

整流回路

v5.1 Feb.2013

1. 目的

交流から直流を作り出す整流回路と平滑回路を組み立て、各種特性測定及び平滑回路の定数と性能の関係を考察する。

2. 原理

2-1. 整流回路の構成

一般的な整流回路のブロック図を図1に示す。実効値 100 V、周波数 60 Hz の電源コンセントから、直流出力電圧 V_L (通常 5-20 V が使用されることが多い) が負荷の電子回路に供給される。この際、AC 電源ラインの電圧変動や負荷電流 I_L の変動にかかわらず、直流出力電圧 V_L はできるだけ安定していることが望ましい。このために、幾つかの回路ブロックを連続させて実用的な整流回路を構成している。

ブロック図の左端は鉄心入り変圧器を示す。1 次側の巻数を N_1 、2 次側の巻数を N_2 とすると、2 次側に誘起される電圧は、 $v_s = 100(N_2/N_1)[V](RMS)$ となる。この巻数を調整することで 2 次側の最大電圧レベルを自由に決定することができる。2 番目のブロックはダイオード整流器であり、交流電圧 v_s を単極性に変換する役割を有する。しかし、ダイオード整流器を通過した後の波形は多くの交流成分を含んでおり、このままでは使用することができない。そこで、フィルタを介して波形を平滑化する。平滑化フィルタを通過した後の波形は比較的安定しているが、いくらかの脈流成分(ripple と呼ぶ)を含んでいる。このリップルを減らして、さらに安定した一定電圧の直流を得るために、通常は電圧レギュレータを負荷の前段に挿入する。本実験では電圧レギュレータを除いたダイオード整流器と平滑化フィルタの違いによる整流特性について検討する。

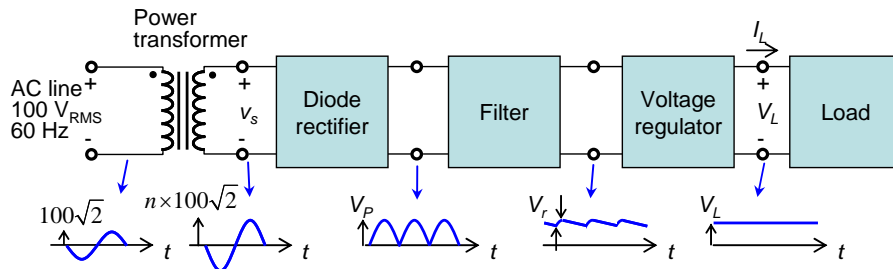


図 1. 整流回路のブロック図

2-2. ダイオード整流器

ダイオード整流器には、図2に示す (1) 半波整流形 と (2) 全波整流形 の 2 種類がある。全波整流形はその形がホイートストンブリッジと類似していることからブリッジ整流器とも呼ばれる。いずれも入力電圧の極性を単極性に変換する役割を有する。

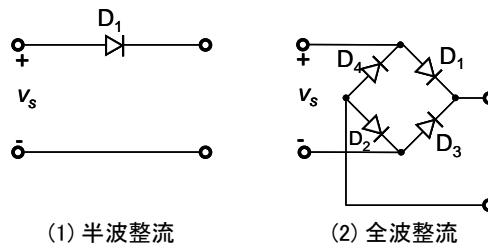


図 2. ダイオード整流器

2-3. 平滑化フィルタ

平滑回路には図3に示すように (a) コンデンサ入力形、(b) チョーク入力形 および、この二つを組み合わせた (c) π 形がある。

$V_C > V_P$ のとき、コンデンサ C は負荷抵抗 R との間に放電回路を形成するため、出力電圧を $V_C = V_P e^{-t/CR}$ で平滑化させることができる。一方、チョークコイル L は、急激な電流の変化を妨げる働きにより平滑化作用を有する。 C や L を単独で使用すると、より大きな素子値が必要になるので、これらを組み合わせることが多い。

