

コンピュータ理工学実験

第5単元: Ge-Radio/Inverter Chain

概要:

同調回路と発振回路を具体的に体験し、
コンピュータの中身がどう動いているかを理解する。

本単元の流れ: これまでの基礎知識を踏まえて

- 共振回路とGeダイオードでAMラジオを作る。(同調回路)
- コンピュータ素子 Inverterを用いて、フリップフロップ (FlipFlop: メモリの原理)、クロック動作(発振回路)をオシロスコープで観察し、理解する。

実験許可条件

- ・実験ノート・電卓を各自準備すること
- ・ハンドアウトなどの資料、グラフ用紙(メモのグラフなど)はバイндаへ(過去の資料も含めてまとめて手元で見れるようにする)

本日の課題2トピック

部品の数に限りがあるので、やれるところから実施して、
教員・TA/SAのチェックを受けていってください(115点満点)。

A: 『ゲルマニウム・ラジオ』の実験

(聞こえたら40点)

並列共振回路、ダイオードによる検波

B: 『インバーターチェーン』の実験

(教員・TA/SAに示せたら各15点)

基本論理回路(NOT 回路)、信号の高速伝搬と C, R の関係

- コンピュータが二進法(0 Vと 5V) で安定に動作する理由を理解する。
 - (15点) 1インバーターに5V三角波入力したときの入出力波形観察
 - (15点) 2インバーターを直列接続したときの入出力波形観察
- リング状インバーターが偶数/奇数個で振る舞いが異なることを確認する。
 - (15点) 2個(偶数個)のインバーターをリング状に接続し、入力を0V, 5V,に振って出力波形がどうなるかを観察(FF:フリップフロップ、SRAM の基本原理)
 - (15点) 5個(奇数個)のインバーターをリング状に接続して、出力波形観測(リングオシレータの発振現象、コンピュータのクロック、同期信号)
 - (15点) どれか一つのインバータの出力にキャパシタand/or抵抗器を挿入し、発振周波数の変化を観察(配線にも抵抗があるのでローパスフィルタに。)
(コンピュータ(=VLSI)が、高速で動作するためには何が必要か???)

A: 『ゲルマニウム・ラジオ』の実験 並列共振回路、ダイオードによる検波

通信の基礎:

- 共振回路の応用
- 振幅変調(AM) 参考) 周波数変調(FM)、位相変調(PM)
- 検波(or 整流)

使用素子:

$L=1\text{mH}$ と $C=22\text{pF}$ の組合せ

ゲルマニウム・ダイオード: OA90、(または Siダイオード)

10K Ω 抵抗、アンテナ線(4m程度x2本)

クリスタル・イヤホン→教卓に準備・実験時に使用

なぜ高い周波数の電波を使うのか

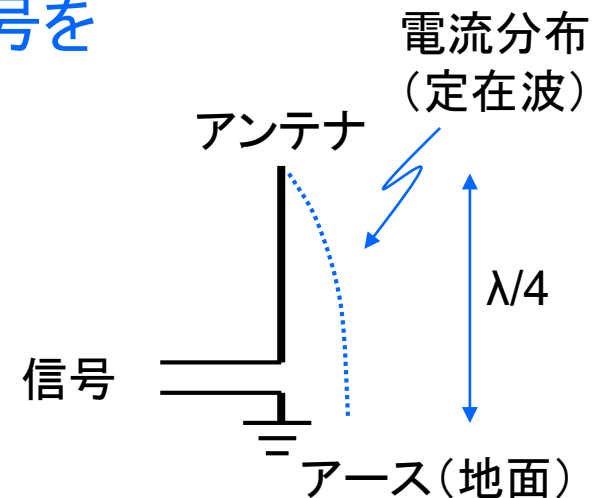
☆音声信号をそのまま電波にするとどうなるか

















周波数を3kHzとすると電波の波長 λ (ラムダ)は
 $\lambda = 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 3 \times 10^3 \text{ Hz} = 1 \times 10^5 \text{ m} = 100 \text{ km}$

アンテナの長さとして4分の1波長($\lambda/4$)は必要
→25kmの長さのアンテナが必要となり非現実的

∴高い周波数の正弦波(搬送波)に音声信号を
乗せる必要がある。
これを『変調』という。

☆チャンネル周波数を変えて混信を防ぐ



電磁界の種類	非電離放射線							電離放射線
	静電磁界	超低周波電磁界	中間周波電磁界	高周波電磁界			光	放射線
周波数	ゼロ	300Hz以下 (50/60Hz：電力設備) 超低周波	300Hz～ 10MHz (20～90kHz：IH調理器) 中間周波	10MHz～ 300MHz	300MHz～ 3GHz (2.45GHz：電子レンジ) マイクロ波	3GHz～ 3000GHz (3THz)	3THz～ 3000THz	3000THz以上
波長	なし	<div>←長10⁶m10⁴m10²m10m1m10⁻¹m10⁻³m10⁻⁴m10⁻⁷m10⁻¹⁰m短→</div>						
主な発生源 や 利用例	<ul style="list-style-type: none">・地磁気・磁石・鉄道・MRI <div></div>	<ul style="list-style-type: none">・電力設備・家電製品電源・鉄道 <div></div>	<ul style="list-style-type: none">・IH調理器・テレビ、パソコンモニタ・鉄道 <div></div>	<ul style="list-style-type: none">・ラジオ放送・テレビ放送 <div></div>	<ul style="list-style-type: none">・電子レンジ・携帯電話 <div></div>	<ul style="list-style-type: none">・BS(衛星放送)・太陽光 <div></div>	<ul style="list-style-type: none">・レントゲン <div></div>	
	<div>割当周波数間隔 (ラジオチャンネル間隔) アジア・オセアニアは9kHz</div>							
携帯電話								

割当周波数間隔
(ラジオチャンネル間隔)
アジア・オセアニアは9kHz

携帯電話

注：周波数「Hz(ヘルツ)」は1秒間に振動する数で、電磁波の伝わる速さ「 $3 \times 10^8 \text{m/秒}$ 」を波長で割った数です。

k(キロ) $=10^3$ 、M(メガ) $=10^6$ 、G(ギガ) $=10^9$ 、T(テラ) $=10^{12}$

電波の使われ方と波長

50m以上の
長さが必要

中波AM放送のアンテナ (会津若松市内)



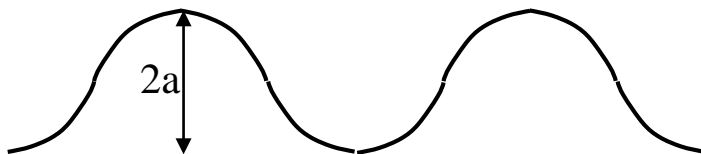
ラジオ福島(RFC):
会津若松市花見が丘(小田橋近く)



