	Qty	Price	Total
<b>Integrated Circuits</b>								
AD8065	U1		AD8065ARZ	SOIC-8	<a href="#">AD8065ARZ-ND</a>	1	4.21	4.21
LT1363	U2		LT1363CS8#PBF	SOIC-8	<a href="#">LT1363CS8#PBF-ND</a>	1	5	5
LM3886T	U3		LM3886T/NOPB	TO-220-11	<a href="#">LM3886T-ND</a>	1	6.62	6.62
LM1084	U4, U5		LM1084IT	TO-220-3	<a href="#">LM1084IT-ADJ-ND</a>	2	3.13	6.26
LM317EMP	U6		LM317EMP/NOPB	SOT-223	<a href="#">LM317EMPCT-ND</a>	1	1.53	1.53
<b>Transistors/Diodes</b>								
MMBTA06	Q1, Q2, Q3, Q4		MMBTA06	SOT-23-3	<a href="#">MMBTA06FSCT-ND</a>	4	0.22	0.88
MMBTA56	Q5, Q6, Q7, Q8		MMBTA56	SOT-23-3	<a href="#">MMBTA56FSCT-ND</a>	4	0.18	0.72
FLZ12V	D1, D2, D6, D9		FLZ12VA	SOD-80	<a href="#">FLZ12VACT-ND</a>	4	0.11	0.44
ES3BB	D3, D4		ES3BB-13-F	DO-214AA	<a href="#">ES3BB-FDICT-ND</a>	2	0.96	1.92
ES1D	D5, D8		ES1D	DO-214AC	<a href="#">ES1DFSCCT-ND</a>	2	0.37	0.74
LL4148	D7		FDLL4148	SOD-80	<a href="#">FDLL4148CT-ND</a>	1	0.08	0.08
TL431	D10		TL431IDBZR	SOT-23-3	<a href="#">296-17332-1-ND</a>	1	0.45	0.45
<b>Capacitors</b>								
220p	C1, C3, C4	50V	ECJ-2VC1H221J	C0805	<a href="#">PCC221CGCT-ND</a>	3	0.049	0.147
470p	C2	50V	ECJ-2VC1H471J	C0805	<a href="#">PCC471CGCT-ND</a>	1	0.049	0.049
100p	C6	50V	ECJ-2VC1H101J	C0805	<a href="#">PCC101CGCT-ND</a>	1	0.049	0.049
390p	C7*(420P), C9	50V	ECJ-2VC1H391J	C0805	<a href="#">PCC391CGCT-ND</a>	2	0.049	0.098
15p	C8, C14	50V	ECJ-2VC1H150J	C0805	<a href="#">PCC150CNCT-ND</a>	2	0.097	0.194
5p	C10, C12	50V	ECJ-2VC1H050C	C0805	<a href="#">PCC050CNCT-ND</a>	2	0.097	0.194
47p	C11	50V	ECJ-2VC1H470J	C0805	<a href="#">PCC470CGCT-ND</a>	1	0.049	0.049
10p	C13, C15	200V	ECJ-2VC2D100D	C0805	<a href="#">PCC1971CT-ND</a>	2	0.11	0.22
2μ2	C16	100V	HMK325B7225KN-T	C1210	<a href="#">587-1778-1-ND</a>	1	1.364	1.364
10μ	C17, C18, C19, C20, C57, C60	25V	ECJ-3YB1E106M	C1206	<a href="#">PCC2326CT-ND</a>	6	0.543	3.258
220μ	C21, C22, C23, C24	25V	EEV-FK1E221P	SMT (Size F)	<a href="#">PCE3409CT-ND</a>	4	0.72	2.88
2200μ	C27, C28, C29, C30	50V	EEU-FC1H222	TH (D18LS7.5LD0.8)	<a href="#">P10335-ND</a>	4	2.6	10.4
0.82u	C31, C32	50V	ECQ-V1H824JL	TH (L7.3T6.8LS5.0LD0.5)	<a href="#">P4674-ND</a>	2	0.323	0.646
220u	C33, C34, C50, C53	50V	EEV-FK1H221P	SMT (Size G)	<a href="#">PCE3474CT-ND</a>	4	0.844	3.376
1500μ	C35, C36, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C43, C44	35V	EEU-FM1V152L	TH (D12.5LS5LD0.8)	<a href="#">P12409-ND</a>	10	1.34	13.4
10u	C45, C46	35V	GMK325BJ106KN-T	C1210	<a href="#">587-1439-1-ND</a>	2	1.551	3.102
3μ3	C51, C52	25V	C1206C335K3PACTU	C1206	<a href="#">399-3140-1-ND</a>	2	1.1	2.2
10n	C54, C55	50V	ECJ-2VB1H103K	C0805	<a href="#">PCC103BNCT-ND</a>	2	0.041	0.082
0.1μ	C56, C58, C59	50V	ECJ-2VB1C104K	C0805	<a href="#">PCC1812CT-ND</a>	3	0.089	0.267

