

マルチバイブレータにおける臨界現象

明治鍼灸短大物理 森 本 安 夫

(1982年9月30日受理)

要 旨

バッファアンプとノットゲートからなるマルチバイブレータにおいて発振周期は正帰還ループを為す C と R によって定まる。 C ＝一定で R を変化させると、臨界値 R_C を越えると発振は停止する。 R が適当な範囲の値であれば周期はほぼ $0.7CR$ で与えられるが、 R がその範囲を越すと、それより長くなり余分な増加を示す。制御変数を $\beta = 1 - R/R_C$ とし、 $0.7CR$ より余分に増加した周期の部分を ΔT_P と書くと $\Delta T_P \propto \beta^{-0.5}$ と表わされ、 0.5 と言う臨界指数で表わされる。 ΔT_P の出現と同時に周期の揺ぎが生じる。揺ぎの分散に相当する量、 δT_P はやはり $\delta T_P \propto \beta^{-2.0}$ となり、臨界指数、 2 で表現される。他の不連続発振器の例と同じく、周期が秩序変数となった。なお、 1 以外の臨界指数が見出されたのはこれが初めての例である。

§1 序論

本誌38巻, No.4及び6^{1,2)}において不連続波発振器であるブロッキング発振及びマルチバイブレータにおける臨界現象の例を報告した。各れの例においても付加的な抵抗をとりつけてその値を変化させ、回路中のある点のバイアスを下げて強引に発振-非発振の転移を誘起させた。転移点近傍で秩序変数に相当する量が臨界指数で表わされたり、対数的発散を示す等、一種の臨界現象が観測された。そこで特徴的なことは、秩序変数は発振振幅ではなく発振の周期(あるいは周波数)であったことで、従来報告されていた連続波発振器、例えばウィーンブリッジ発振器での臨界現象^{3,4)}とはかなり異なる現象であることが強調されている。唯残念なことに1), 2)での発振-非発振の転移の起させ方が強引にすぎて、ウィーンブリッジ発振器の転移における如く“自然”な形での転移ではないので、もう少し“マトモ”な転移ではどうなるのか、少しばかり不安が残っていた。そこでも同じ現象が起るのだろうか? それを確かめる為にマイコン等の簡単なクロックジェネレータに使用されているデジタルICを用いたマルチ

* MORIMOTO, Yasuo

森本安夫

バイブレータに注目し、周期を決めている抵抗の値をパラメータとして発振の変化を観測することにした。この場合は1), 2)の場合程強引ではないだろう。少なくとも付加的な素子はない。結論を言えば、ここでもやはり同じように周期が秩序変数の役割を果たしていた。そして1), 2)と同じような臨界現象をみることができた。

周期が秩序変数的な役割を果たすのは一般的であることを更に強く示している。次節においては回路の説明と実験結果を示す。§3では本回路での臨界現象について特徴的なことを簡単に議論する。

§2 回路と実験結果

実験に用いたマルチバイブレータの回路を図1(a)に示す。これは「トランジスタ技術」等のエレクトロニクス雑誌でおなじみの、マイコン等の簡便なクロックジェネレータとしてよく用いられているものである⁵⁾。通常は発振周期を決める時定数を構成する C, R は2組必要であるが、これは1組でいけるように工夫されたものである。バッファアンプはSN 7400、2ケで、ノットゲートは1ケで構成されている(図1(b))。この回路の動作については極く普通のエレクトロニクスの教科書を参照して頂きたい。

$C = 10 \text{ nF}$ の時 $R \leq 4.6 \text{ k}\Omega$ ではその発振周期、 T_P は $0.7 CR$ で与えられ、デューティ比はほぼ0.2である。 R を大きくしてゆくと、臨界値 $R_C (= 6.36 \text{ k}\Omega)$ を越すところで発振は停止する。これはノットゲートからバッファアンプへのバイアスの帰還が、 R とバッファの入力抵抗によって分割され、この値が7400のスイッチングレベルより低下してしまい、バッファアンプがスイッチングされなくなる為である。

$4.6 \text{ k}\Omega < R < R_C$ の範囲では T_P は $0.7 CR$ の関係から外れ増大し始める。その様子は図2に示されている。図中の点線は $T_P = 0.7 CR$ と言う関係を延長したものである。この関係から外れ、余分に増加した部分をいつものように^{1,2)} ΔT_P とする。又これも先の例のように制御変数を $\beta = 1 - R/R_C$ と定めて $\Delta T_P - \beta$ を書くと図3のようになり、 $\Delta T_P \propto \beta^{-0.5}$ であることが解る。 -0.5 と言う臨界指数で表現されることは明らかである。 ΔT_P がはっきり分る領域では周期の揺ぎが顕著になってくる。その程度を表わす量

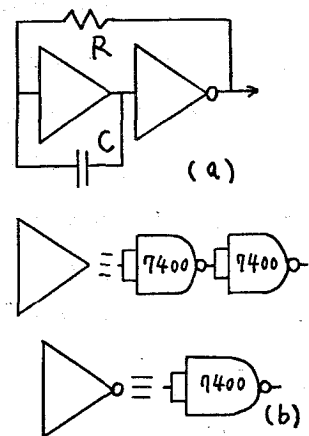


図1 実験に用いたマルチバイブレータ回路 (a)。 $C = 10 \text{ nF}$ である。(b)は各回路要素の実際の構成を示す。ナンドゲートはTI社のSN 7400である。