NHK第1&2:会津若松市宮町

振幅 (AM) 変調の波形

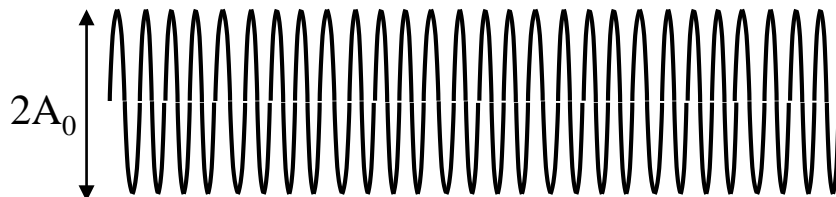
音声信号



a, A_0 : 振幅

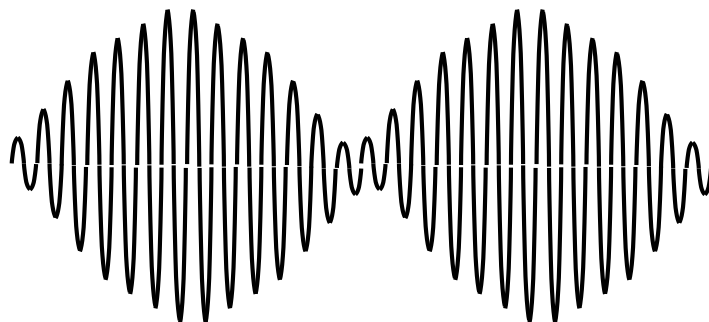
$a \cos 2\pi f_s t$: 最大で3kHz

搬送波信号



$A_C \cos 2\pi f_c t$: AMラジオは
500kHz~1.6MHz

変調された
搬送波信号



$A(t) \cos 2\pi f_c t$

$$= A_C \left(1 + \frac{a}{A_C} \cos 2\pi f_s t \right) \cos 2\pi f_c t$$

$$= A_C (1 + m_{AM} \cos 2\pi f_s t) \cos 2\pi f_c t$$

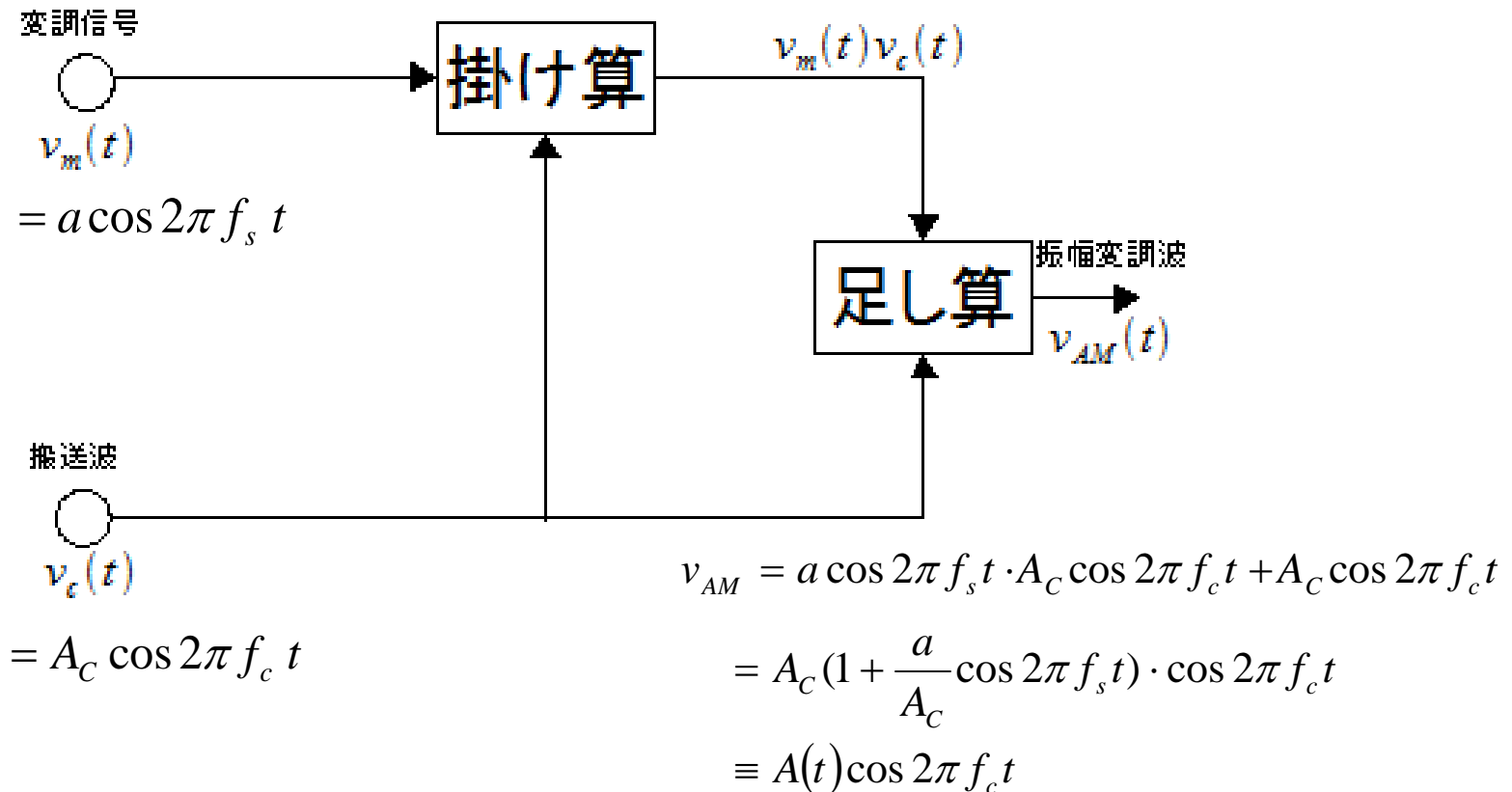
m_{AM} : 変調指数 (modulation index)

$$0 \leq m_{AM} \leq 1$$

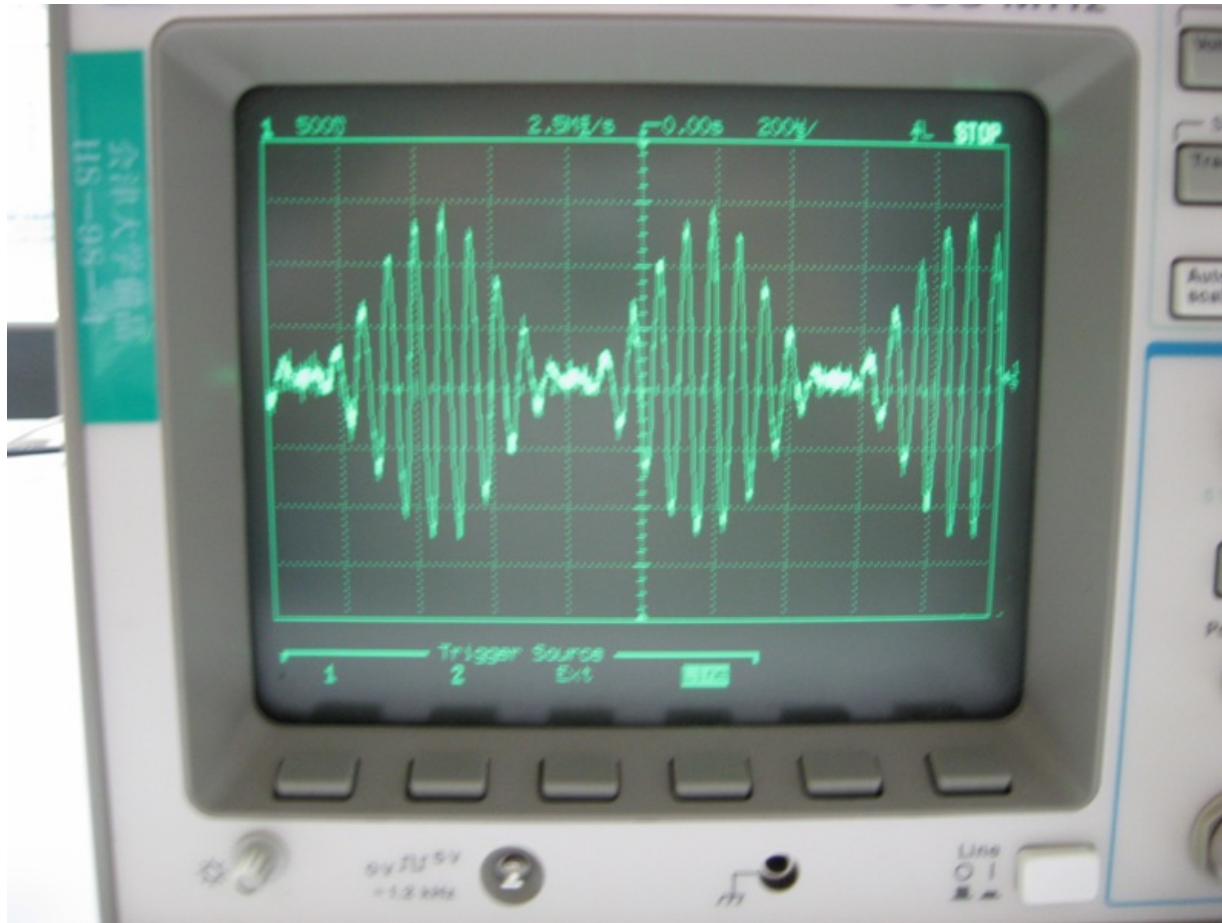
振幅変調 (AM変調) の場合:
高周波の搬送波信号の振幅を
音声信号で変化させる