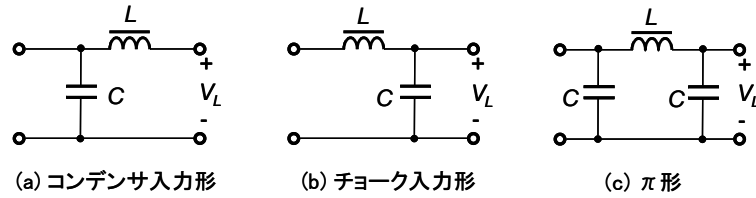


図3. 平滑化フィルタ

2-4. 電圧レギュレータ

本実験では扱わない。

2-5. 整流回路の特性

整流回路の特性指標には (1)電圧変動率 (2)リップル含有率 (3)波形率 があり、図1下の V_r 、 V_L および I_L を用いてそれぞれ次式で表わされる。図4に示すように、 $V_L = V_2$ 、 $V_r = V_3$ 、 $I_{L(RMS)} = A_2$ 、 $I_{L(AVR)} = A_1$ のことを示す。

電圧変動率

$$\frac{V_{L(open)} - V_L}{V_L} \times 100 \% \quad \left(\begin{array}{l} V_L = \text{負荷電圧(出力電圧)} \\ V_{L(open)} = \text{負荷開放時}(R_L = \infty)\text{の負荷電圧} \end{array} \right) \quad \dots (1)$$

リップル含有率

$$\frac{\sqrt{2} V_r}{V_L} \times 100 \% \quad \left(\begin{array}{l} V_r = \text{交流電圧(脈流またはリップル)} \\ V_L = \text{負荷電圧} \end{array} \right) \quad \dots (2)$$

波形率

$$\frac{I_{L(RMS)}}{I_{L(AVR)}} \quad \left(\begin{array}{l} I_{L(RMS)} = \text{直流負荷電流(実効値)} \\ I_{L(AVR)} = \text{直流負荷電流(平均値)} \end{array} \right) \quad \dots (3)$$

3. 測定系

測定回路を図4に示す。ダイオード整流器と平滑化フィルタは破線で囲まれた中央部分の整流回路実験装置に組み込まれている。この装置の前段には図1左側に示した電源トランス、後段には図5に示すような負荷抵抗回路を接続する。また、整流回路実験装置に実装する3種類の電圧計と2種類の電流計の詳細を表1に示す。

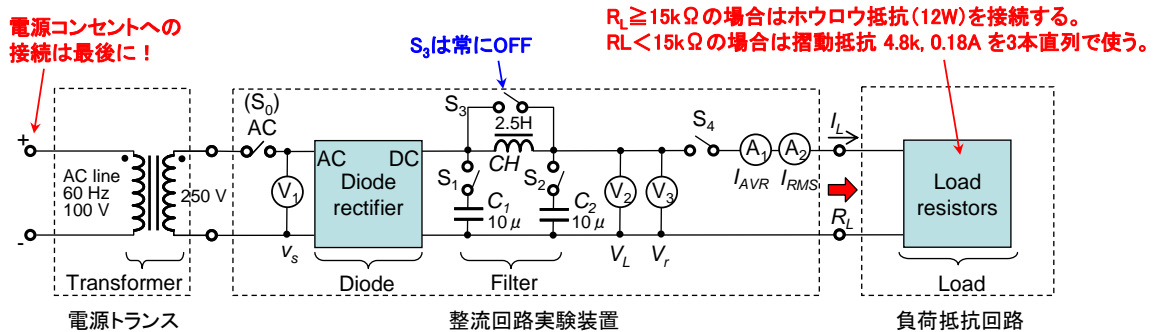


図4. 実験回路

表1. 使用する電圧計・電流計の詳細

V_1		可動鉄片形	実効値
V_2		可動コイル形	直流平均値
V_3		電子電圧計	実効値(直流カット)
A_1		可動コイル形	直流平均値
A_2		熱電対形	実効値