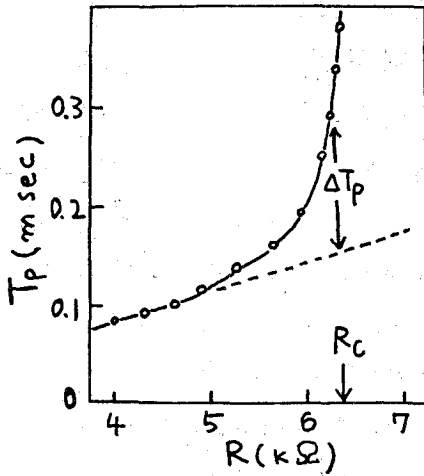


図2 T_P の R 依存性

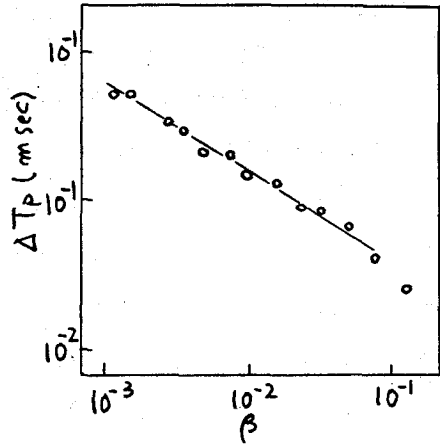


図3 ΔT_P の β 依存性

として、これも先程の例のように、揺ぎの分散に相当すると思われる量、 $\delta T_P = |T_P - \langle T_P \rangle|$ を考えて、その β -依存性を測定すると、図4に示す如く、 $\delta T_P \propto \beta^{-2.0}$ となり、やはり臨界指数で表わされ、その値は -2 である。周期に揺ぎが生じるのは R_C 以上での発振の停止の理由と類似の理由によるものである。即ち R とバッファアンプの入力抵抗により分割された帰還入力にバッファアンプのスイッチングレベルと同程度となり、入力電圧のわずかな揺ぎ又はスイッチングレベルのわずかな揺ぎ（どちらも主に熱的なものだろう）がバッファアンプのスイッチングに影響を与え、それが周期を揺がせることになる。

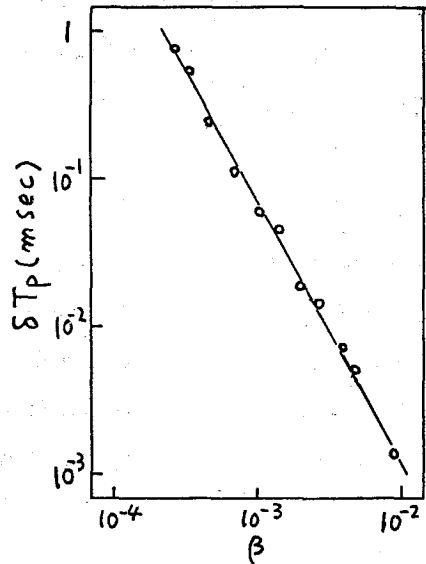


図4 δT_P の β 依存性

図3、4は1)、2)の例と同様な臨界現象がこの回路でも生じていることを示している。即ち秩序変数は ΔT_P であり、それは臨界指数 -0.5 で表わされ、その臨界揺動を表わすのが δT_P であり、こちらは -2 という臨界指数で表わされる。

§3 議論とまとめ

図1に示すようなマルチバイブレータにおいても、やはり1)、2)と同様な発振周期におけ

森本安夫

る臨界現象が発生していることが明らかになった。先の2例と同じく、 ΔT_P が秩序変数の役割を果し、その臨界揺動が δT_P で表わされる。共に臨界指数で表わされるような発散を示しその値は各々0.5及び2であった。先の2例と比べて特に強調されるべきかどうかは定かではないが、この実験では発振—非発振の転移はかなり自然な形で実現している。付加的な回路素子で無理矢理転移させたものではない。このような時にでも、これらの系に特徴的な臨界現象が観測されたと言うことは、周期（又は周波数）が不連続波発振器においては秩序変数の役割を果すというのは一般的な事実とみなすことができるようである。最後に強調しておきたいのは臨界現象の現われ方が不連続波発振器においては非常に変化に富んでいると言う点である。ウィーンブリッジ発振器等でみられる臨界的な振舞いは、ほとんどが臨界指数、1で表わされるが（又はその組み合わせとして2と言う値もみられる）、これらの例では、臨界指数としては0.5、1及び2が既に得られており、他に対数的発散が見出されている。

このような豊富さはおそらく、発振—非発振の転移の起り方の豊富さの反映であろうと思われる。今後種々の方式の回路で種々の方法で転移を起させ、いろんな種類の臨界的な振舞いを追及してゆく予定である。

参考文献

- 1) 森本安夫, 物性研究 38 (1982) 173.
- 2) 森本安夫, 物性研究 38 (1982) No. 6
- 3) T. Kawakubo, S. Kabashima and M. Ogishima, J. Phys. Soc. Jpn. 34 (1973) 1149.
- 4) P. M. Horn, T. Carruthers and M. T. Long, Phys. Rev. A14 (1976) 833.
- 5) 松本吉彦, トランジスタ技術, 1978年12月, p.223.