振幅 (AM) 変調のやり方

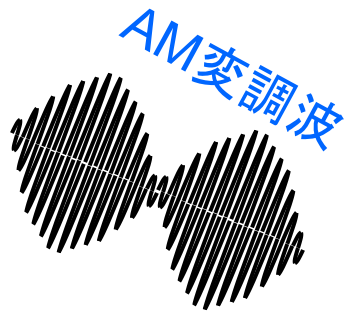
☆ 音声信号と搬送波を単に足すだけ(どうなる??)
では変調はできない → 掛け算が必須



実際のAM変調波形



搬送波(キャリア)周波数: 14kHz
変調信号周波数: 1.4kHz



課題回路 ーゲルマニウム・ラジオー

アンテナ配線用
導線を延ばす

同調回路

ゲルマニウム・
ダイオード: OA90

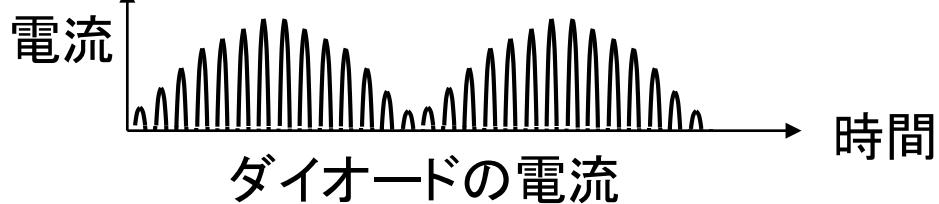
インダクタ
 $L=1\text{mH}$

容量
 $C=22\text{pF}$

共振周波数をあらか
じめ計算せよ。

LC並列共振回路

電流



ダイオードの電流
整流作用: 一方向のみ通過 → 検波

音

クリスタル
イヤホン

送信にはFGを使用

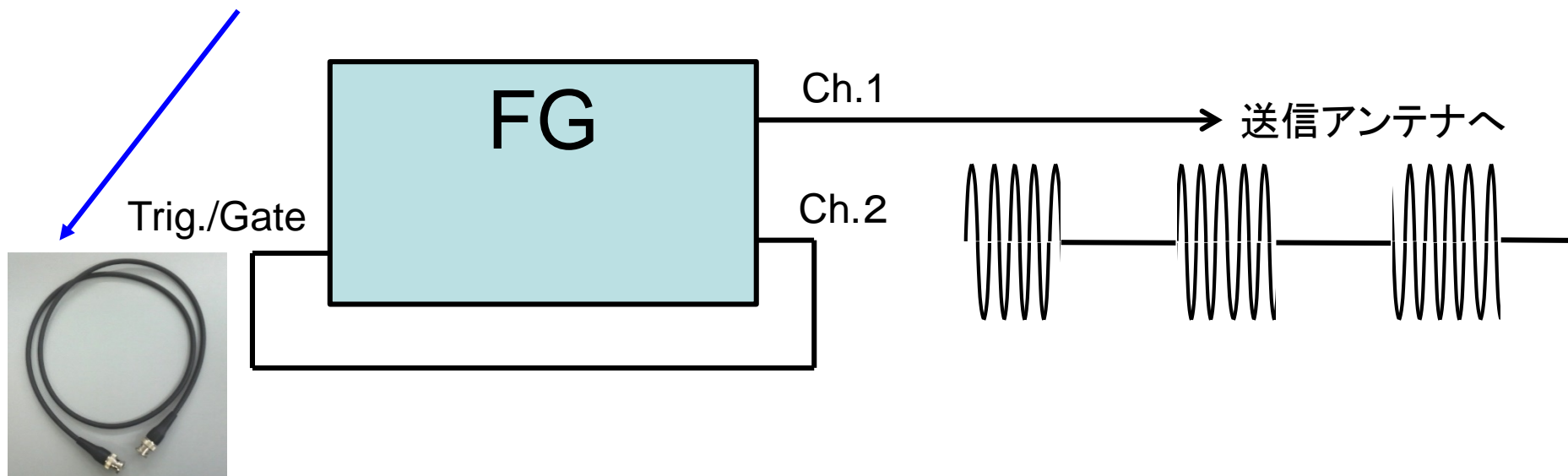
ここでは、放送局としてファンクションジェネレータを利用する。
ただし、搬送波をAM変調する際にアナログ変調はできないので、ゲーティング
(Gating)を利用してOn-Off (1/0) の二値変調をかける。

FG 設定

- Ch.1: 正弦波、周波数 LC 共振周波数付近、振幅 20V、オフセット 0V
出力は、送信アンテナへ。(搬送波として用いる)
- Ch.2: 矩形波、周波数(可聴周波数 とりあえず1KHz)、振幅 5V、**オフセット 2.5V**
(オフセットを2.5V にした理由は、0-5V の矩形波を作るため。)

出力は、FG裏側の **Trig./Gate**端子へ接続。

(機の引出し内にある、両方がBNCコネクタになっている同軸ケーブルを使用)



A: 『ゲルマニウム・ラジオ』の実験 並列共振回路、ダイオードによる検波

使用素子:

$L=1\text{mH}$ と $C=22\text{pF}$ の組合せ

ゲルマニウム・ダイオード: OA90、(または Siダイオード)

$10\text{K}\Omega$ 抵抗、アンテナ線(4m程度x2本)

クリスタル・イヤホン→教卓に準備・実験時に使用

課題の手順

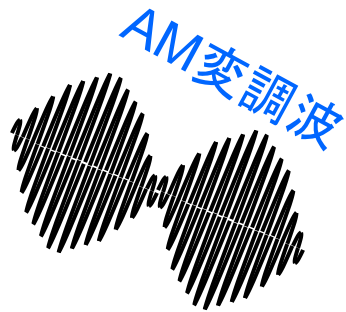
FG による送信機を準備（送信アンテナをつなぐ）
次のスライドの課題回路（ゲルマラジオ）を、各班で組立てる。