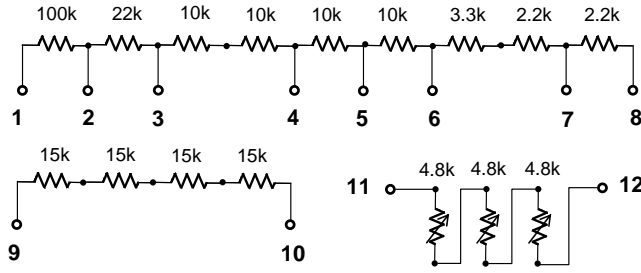


図5. 負荷抵抗回路

表2. 負荷抵抗回路の接続端子

測定ポイント	電流 [mA]	電圧 [V]	負荷 [kΩ]	消費 [W]	RSカタログ p.1338 ホウロウ 12W ほか	R1 [kΩ]	R2 [kΩ]	R3 [kΩ]	R4 [kΩ]	実現値 [kΩ]	負荷端子
1	0	360	∞							∞	
2	3	360	120.0	1.1	100+22	100	22			122.0	1, 3
3	6	360	60.0	2.2	15*4	15	15	15	15	60.0	9, 10
4	9	360	40.0	3.2	10*4	10	10	10	10	40.0	3, 6
5	12	360	30.0	4.3	10*3	10	10	10		30.0	3, 5
6	15	360	24.0	5.4	22+2.2	22	2.2			24.2	2, 3-7, 8
7	18	360	20.0	6.5	10*2	10	10			20.0	3, 4
8	21	360	17.1	7.6	10+3.3+2.2*2	10	3.3	2.2	2.2	17.7	5, 8
9	24	360	15.0	8.6	10+3.3+2.2	10	3.3	2.2		15.5	5, 7
10	27	360	13.3	9.7	摺動 4.8k*3 (14.4k)	13.3				13.3	11, 12
11	30	360	12.0	10.8	摺動 4.8k*3 (14.4k)	12				12.0	11, 12
12	33	360	10.9	11.9	摺動 4.8k*3 (14.4k)	10.9				10.9	11, 12
13	36	360	10.0	13.0	摺動 4.8k*3 (14.4k)	10				10.0	11, 12
14	39	360	9.2	14.0	摺動 4.8k*2 (9.6k)	9.2				9.2	11, 12
15	42	360	8.6	15.1	摺動 4.8k*2 (9.6k)	8.6				8.6	11, 12
16	45	360	8.0	16.2	摺動 4.8k*2 (9.6k)	8				8.0	11, 12
17	48	360	7.5	17.3	摺動 4.8k*2 (9.6k)	7.5				7.5	11, 12
18	51	360	7.1	18.4	摺動 4.8k*2 (9.6k)	7.1				7.1	11, 12
19	54	360	6.7	19.4	摺動 4.8k*2 (9.6k)	6.7				6.7	11, 12
20	57	360	6.3	20.5	摺動 4.8k*2 (9.6k)	6.3				6.3	11, 12
21	60	360	6.0	21.6	摺動 4.8k*2 (9.6k)	6				6.0	11, 12
22	63	360	5.7	22.7	摺動 4.8k*2 (9.6k)	5.7				5.7	11, 12
23	66	360	5.5	23.8	摺動 4.8k*2 (9.6k)	5.5				5.5	11, 12
24	69	360	5.2	24.8	摺動 4.8k*2 (9.6k)	5.2				5.2	11, 12
25	72	360	5.0	25.9	摺動 4.8k*2 (9.6k)	5				5.0	11, 12
26	75	360	4.8	27.0	摺動 4.8k	4.8				4.8	11, 12
27	78	360	4.6	28.1	摺動 4.8k	4.6				4.6	11, 12
28	81	360	4.4	29.2	摺動 4.8k	4.4				4.4	11, 12
29	84	360	4.3	30.2	摺動 4.8k	4.3				4.3	11, 12
30	87	360	4.1	31.3	摺動 4.8k	4.1				4.1	11, 12
31	90	360	4.0	32.4	摺動 4.8k	4				4.0	11, 12
32	93	360	3.9	33.5	摺動 4.8k	3.9				3.9	11, 12

4. 使用器具

表3. 使用器具一覧

品目	整流回路 実験装置	電源トランス	摺動抵抗器	負荷抵抗 回路	交流電圧計	直流電圧計	電子電圧計
個数	1 ×2グループ	1 ×2グループ	3 ×2グループ	1 ×2グループ	1 ×2グループ	1 ×2グループ	1 ×2グループ
メーカー		TANGO	YOKOGAWA		YOKOGAWA	YOKOGAWA	KIKUSUI
型番			SS-5				1631B or 165A
その他	電解コンデンサ×2, チョークコイル×1, スイッチ×5, ヒューズ0.2A×1, 半波整流器×1, 全波整流器×1	Input 100V Output 250V	4800Ω 0.18A	ホウロウ抵抗12W, 1k×5, 15k× 10, 2.2k×5, 22k× 5, 3.3k×5, 100k× 5, 10k×10	750V	1000V	30V

