＜特集／電源と波形＞

リップルとは何か

中 井 俊 晴*

What is Ripple, and the Definition of Pulsating Factor ?

Toshiharu NAKAI*

“リップル”，“脈動率”という用語が使用されているが，必ずしも同一内容を示していないことと，その整理統一が早急に必要なことについて述べる。

1. はじめに

従来，金属表面技術を含めた各分野において，“リップル”，“脈動率”という用語が使用されているが，それらはその使用された年代，あるいは使用する人の技術的背景（専門分野）によって必ずしも同一内容を示していない。今後の混乱を防ぐためにその現状を述べると共に，少なくとも金属表面技術の分野における早急の整理統一を提案する。

2. “リップル”とは何を意味するのか

単にリップル (ripple) という場合，それがある種の波形を示すための用語として使用される場合と，脈動率を示すための用語として使用される場合とがある。（リップルをリプルと書いてある場合もある。）以下用語としてどのような使われ方をし，又どのような内容を示しているのかという問題と，脈動率の定義も種類でなくいくつかの種類があるという問題とに分けて，それぞれがその使用された年代，使用する人の技術的背景（専門分野）の違いによってどのように異なっているのかについて述べる。

3. 事例をひろい出した資料の概要

英和辞典

電気工学ハンドブック { 古いもの
最近のもの

半 導 体 関 係 資 料 { 古いもの
最近のもの

金属表面技術関係資料 { 国内技術書
外国技術書
整流器メーカーのカatalog
規格用語集

4. 用語としての“リップル”の使われ方，またその内容

4-1 英和辞典

英和辞典で“ripple”を引くと，動詞と名詞とあるが，名詞の欄に次の様に記載されている。
「さざ波，波紋，さざ波の（ような）音，さざめき，地面の小さいでこぼこ，（リボンなどの）ひだ，（毛髪などの）縮れ，ウェーブ，波紋の様に広がって行くもの。¹⁾」

4-2 電気工学ハンドブック

a) 古い版のもの

* 四国電機㈱ 代表取締役

〒110 東京都台東区上野 5-3-4

☎ 03-834-4596

*Shikoku Electric Works Co., Ltd.

3-4, Ueno 5-chome, Taito-ku, Tokyo 110

図1 各種整流器電圧電流使用範囲

当時の技術的背景は整流器の立場から見ると、図1²⁾で明らかな様に、水銀整流器、機械式整流機が主流で、乾式整流器として主としてセレン整流器が用いられ、ゲルマニウム整流器、トランジスタ等が使用され始めた時代である。

“リップル”という用語を探してみると、索引には一つだけ載っており「リップル（高調波）³⁾」とある。これは回轉變流機（ベルトローとは異なる機械であるので注意）の特性の章に記述されており、次のごとくである。「回轉變流機における直流側のリップルは直流発電機のリップルと同じ原因によって起る外に次の原因によって起る。…⁴⁾」

b) 最近の版のもの

“リップル”という言葉は索引には載っていない。回轉變流機の特性の章も内容量が減らされており、古い版における前記の文章は現在はない。試みに“高調波”という言葉を探すと次の様に記載されている。「高調波 high harmonics, 高調波電流 harmonic current⁵⁾」。又“脈動率”は次の様に記載されている。「脈動率 pulsation factor, 脈動電流 current pulsation⁶⁾」。

4-3 半導体関係資料

a) 古いもの

脈動率の説明文の中に“リップル”という言葉で次の様な使い方をしているものがある。「総合脈動率：脈動波のリップルの実効値 A_r の脈動波平均値 A_d に対する百分率⁷⁾」。

b) 最近のもの

サイリスタ関係をしらべた所、次に記す様に同一内容のものを異なった用語で表示しているものがあつた。

「脈動率(%)⁸⁾」→「リップル率(%)¹⁰⁾」

「電流の脈動率(%)⁹⁾」→「リップル電流(%)¹⁰⁾」

4-4 金属表面技術関係資料

a) 国内技術書

(i) 「自動制御に磁気増幅器を使用した場合、交流側の波形がひずみ、これが直流側のリップルを増し、めっきに悪影響を与えることがある。一例をあげると、三相全波の場合、整流回路の脈動率が4.2%くらいのもので12~13%とリップルが約3倍くらいに増加することがある。¹¹⁾」