組立てたラジオに、「受信アンテナ」と「イヤホン」をつなぐ。

FGによる1kHzの矩形波で変調されているので、「ピー」と聞こえればOK。

イヤホンをラジオからはずして、ダイオード通過前のAM変調波形とダイオード通過後の検波された1kHzの方形波信号を、オシロスコープにより観測する。

注)ただし、今回のようなアンテナでは高いQは実現できず、広い周波数範囲で受信ができてしまう。



課題回路 ーゲルマニウム・ラジオー

アンテナ配線用
導線を延ばす

インダクタ
 $L=1\text{mH}$

共振周波数をあらか
じめ計算せよ。

LC並列共振回路

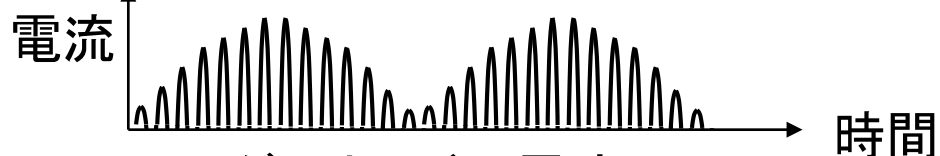
同調回路

ゲルマニウム・
ダイオード: OA90

実際には抵抗を挿入し
た方が聞きやすい！！

音

クリスタル
イヤホン



ダイオードの電流
整流作用: 一方向のみ通過 → 検波

課題回路(FGを送信機とする！)

ーゲルマニウム・ラジオー

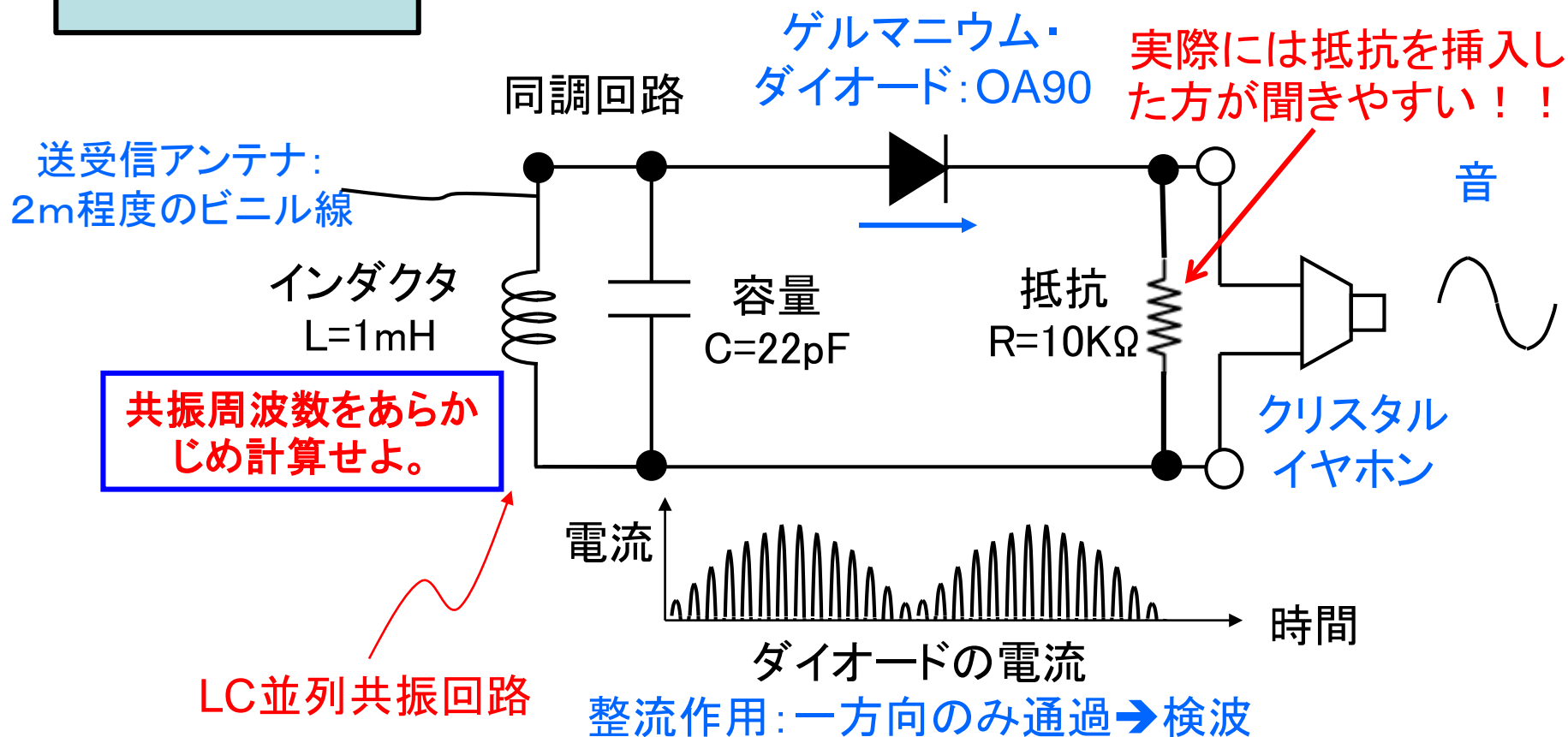
FG

Ch1: 搬送波
正弦波
Ch2: 変調波
矩形波 > Gating

Ch1: 送信アンテナへ

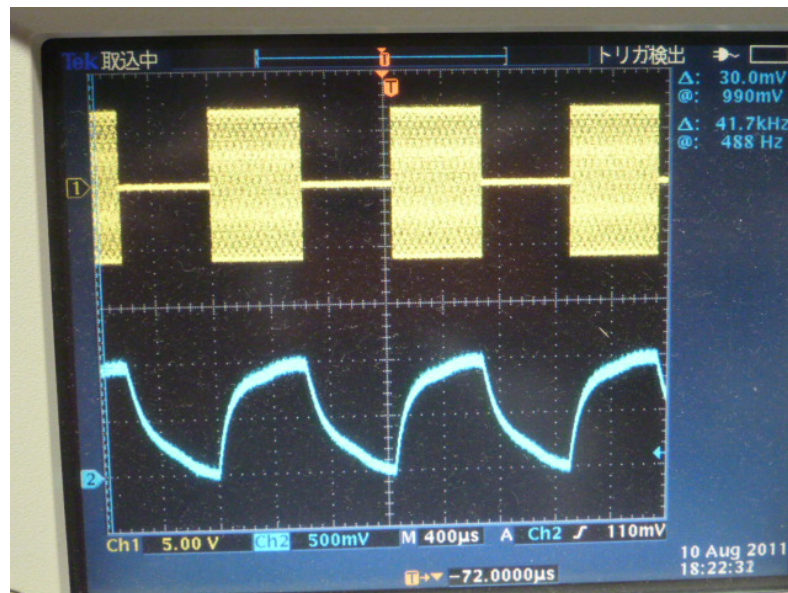
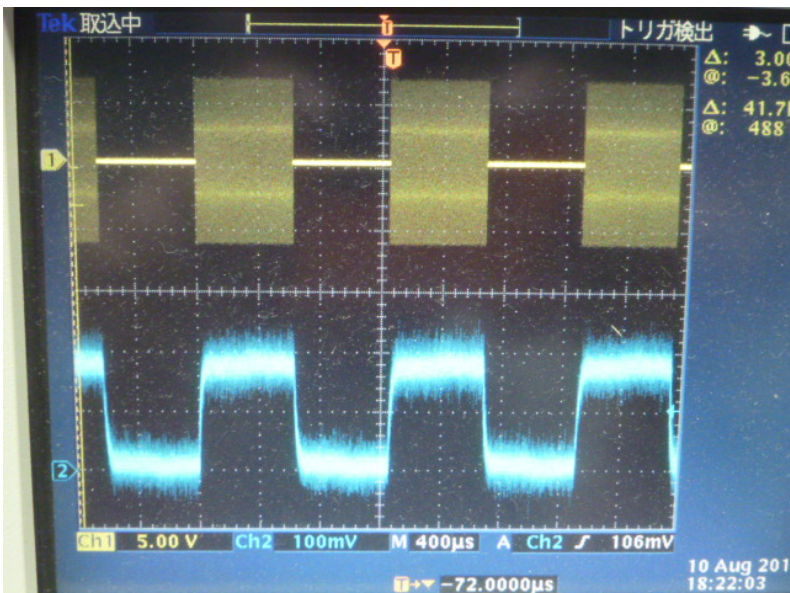
Ch2: 裏側のGate 入力へ