品目	直流電流計	熱電形電流計	熱電形電流計	オシロスコープ	マルチメータ	整流回路用 専用配線
個数	1 ×2グループ	1 ×2グループ	1 ×2グループ	1 ×2グループ	1 ×2グループ	28 ×2グループ
メーカー	YOKOGAWA	YOKOGAWA	YOKOGAWA	IWATSU	FLUKE	
型番				SS-5702		
その他	300mA	1000mA	50mA	帯域20MHz ※2週目のみ使用		赤短×14, 黄短× 14, 赤長×14, 黄 長×14

5. 測定方法

5-1. 半波整流

(1) 表3の使用器具一覧を見ながら図4の回路を作成する。使用する5つの電圧計と電流計の違いを表1の一覧でよく確認すること。ダイオード整流器には図2-(1)の半波整流回路を接続する。配線チェックを容易にするため+を赤色コード、-を黄色コードで配線すること。6. 注意事項と「過去のトラブル事例の記録」も良く読むこと。

(2) $I_L > 200 \text{ mA}$ で整流回路実験装置のヒューズが飛ぶので、常に接続しておく必要のある最低限の負荷抵抗値 R_L を計算で把握しておく。負荷抵抗 R_L は図4において矢印より右側を見込む負荷抵抗回路の合成抵抗値である。同様に熱電形電流計の最大定格電流と接続すべき最小負荷抵抗の値も把握しておくこと。

$$R_L(200 \text{ mA}) = (250\sqrt{2})/0.2 = (\quad) \Omega \leftarrow \text{入力回路のヒューズが飛ぶ限界値}$$

(3) 平滑化フィルタとして、図3の3種類のフィルタ回路 (a)コンデンサ入力形、(b)チョーク入力形、(c) π 形を接続する。各平滑化フィルタは次のスイッチ操作で構成できる。本実験では S3 は常に OFF であることに注意。

(a) コンデンサ入力形 \Rightarrow S1 を閉じ (ON にする) さらに S2 と S3 を開く (OFF にする)。

(b) チョーク入力形 \Rightarrow S2 を閉じ (ON にする) さらに S1 と S3 を開く (OFF にする)。

(c) π 形 \Rightarrow S1 と S2 を閉じ (ON にする) さらに S3 を開く (OFF にする)。

(4) 表4の CH(AFC またはコイル L のこと) と C1, C2 の値を記録する。素子の単位は MFD=[μ F], WV=コンデンサの最大定格電圧[V], H=[ヘンリー], コイルの最大定格電流 MA=[mA]である。

(5) S4 を開いて (OFF にして)、負荷を開放 $R_L = \infty$ にし、V1, V2, V3 の各指示を記録する (表4の1行目)。

※データ量が多いので、エクセルのワークシートに直接記録しながら(グラフ表示しながら)データを取ることを勧めます。

(6) S4 を閉じ (ON にして)、 R_L を表4の抵抗値のように大きい値から減してゆく。このとき、A1 は理論上 0 - 90 mA の間で約 6 mA ずつ増えてゆくはずであるが、必ずしもこの値になるとは限らない。そして、V1, V2, V3, A1, A2 の各指示を記録する (表4)。6 mA ごとに値が取れないときは飛ばして別の値でもよい。なお、 R_L の測定は S4 を開いて入力側の抵抗を見えないようにした状態で、負荷抵抗 R_L の値をテスタで測定する。

測定終了時

(7) S0 を開いて (OFF にして) 入力を遮断し、S1, S2, S4 を閉じて (ON にして) コンデンサの充電電荷を負荷抵抗へ放電させる。テスタで C1, C2 の直流電圧を測定し、1 V 以下になっていることを確認して測定を終了する。

(8) 専用配線の本数と種類 (赤短 \times 14 本、黄短 \times 14 本、赤長 \times 14 本、黄長 \times 14 本) を数えて元に戻す。

表4. 測定データシートの一例 (データが多いので、Excel でグラフを書きながら測定する)