(ii) 「単相全波：リップル48%，三相半波：リップル21%，三相全波：リップル5%¹²⁾」

(iii) 「めっき用としては脈動（リップル）の最も少ない三相全波方式のものをを使うのが良い。単相全波脈動率52%，三相半波脈動率20%，三相全波脈動率4.5%¹³⁾」

(iv) 「脈動率（リップル）¹⁴⁾」

(v) 「図2はSCR回路（可飽和リアクトルもほとんど同様）の位相制御方式であり、定格電圧の場合は理論値のリップルに近いが定格出力以下に近づくにつれリップルが低下する大きな欠点がある。¹⁵⁾」

(vi) 「なお、サイリスタ整流器、電圧調整リアクトル（可飽和リアクトル）を用いたシリコン整

図2 六相半波整流器の抵抗負荷におけるリップル対位相制御角

流器は、電圧制御によって波形歪みが大きくなるため、リップルが増加し、めっきに思わぬ支障をきたすことがあるので注意を要する。¹⁶⁾」

Ⅶ) 「貴金属のめっきには直流出力波形が平滑化されたもの（波形のリップル成分が小さい）が好ましく、¹⁷⁾」

「リップル減衰率 $r = \frac{\Delta E_0}{\Delta E_1} \times 100$ (%)¹⁸⁾」

「供給電圧波形のリップルを制限する必要があるため直流リアクトルを内蔵する場合がある。¹⁹⁾」

「この場合の正逆通電比は波形のリップル周波数をパルス列にて電子制御するので、電源周波数 50 Hz 地域では ≈ 3.3 ms, 60 Hz 地域では 2.8 ms で可変設定できる。²⁰⁾」

b) 外国技術書

「Ripple content: With traditional control, the ripple content of the D.C. output from a three-phase rectifier remains constant at about 5 per cent throughout the range of the voltage control. Thyristor control by its very nature, also gives 5 per cent ripple at full rated voltage, but as the voltage reduces, the output from the rectifier tends to become more pulsating and at very low voltages provides a series of D.C. pulse.²¹⁾」

c) 整流器メーカーのカatalog

(i) 「またリップルも最小となり、安定した使用条件を保障します。²²⁾」

(ii) 「リップルも少なく安定した波形。²³⁾」

(iii) 「リップルはrms値5%以下を実現しました²⁴⁾」

d) 規格用語集

(i) 「I S O 番号 585 … ripple … (邦訳) 脈動率, リップル, ²⁵⁾」

(ii) 「り 003 リップル→み 019 … ripple^{※※}, み 019 脈動率→り 003 … ripple^{※※}。

註 記号について, ※マークはJ I S用語に使用される用語, ※※マークはI S O用語に使用される用語, を表する。²⁶⁾」

(iii) 「リプル ripple: 指示値, 表示値又は供給値の平均値付近における, 周期的であるが非正弦波状の好ましくない変化。²⁷⁾」

註 この資料には“脈動率”の項目はない。

“リップル”の次に“リップル電圧”, “リップル電流”

図3 パルス波形の一例

という項目があるが、いずれも電子機器用電解コンデンサに関する用語である。

5. “リップル”のイメージに近い内容で最近使用されている用語

a) 脈動電流

「直流に交流の重なった電流を脈動電流という。²⁸⁾」

b) 脈流 (pulsating current)

「直流と交流の重畳したもので、普通大きさは変わるが方向の変わらないものをいう。²⁹⁾」

c) パルス (pulse)

(i) 「パルス (pulse) とは脈搏にはかなりません。試みに自分の脈搏をしらべてみますと図3のような感じを受けるでしょう。これが代表的なパルスです。一般にパルスと呼ばれていますが、これを強いてむずかしく衝撃波と呼ぶこともあります。直流でもなく、正弦波の交流でもない、断続された電流はすべてパルスと考えても、大きな間違いとは言えません。³⁰⁾」

(ii) 「パルス pulse: 定常状態から振幅が遷移し、有限の時間だけ持続して元の状態に戻る波又は波形。³¹⁾」

6. “脈動率”の内容(定義)