注) 今回のアンテナでは, カップリングが強すぎて広い周波数で受信してしまう！！



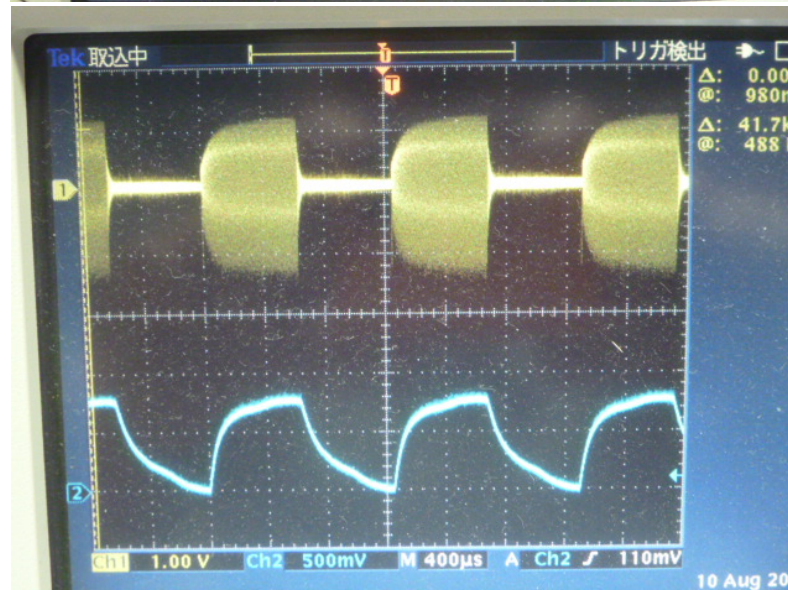
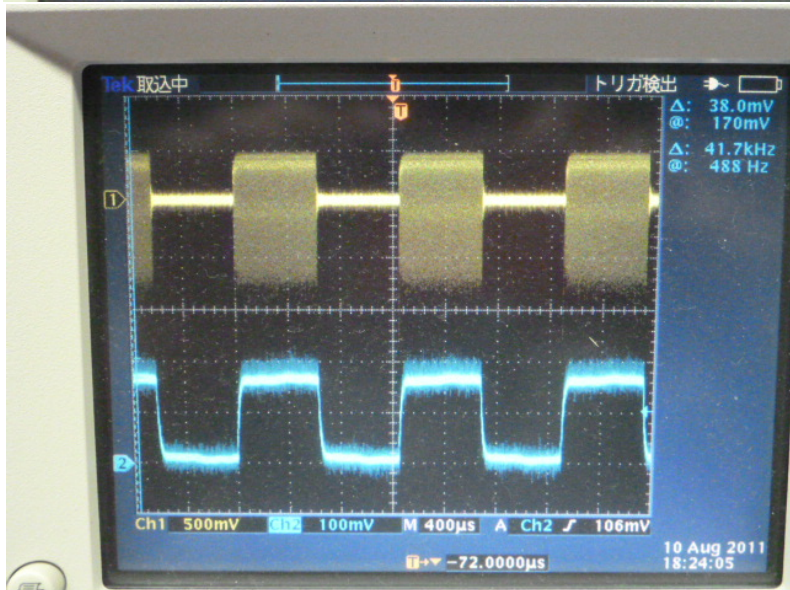
送信
アンテナ

検波後



受信
アンテナ

検波後



挿入抵抗 1k Ω (信号は小さいが,
検波特性良)

挿入抵抗 10k Ω (信号は大きいが,
検波特性劣)

B: 『インバーターチェーン』の実験

基本論理回路 (NOT 回路！！)

信号の高速伝搬と C, R の関係

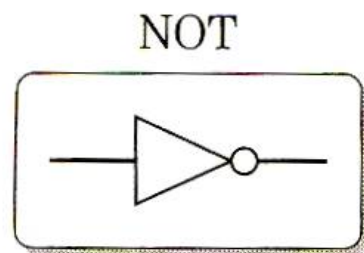
使用機材: インバーターIC : 4069

DC 電源 (FG で代用)

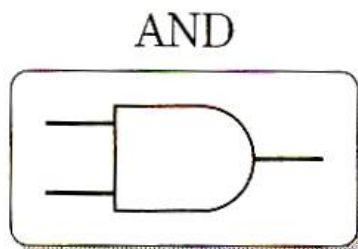
遅延素子として: R, C

オシロスコープ

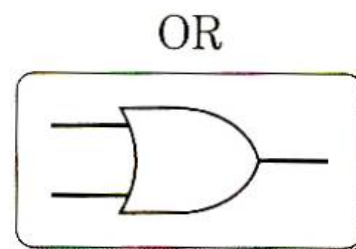
基本論理回路と真理値表 (1)



入力	0	1	出力
	1	0	



		入力 2	
		0	1
入力 1	0	0	0
	1	0	1
		出力	



		入力 2	
		0	1
入力 1	0	0	1
	1	1	1
		出力	

CMOS回路は反転出力が基本なので、
次のNAND, NORとNOTとの組合せで実現

基本論理回路と真理値表 (2)