<b>Resistors</b>								
8K20 (8k06)	R1	0.1W	RG2012P-822-B-T5	R0805	<a href="#">RG20P8.2KBCT-ND</a>	1	0.578	0.578
2K00	R2, R9, R11	0.1W	RG2012P-202-B-T5	R0805	<a href="#">RG20P2.0KBCT-ND</a>	3	0.578	1.734
1K5	R3, R21	0.1W	RR1220P-152-D	R0805	<a href="#">RR12P1.5KDCT-ND</a>	2	0.14	0.28
100	R4, R40, R42	0.1W	RR1220P-101-D	R0805	<a href="#">RR12P100DCT-ND</a>	3	0.14	0.42
10K0	R5	0.1W	RG2012P-103-B-T5	R0805	<a href="#">RG20P10.0KBCT-ND</a>	1	0.578	0.578
1K	R6	0.1W	RR1220P-102-D	R0805	<a href="#">RR12P1.0KDCT-ND</a>	1	0.14	0.14
0	R7	0.1W	ERJ-6GEY0R00V	R0805	<a href="#">P0.0ACT-ND</a>	1	0.077	0.077
4K02	R8	0.1W	RG2012P-4021-B-T5	R0805	<a href="#">RG20P4.02KBCT-ND</a>	1	0.578	0.578
510	R10	0.1W	RR1220P-511-D	R0805	<a href="#">RR12P510DCT-ND</a>	1	0.14	0.14
33	R12, R15	0.1W	RP2012S-330-F	R0805	<a href="#">RR12Q33DCT-ND</a>	2	0.14	0.28
220	R13	0.1W	RR1220P-221-D	R0805	<a href="#">RR12P220DCT-ND</a>	1	0.14	0.14
33K	R14, R51, R52, R54, R66	0.1W	RR1220P-333-D	R0805	<a href="#">RR12P33.0KDCT-ND</a>	5	0.14	0.7
40K2	R16, R19	0.1W	RG2012P-4022-B-T5	R0805	<a href="#">RG20P40.2KBCT-ND</a>	2	0.578	1.156
10K Trimmer	R17	0.1W	3314G-1-103E	SMD (Size 6.2x5)	<a href="#">3314G-103ECT-ND</a>	1	1.8	1.8
3K3	R18, R20, R24	0.1W	RR1220P-332-D	R0805	<a href="#">RR12P3.3KDCT-ND</a>	3	0.14	0.42
150	R22	0.1W	RR1220P-151-D	R0805	<a href="#">RR12P150DCT-ND</a>	1	0.14	0.14
80K6	R23 (*80K9)	0.1W	RG2012P-8062-B-T5	R0805	<a href="#">RG20P80.6KBCT-ND</a>	1	0.578	0.578
0.1*	R25	0.1W	RL1220S-R10-G	R0805	<a href="#">RL12S.10GCT-ND</a>	1	0.344	0.344
1	R26, R27, R28, R29	0.1W	RL1220S-1R0-F	R0805	<a href="#">RL12S1.00FCT-ND</a>	4	0.344	1.376
300 (390)	R30, R31, R32, R33	0.5W	ERJ-P14J301U	R1210	<a href="#">P300ASCT-ND</a>	4	0.356	1.424
2K	R36, R38	1W	CRCW25122K00JNEG	R2512	<a href="#">541-2.0KXCT-ND</a>	2	0.399	0.798
500 Trimmer	R37, R39	0.1W	3314G-1-501E	SMD (Size 6.2x5)	<a href="#">3314G-501ECT-ND</a>	2	1.8	3.6
120	R41, R43	0.1W	RR1220P-121-D	R0805	<a href="#">RR12P120DCT-ND</a>	2	0.14	0.28
560	R44, R45	2W	PR02000205600JR500	TH (PR02LS17.8LDO.8)	<a href="#">PPC560W-2CT-ND</a>	2	0.604	1.208
0.15*	R46, R47	0.1W	RL1220S-R15-G	R0805	<a href="#">RL12S.15GCT-ND</a>	2	0.344	0.688
33	R50, R62	0.33W	RP2012S-330-F	R0805	<a href="#">RP20S33FCT-ND</a>	2	0.536	1.072
510K	R53	0.1W	RR1220P-514-D	R0805	<a href="#">RR12P510KDCT-ND</a>	1	0.14	0.14
270	R55	0.1W	RR1220P-271-D	R0805	<a href="#">RR12P270DCT-ND</a>	1	0.14	0.14
4K7	R56, R65, R68	0.25W	ERJ-P06J472V	R0805	<a href="#">P4.7KADCT-ND</a>	3	0.165	0.495
22K	R57, R59, R63, R67	0.1W	RR1220P-223-D	R0805	<a href="#">RR12P22.0KDCT-ND</a>	4	0.14	0.56
2K2	R58, R64	0.1W	RR1220P-222-D	R0805	<a href="#">RR12P2.2KDCT-ND</a>	2	0.14	0.28
220K	R60	0.1W	RR1220P-224-D	R0805	<a href="#">RR12P220KDCT-ND</a>	1	0.14	0.14
100K	R61	0.1W	RR1220P-104-D	R0805	<a href="#">RR12P100KDCT-ND</a>	1	0.14	0.14
<b>Relay</b>								
G2RL-24	K1		G2RL-24-DC24	TH	<a href="#">Z148-ND</a>	1	4.03	4.03
<b>Connectors</b>								
3 Pins Signal	J1	To be defined		TH				0
4 Pins Power	J2	To be defined		TH				0
2 Pins Signal	J3	To be defined		TH				0
2 Pins Power	J4	To be defined		TH				0
							<b>Total, USD</b>	<b>97.279</b>



PCB Top



PCB Bottom