ダイオード整流器名: (1)半波整流形 CH(AFC) = H
平滑化フィルタ名: (a)コンデンサ入力形 C₁, C₂ = μ F

※ 測定値の単位に注意

測定ポイント	負荷 R_L の目安 [k Ω]	電流の目安 [mA]	直流 A ₁ [mA]	実効 A ₂ [mA]	交流 V ₁ [V]	直流 V ₂ [V]	脈流 V ₃ [V]	$P_L = A_1 V_2$ [mW]	電圧変動率 [%]	リップル含有率 [%]	波形率
1	∞	0							—		—
3	60.0	6.0									
5	30.0	12.0									
7	20.0	18.0									
9	15.0	24.0									
11	12.0	30.0									
13	10.0	36.0									
15	8.6	42.0									
17	7.5	48.0									
19	6.7	54.0									
21	6.0	60.0									
23	5.5	66.0									
25	5.0	72.0									
27	4.6	78.0									
29	4.3	84.0									
31	4.0	90.0									

(偶数番号の測定ポイントは表示していない。時間が余ったら偶数番号も測定してみる。)

5-2. 全波整流

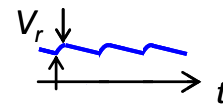
(1) 図4のダイオード整流器を図2-(2)ブリッジ整流回路に置き換え、半波整流の場合と同様に3種類の平滑化フィルタを使用した場合の特性を測定する。

5-3. 波形測定

(1) 表5-1に示すように、各平滑化フィルタ通過後の出力電圧 V_L の時間波形の比較を行う。負荷抵抗 R_L の値は、負荷電流ができるだけ大きくなる値(例えば $R_L \approx 8.5 \text{ k}\Omega$)に固定しておくことと波形が安定して記録しやすい。測定は電子電圧計を接続していた端子に必ず $\times 10$ プローブを接続して行う。なお、電子電圧計は使用しないのではずしてもよい。オシロスコープの設定は $\times 10$ プローブで 10V/div 、 5ms/div 、DC 結合とする。コイルのみの測定とは、フィルタにコイルだけが挿入された状態であり、S3 は常に OFF であることに注意すること。オシロスコープの掃引※時間とカメラのシャッター速度の都合で波形撮影がうまくできない場合が多いので、測定シートを印刷して手書きを推奨します。

表 5-1. 波形測定データシート

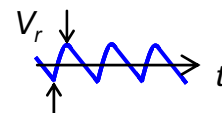
		出力電圧 V_L の時間波形 (DC 結合で直流も入れる)			
		平滑化フィルタ			
設定: $\times 10$ プローブで 10 V/div 、 5 ms/div 固定、DC 結合		コイルのみ	(a) コンデンサ入力形	(b) チョーク入力形	(c) π 形
ダイオード回路	(1) 半波	図ア	図イ	図ウ	図エ
	(2) 全波	図オ	図カ	図キ	図ク



(2) 表5-2に示すように、各平滑化フィルタ通過後の脈流 V_r の時間波形の比較を行う。この波形は出力電圧 V_L から直流成分をカットして脈流分のみを拡大したものである。直流成分のカットにはオシロスコープの AC 結合を利用する。オシロスコープの設定は $\times 10$ プローブで 1V/div 、 5ms/div 、AC 結合とする。

表 5-2. 波形測定データシート

		出力電圧 V_r の時間波形 (AC 結合で直流カットする)			
		平滑化フィルタ			
設定: $\times 10$ プローブで 1 V/div 、 5 ms/div 固定、AC 結合		コイルのみ	(a) コンデンサ入力形	(b) チョーク入力形	(c) π 形
ダイオード回路	(1) 半波	図ケ	図コ	図サ	
	(2) 全波	図シ	図ス	図セ	