6-1 これまで使用された実例とその定義

a) 電気工学ハンドブックの古い版のもの

「電圧脈動: 機械的, 電氣的, 磁氣的の不均整のため発生電圧には脈動を生じる。図4において電圧脈動率は次式で示される。

$$\text{電圧脈動率} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\text{mean}}} \times 100 (\%)^{32)}$$

b) 電気工学ハンドブックの新しい版のもの

「電圧脈動: 機械的, 電氣的, 磁氣的の不均整のために発生電圧には脈動が生じる。図4において電圧脈動率は次式で示される。

図4 電圧の脈動

図5 電流の脈動

$$\text{電圧脈動率} = 2 \left(\frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \right) \times 100 (\%)^{33)}$$

「電流脈動の割合を示す方法として、一般に次のような表現法が用いられる。

$$\text{全振幅脈動率 } \mu p = (I_{\max} - I_{\min}) / I_{\text{mean}}$$

$$\text{総合脈動率 } \mu e = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} / I_{\text{mean}}$$

極値脈動率（脈流率）

$$\mu r = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$$

ただし、 I_n ：脈動電流の高調波成分（実効値）(A)

$I_{\max}$, $I_{\min}$, I_{mean} ：図5参照

また脈流率 μr は車両関係でよく用いられる表現法である。³⁴⁾」

c) 半導体関係の古い資料

(i) 「1. 総合脈動率、脈動波のリップルの実効値 A_r の脈動波平均値 A_d に対する百分率

$$\text{総合脈動率 } PC = \frac{A_r}{A_d} \times 100 (\%)$$

(ii) リップル実効値は、各調波実効値 A_n の2乗和の平方根 $A_r = \sqrt{\sum A_n^2}$

2. 振幅脈動率 脈動波の最大値と最小値との差の脈動波平均値に対する百分率。³⁵⁾」

(ii) 「普通この脈動電圧と直流電圧との百分率をもって脈動率〔%〕を表わす。この場合脈動電圧の表わし方には二様あり、一つは直流脈動電圧の極大値と極小値との差 ΔE をもって表わす。他

は直流脈動電圧をフーリエ級数に展開した場合の交流分の実効値 E_a をもって表わす。

もちろんこの場合は各倍調波について考えるべきであるが、普通は基本波のみを問題にしている。しかし本書ではすべて前者すなわち $(\Delta E / E_m) \times 100 (\%)$ をもって表わし特に交流分実効値 E_a を考慮した場合は、 $\Delta E \div 2\sqrt{2E_a}$ とみなす。³⁶⁾」

d) 半導体関係の新しい資料

「脈動率〔%〕：脈動波の各調波実効値の二乗和の平方根の脈動波平均値に対する百分率、すなわち

$$100 \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I(AV)} \right)^2 - 1} (\%)^{37)}$$

7. 問題点

7-1 “リップル”の用語としての問題点

筆者が集めた資料から全体的に判断すると次の様な事がいえる。

a) 30年程以前（4-2のaの時代）には正弦波、あるいは平流をベースにして、その上に生ずる高調波等の脈動及びその脈動率を“リップル”と呼んでいた様である。

b) 最近の電気工学ハンドブックには、リップル”という用語はほとんど使用されていない。

c) 金属表面技術の分野では最近の資料でも、“リップル”，あるいは“リップル（脈動率）”という用語が使用されている。そして用語としての“リップル”の使い方はその示す内容が不統一、不揃であり又脈動率はその定義を併記しないで使用されているのがほとんどである。

d) 電気工学全体から考えると、どちらかという技術用語として生命を失ったと思われる言葉を、金属表面技術の分野において習慣的に現在に至るまで使用している様に思われる。

7-2 “脈動率”の内容（定義）について

a) 脈動率の定義は一種類だけであると考えている人が多い、

脈動率の定義には幾つかの種類があることを知っている人は少ない。特にある時期にきちんと勉強、研究した人ほど、反作用が大きくなる。具体例をあげると、30年程以前に研究した人は脈動率

とは 6-1 の a に定義されたもの
〔電圧脈動率 = $\frac{E_{max} - E_{min}}{E_{mean}} \times 100 (\%)$ 〕 と思っ
ている。一方最近のサイリスタ関係の資料で勉強
した人は脈動率とは 6-1 の d に定義されたもの

〔電圧脈動率 = $100 \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I_{(AV)}}\right)^2 - 1} (\%)$ 〕

と思っている。

b) 脈動率という用語を使用してその定義が明
らかにされていない資料が多い。

脈動率という用語が使用されていて、その定義
が併記されていない資料が多い。さらに脈動率の
数値が掲載されていて、その数値がどの様な定義
によるものかを明らかにしているものは非常に少
ない。