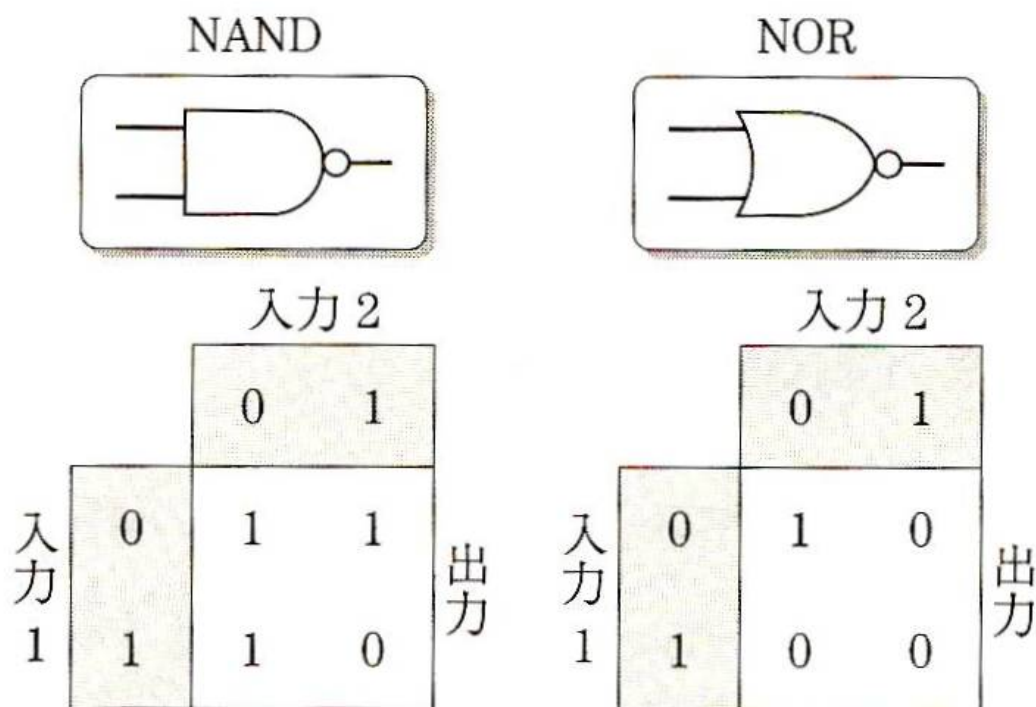
☆ NAND, NOR について、CMOS回路での実現を考える

NANDとNORの
重要な関係式

$$\overline{A \bullet B} = \overline{A} + \overline{B}$$

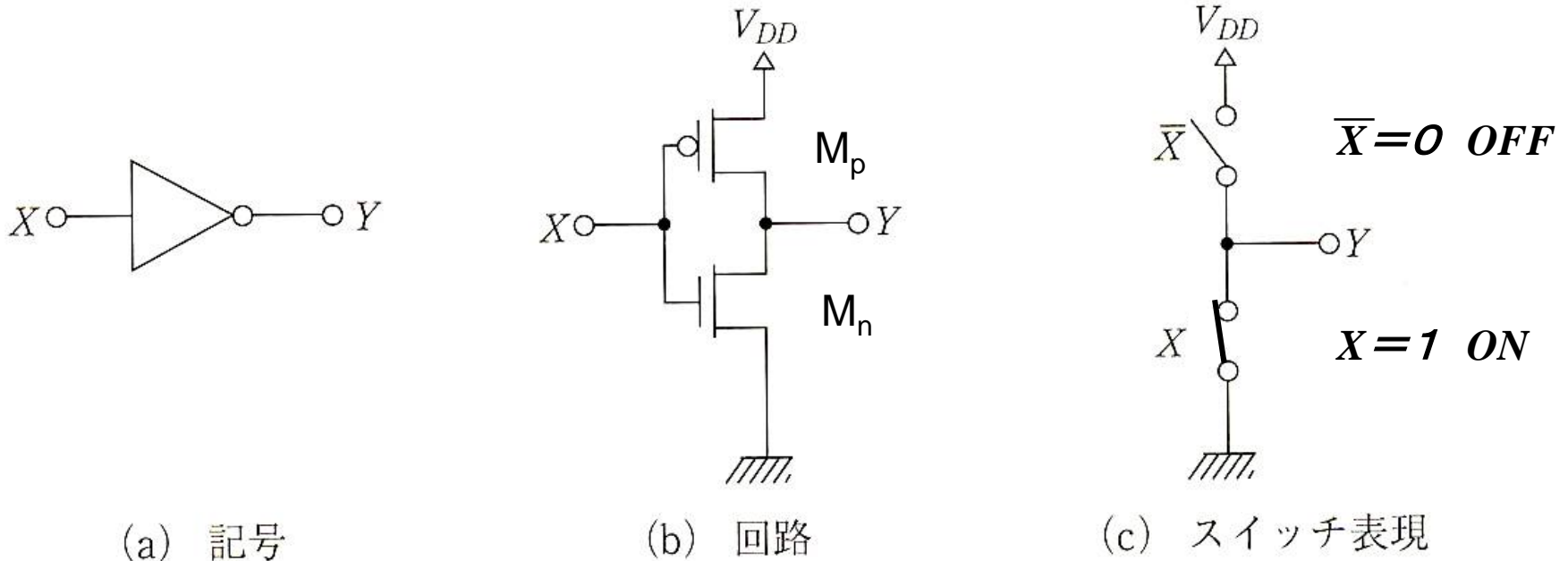
$$\overline{A + B} = \overline{A} \bullet \overline{B}$$

図 4.5 代表的な
2 入力論理回路の
記号と真理値表.



CMOSインバータをスイッチ表現すると

☆論理値が1の状態を電圧のHighレベル、論理値の0が電圧のLowレベルとする**正論理**で議論



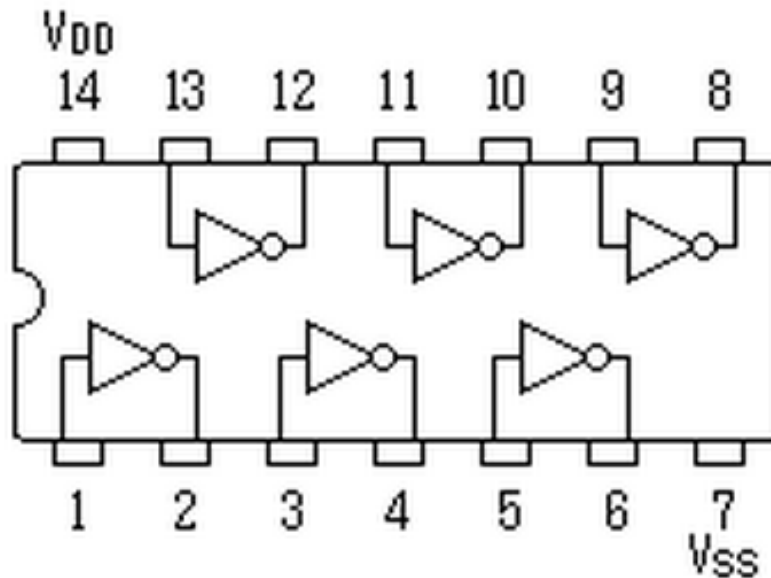
入力	トランジスタ		出力
X	M_n	M_p	Y
0	off	on	1
1	on	off	0

↓
CMOS論理回路では
pMOSをX="1"でオン
する素子と考える

インバーターIC: 4069

4069UB / 4069B

Hex Inverter (C-MOS Logic)



V_{DD} : 電源+5V
 V_{SS} : GND

実験(インバーターチェーン)