6. 注意事項

- (1) コンデンサの充電電圧、放電電流に注意し、感電および計器の損傷がない様に注意すること。
- (2) 必要最小限の負荷抵抗値を守り、ヒューズを飛ばさないようにすること。
- (3) 熱電対の焼損事故を防ぐため、熱電形電流計は測定値の読み取り時以外は常にショート端子で使用する。
- (4) ダイオード回路の AC/DC 接続方向に注意すること。間違えると回路がショートしてヒューズが飛ぶ。
- (5) 負荷抵抗値をテストで測定する際、必ず S4 スイッチを開いて入力を遮断すること。また、測定時は必ずテストを負荷端子からはずすこと。
- (6) 配線チェックを容易にするため、+を赤色コード、-を黄色コードで配線すること。
- (7) 測定が終了後、回路をばらす前に必ず測定終了時の手続きを実行すること。
- (8) ホウロウ抵抗の定格電力は 12W である。 10W を超えると火傷するほど発熱するので、分流か分圧で 6W 以内に抑えて使用すること。例えば $20\text{k}\Omega$ の抵抗を作りたいとき、 $40\text{k}\Omega // 40\text{k}\Omega$ (// は並列記号) または $10\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega$ にする。
- (9) 摺動抵抗の定格電流は 0.18A である。念のため 3 本を直列接続して 1 本だけに負荷が集中しないように分圧して使用すること。
- (10) 表4の測定データシートはウェブからダウンロード可能。

- (11)表 4 の測定データシートに予め記入されている電流・電圧はおよその予想値である。実際の測定では必ず測定値を記録すること。
- (12)抵抗 R_L の値調整に時間がかかる。はじめ $R_L=\infty$ (開放)にしたら、まず3種類のフィルタ回路のデータをすべて取ってから次の抵抗値 120k に変えるようにすると測定が早く完了する。
- (13)電源トランスは回路チェックが完了してからコンセントに接続し、すべての実験が終了したら速やかにコンセントから外すこと。

7. 研究事項

- (1) 各平滑化フィルタの特性を図 6 のようなグラフに表わし比較検討せよ。
- (2) 回路シミュレータ(LT spice)を使用して実験結果を考察せよ。ただし、回路シミュレータでのモデル化は電源トランスを除いた右側の回路だけでよい。LT spice の使い方はウェブに解説がある。
- (3) 整流出力特性をよりよくするには、平滑化フィルタを多段化して等価的にL、Cの値を大きくする方法がある。しかし、一般にはツェナーダイオードを使った直流安定化回路(電圧レギュレータ)が良く使われる。この動作原理を調べよ。
- (4) 本実験で使用したすべての種類の電圧計・電流計の適用周波数範囲を調べてまとめよ。