表 1 は筆者の手元にある資料について、上記関
係を調査した一覧表である。内容量が多く、限ら
れた時間で調査するため、資料全体を調べる事が
出来なかったので、調査した範囲を示す頁数を併
記しておいた。表中の資料の内容は下記の通りで
ある。

A : 鍍友会編 : めっきの技術と設備 (1959)

- B : 加瀬敬年編 : めっき技術者必携 (1977)
C : 友野理平著 : 実用めっきマニュアル (1971)
D : 丸山 清著 : めっき技術 (1968)
E : 東京鍍金材料協同組合技術委員会 : 電気めっ
き技術ガイドブック (1979)
F : 金属表面技術協会編 : 金属表面技術便覧(1973)
G : めっき技術便覧編集委員会編 : めっき技術便
覧 (1982)
H : 日本プレATING協会編 : 現場技術者のた
めの実用めっき(II) (1982)
I : 鷗飼, 岸, 豊永, 三田編 : 表面技術総覧(1983)
J : 株式会社千代田 : 整流器の栞 (1976)
K : 株式会社中央製作所 : Hi - Mini 取扱説明書
(1982)
L : 山村, 西村 : サイリスタ実用便覧 (1978)
M : 電気学会 : 電気工学ハンドブック (1981)

c) 脈動率数値の統一的材料がないこと

前記のごとく脈動率の定義が併記されていない
脈動率の数値が多いので、特殊な波形については
その比較、整理等が非常に困難であるが、それと
共に困まる事は同一の脈動率定義によるものと思

表 1 脈動率という用語を使用してその定義表示有無の一覧表

資料	調 査 範 囲 頁 数	脈動率についての記載			
		呼 び 名	数 値	定 義	定義の内容
A	208~246	脈 動 率	あり	なし	
B	298~307	脈 動 率	あり	なし	
C	41 ~ 44	リ ッ プ ル	あり	なし	
D	327~348	脈 動 率	あり	なし	
E	378~396	脈 動 率	なし	なし	
F	260~289	な し	なし	なし	
G	40 ~ 53 365~369	脈 動 率 (リップル)	あり	なし	
H	267~321	基 本 調 波 脈 動 率	あり	なし	
I	276~531 833~880	脈 動 率 リ ッ プ ル	あり	なし	
J	全	リ ッ プ ル	なし	なし	
K	全	脈 動 率	あり	あり	RMSと表示
L	37 ~ 40	脈 動 率	あり	あり	総合脈動率
M	851~918	直 流 電 圧 脈 動 脈 動 率	あり	あり	全振幅脈動率

can be a very small change in ripple values for a very large change in the properties of deposits which are produced using such current supplies. Thus it has been necessary to modify this expression to that of formula 2 where

$$\% \text{ ripple} = \frac{100 \times \text{rms of a c component of d c output}}{\text{Applied plating d c}}$$

Formula 3 and 4 relate peak to peak values to ripple, that is

$$\% \text{ ripple} = \frac{100 \times \text{peak to peak values of a c component}}{\text{Nominal d c output}}$$

with formula 4 modified as formula 2 to deal with applied d c for plating, viz

$$\% \text{ ripple} = \frac{100 \times \text{peak to peak value of a c component}}{\text{Applied plating c d}}$$

Peak to peak measurements to determine a ripple are relatively easy for sinusoidal and other simple waveforms where peak values are constant, but in the case of more complex waveforms the formula for ripple requires extra mathematical treatment.

Formula 5 is the method of Hahn and Headman but has the problem that when current is discontinuous (oa = zero) the ripple becomes constant at 100%.³⁸⁾

8. おわりに

この30年間の直流電源機種の移り変わり、そしてそれによって作り出される直流波形の違い、又それらをもとにした各種の特殊波形等を考えると、現在は正に移り変わりとミックスの時期であるといえる。又、それに加うるに、従来は電気工学（強電）の範囲にあった金属表面処理用の整流器が、トランジスタ等半導体の進歩により、現状ではまだ小容量ではあるが電子工学（弱電）の分野からも供給され始めた事である。特に研究用としてはかなりの割合で供給されている。