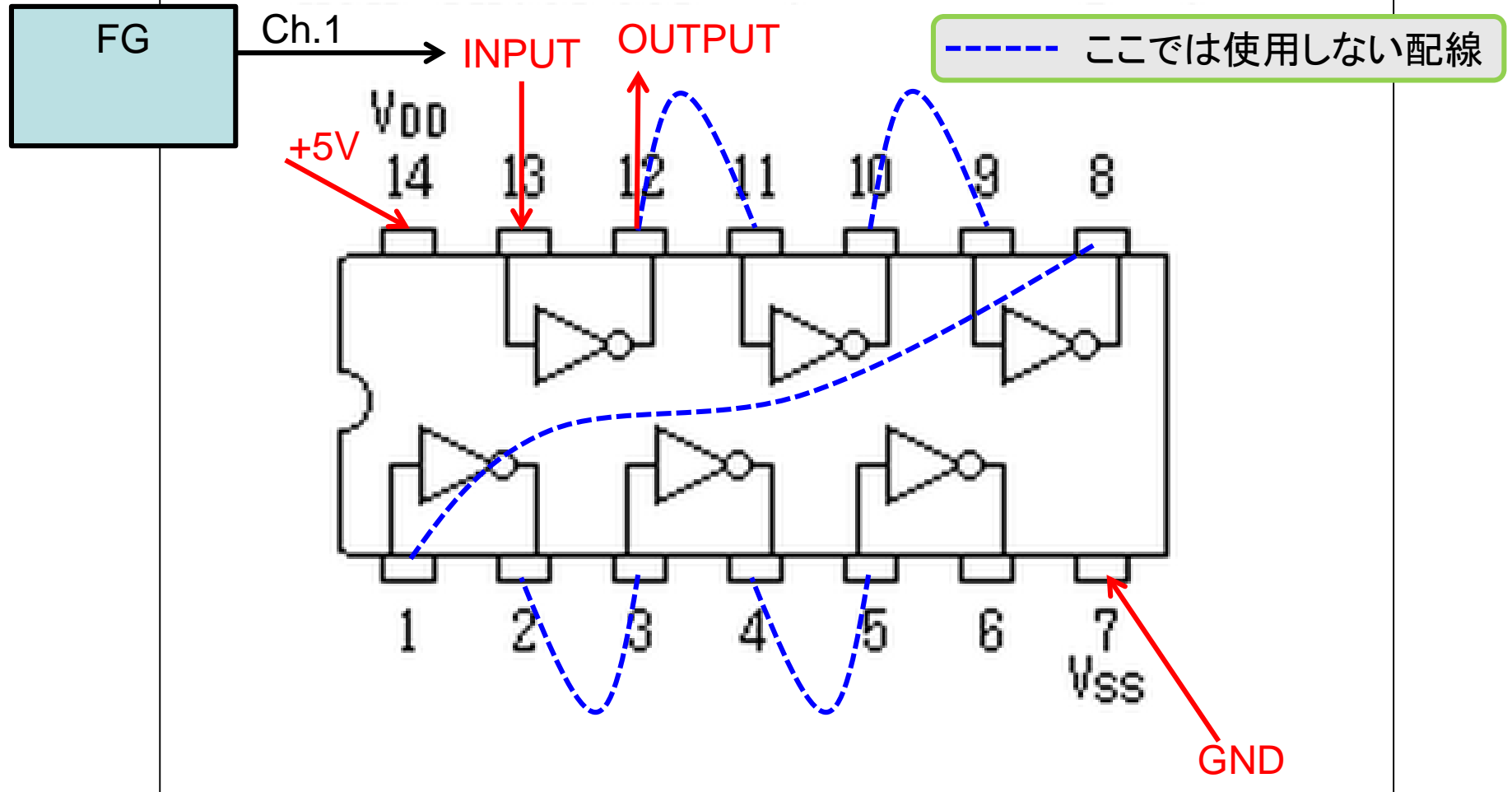
- A) FG のCh.2 を電源として使用する。(DC 5V 設定)
- B) インバーターの一つを選び、FG Ch.1から 5Vの三角波を入力したときの入力と出力の波形を観察せよ。(三角波:オフセット2.5V、周波数1KHz程度)
続いて、2個のインバーターを直列に接続(前段の出力を次段の入力に接続)したときの入力と出力の波形を観察せよ。
>>>> コンピュータが二進法(0 Vと 5V) で安定に動作する理由を理解する。

インバーターをリング状に繋げると、偶数個／奇数個で振る舞いが異なることを次に実験する。

- C) Ch.1 の入力を外す。2個(偶数個)のインバーターをリング状(2段目の出力を1段目の入力へ)に接続する。入力(リング配線のどこか)を0V, 5V,にしたときに出力はどうなるか？(配線キットの長い線を使って、瞬間的に、0V, 5V にする)
>>>> これは、FF (フリップフロップ)である。 SRAM の基本原理!!
- D) 5個(奇数個)のインバーターをリング状に接続し、出力波形を観測せよ。
>>>> 発振する(リングオシレータ)→コンピュータのクロック、同期信号
- E) E)の回路で、どれか一つのインバータの出力に キャパシタを挿入し、発振周波数がどうなるか、観察せよ。(配線にも抵抗があるのでローパスフィルタになる。)
>>>> コンピュータ(=VLSI)が、高速で動作するためには何が必要か???

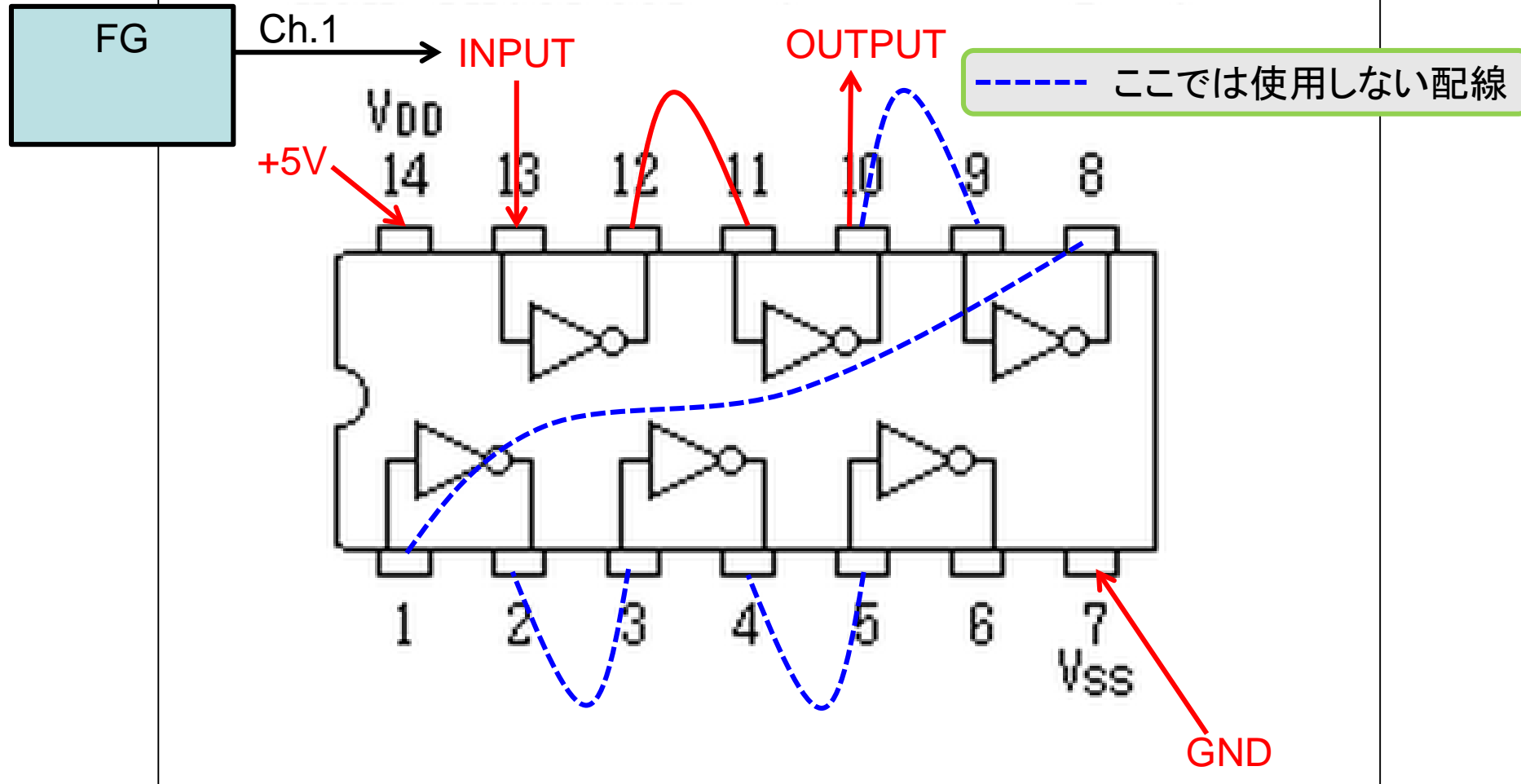
4069UB / 4069B 実験 B1)

Hex Inverter (C-MOS Logic)