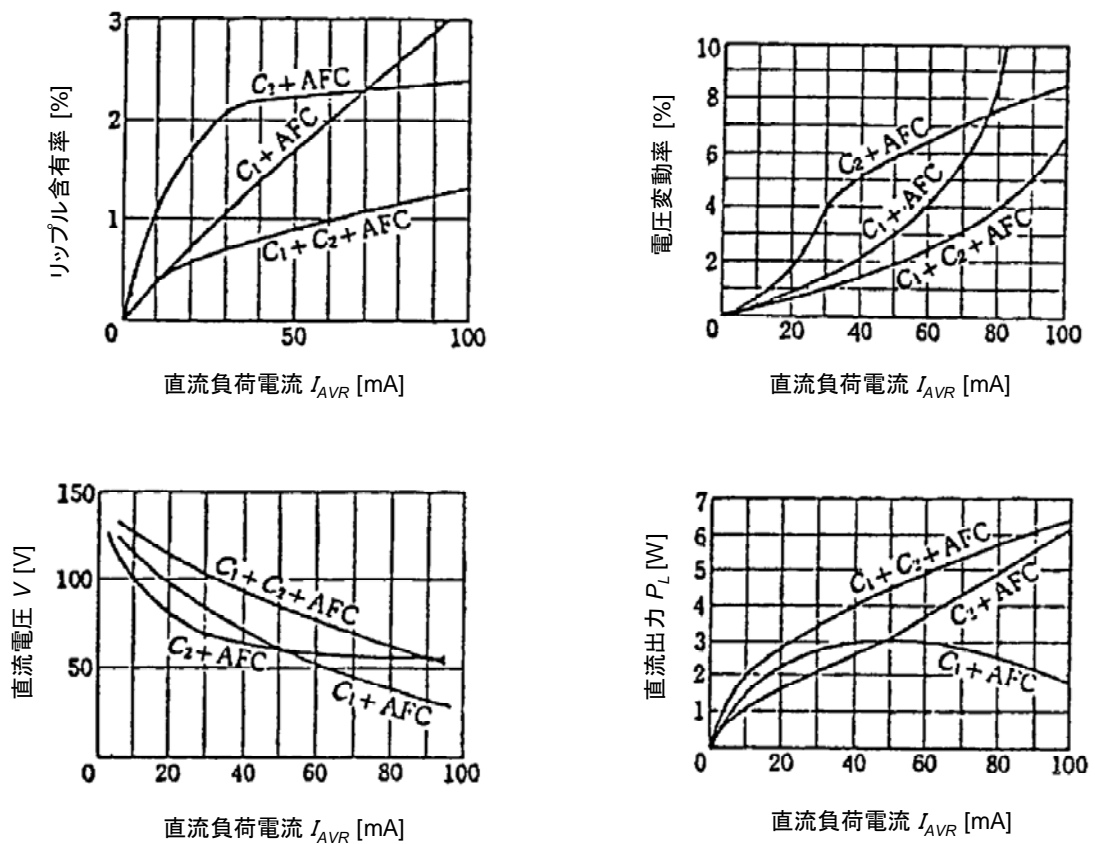


図 6. 平滑化フィルタの特性例

C_1+AFC :コンデンサ入力形、 C_2+AFC :チョーク入力形、 C_1+C_2+AFC : π 形に相当する。

【参考文献】

1. 整流回路に関する文献

- [1] 松下電器工学院 ``基礎電子工学 電子回路編Ⅱ” pp.198-213, 廣済堂出版
- [2] 大熊 ``図解でわかるはじめての電気回路” pp.355-374, 技術評論社
- [3] 大熊 ``図解でわかるはじめての電子回路” pp.57-71, 技術評論社
- [4] 須田、土田 ``電子回路” pp.197-210, コロナ社
- [5] 小郷 ``電子回路 増補版” pp.221-235, 実教出版
- [6] 堤坂、大庭 ``テキストブック無線通信機器” 14 章, 日本理工出版会

2. 電圧計・電流計に関する文献

- [1] 菅野 ``改訂 電磁気計測” 3 章, コロナ社
- [2] 南谷 ``よくわかる電気電子計測” 2 章, オーム社
- [3] 大照 ``新電磁気計測” 2 章, コロナ社
- [4] 小滝、島田 ``電子計測” 2 章, 東京電機大学出版局

【レポートについて】

- (1) 実習結果や測定結果に関する表やグラフは必ず各自で作成すること。
- (2) 本実験テキストのワードファイルはダウンロードできるが、目的、原理、測定系、注意事項、トラブル事例については手書きすること。
- (3) 実験テキストの改善点提案や間違い箇所の指摘など、以降の学生実験にとって有益なアドバイスがあれば加点する。

【トラブル事例の記録】

- (1) 回路配線は問題ないのにヒューズが何度も飛ぶ。
⇒ 回路と電子電圧計を接続する平衡-同軸変換コネクタの信号線とグラウンドが内部で導通していた(デジタルマルチメータの導通チェックモードで確認)。ケーブルを交換したらヒューズが飛ばなくなった。[2009/12/22 解決済]
- (2) 電源コードを挿したまま、トランス出力の配線をはずしてしまった。⇒先端コードがショートしてトランスから煙が出た。異臭にすぐ気がついたため、トランスの故障には至らなかった。
- (3) 負荷抵抗を焦がした。⇒負荷抵抗は許容電力 12W です。表 2 に記載された負荷端子の通りに分圧して接続すること。

【よくあるQ&A】

- (1) LT spice の時間波形解析ができない。⇒Stop time が適切な値か設定を再確認する。
- (2) LT spice で全波整流回路単体の解析はできるが、フィルタ回路を入れると解析できなくなり画面がフリーズする。⇒グラウンドを電源側に配置するとフリーズする。グラウンドは負荷抵抗側に配置すること(下図参照)。[2012/11/28 解決済]
- (3) LT spice の全波整流波形が見られない。⇒オシロスコープで測定しているのは負荷抵抗の電位差です。LT spice でも負荷抵抗の電位差が見られるように、結果グラフ上で引き算の演算処理をする。