すなわちこれまでは強電（現在では強電、弱電という分け方も時代おくれであるという意見もある）の分野で通用する用語・定義等によって大体統一されていた金属表面処理用の直流電源が、弱電という違った分野からも持ち込まれ、その分野特有の用語・定義等も持ち込まれて来ているという事である。

整理統一の必要のあるものは“リップル”、“脈動率の定義”の他にもいくつか考えられるが、とにかく気付いたものから一つづつでも整理統一して行くべきであると考え、こゝに提言する次第である。

「中井氏の調査により、私達が日頃使用しているリップルに対し、新しい提言がなされました。この論文に対して色々な御意見をお待ちの読者も多いと思いますので、御投稿をお待ちします。

実技主査 黒田孝一」

参 考 文 献

- 1) 小学館：英和中辞典，P. 1526（1982年版）
- 2) 電気学会：電気工学ハンドブック P. 729（1956年版）
- 3) 同 上 P. 2117
- 4) 同 上 P. 587
- 5) 電気学会：電気工学ハンドブック P. 2043（1981年）
- 6) 同 上 P. 2114
- 7) 電気学会 標準規格 JEC-155：半導体整流装置（その1）P. 6（1963年）
- 8) 山村，西村，サイリスタ実用便覧 P. 37（1978）
- 9) 同 上 P. 38
- 10) 清水，岡：サイリスタハンドブック P. 155
- 11) 丸山 清：めっき技術 P. 348（1968）
- 12) 友野理平：実用めっきマニュアル P. 42（1971）
- 13) 加瀬敬年：めっき技術者必携 P. 300（1977）
- 14) めっき技術便覧編集委員会編：めっき技術便覧 P. 48（1981）
- 15) 同 上 P. 52
- 16) 日本プレーティング協会編：現場技術者のための実用めっき（II），P. 311（1982）
- 17) 鶴飼，岸，豊水，三田編：表面技術総覧 P. 518（1983）
- 18) 同 上 P. 520
- 19) 同 上 P. 524

- 20) 同 上 P. 525
- 21) Canning : The Canning Handbook, P. 235 (1982)
- 22) ㈱三社電機製作所 : 金属表面处理用電源機器カタログ P. 13 (1983)
- 23) ㈱千代田 : SPS シリコン整流器カタログ P. 2
- 24) ㈱中央製作所 : めっき用小型整流器カタログ P. 1 (1983)
- 25) ISO/ TC107/ SC1 日本委員会 : ISO2079, ISO2080 の紹介並びに JIS 用語との関連について
- 26) 金属表面技術用語編集委員会 : 金属技術用語集, P. 155, P. 149 (1981)
- 27) 財団法人規格協会 : JIS 工業用語大辞典 P. 1267 (1982 年)
- 28) 電気学会 : 電気工学ハンドブック P. 63 (1981)
- 29) 蓮見孝雄監修 : 電気工学必携 P. 54 (1978)
- 30) 小柴典居, 佐々木博文共著 : トランジスタ, パルス回路 P. 9 (1980)
- 31) 財団法人規格協会 JIS 工業用語大辞典 P. 965 (1982)
- 32) 電気学会 : 電気工学ハンドブック P. 566 (1956 年版)
- 33) 電気学会 : 電気工学ハンドブック P. 664 (1981 年版)
- 34) 同 上 P. 670
- 35) 電気学会 電気規格調査会標準規格 JEC-155 : 半導体整流装置 (その 1) P. 6 (1963)
- 36) 小谷鍬治 : 半導体整流器とその応用 P. 85 (1969)
- 37) 山村, 西村 : サイリスタ実用便覧 P. 37 (1978)
- 38) Davies: The Effect of Current Source on the Properties of Chromium Electroplate; Transactions of the Institute of Metal Finishing, P. 55, Vol. 51, 1973

次 号 予 告

解 説	表面处理品の欠陥とその対策鈴木 健生〔愛知県工業技術センター〕 新しいエンジニアリングプラスチックの表面处理山口章三郎〔工学院大学〕 アルミニウム・イオン真空蒸着のコーティング皮膜性能町田 清一〔日商岩井エアロスペース(株)〕
シリーズ	皮膜のポロシティー福田 芳雄〔金属材料技術研究所〕
現場の知恵	ブラめっき不良 変わり種村田 信〔村田メッキ技術相談所〕
フォト・サロン	めっき皮膜の破面 —延性破壊とぜい性破壊—榎本 英彦〔大阪市立工業研究所〕