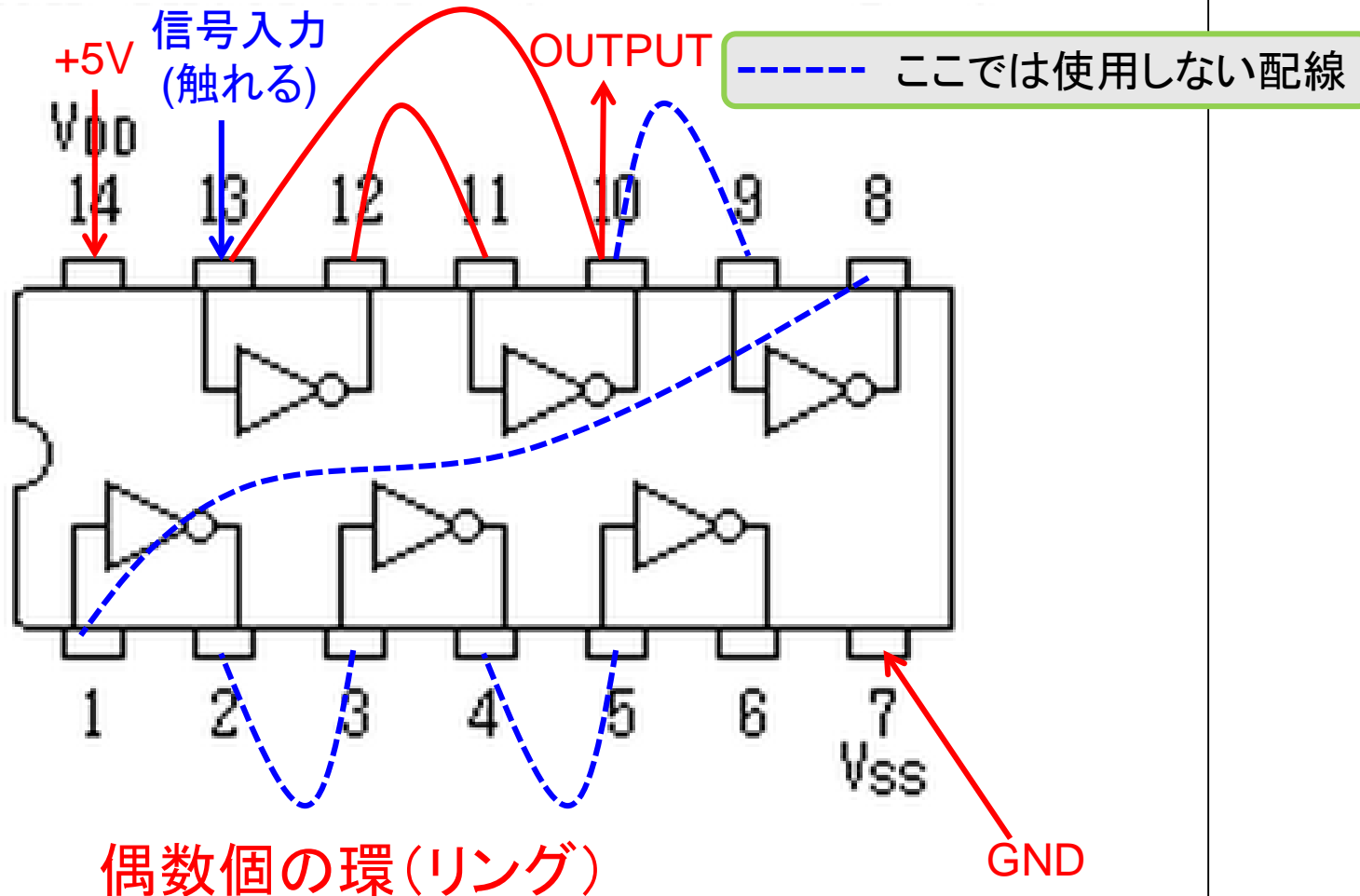
4069UB / 4069B 実験 B2)

Hex Inverter (C-MOS Logic)



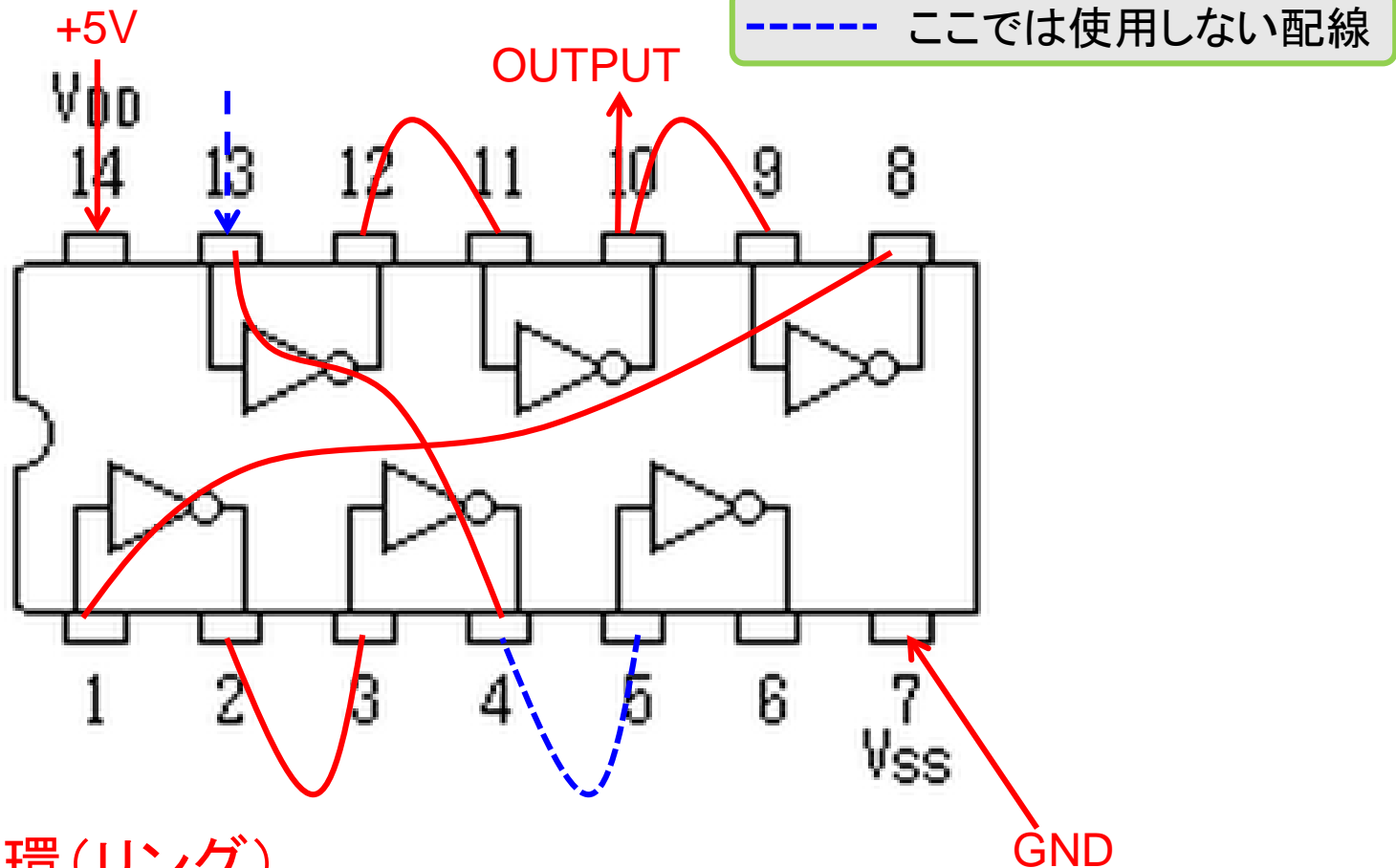
4069UB / 4069B 実験 C)

Hex Inverter (C-MOS Logic)



4069UB / 4069B 実験 D)

Hex Inverter (C-MOS Logic)

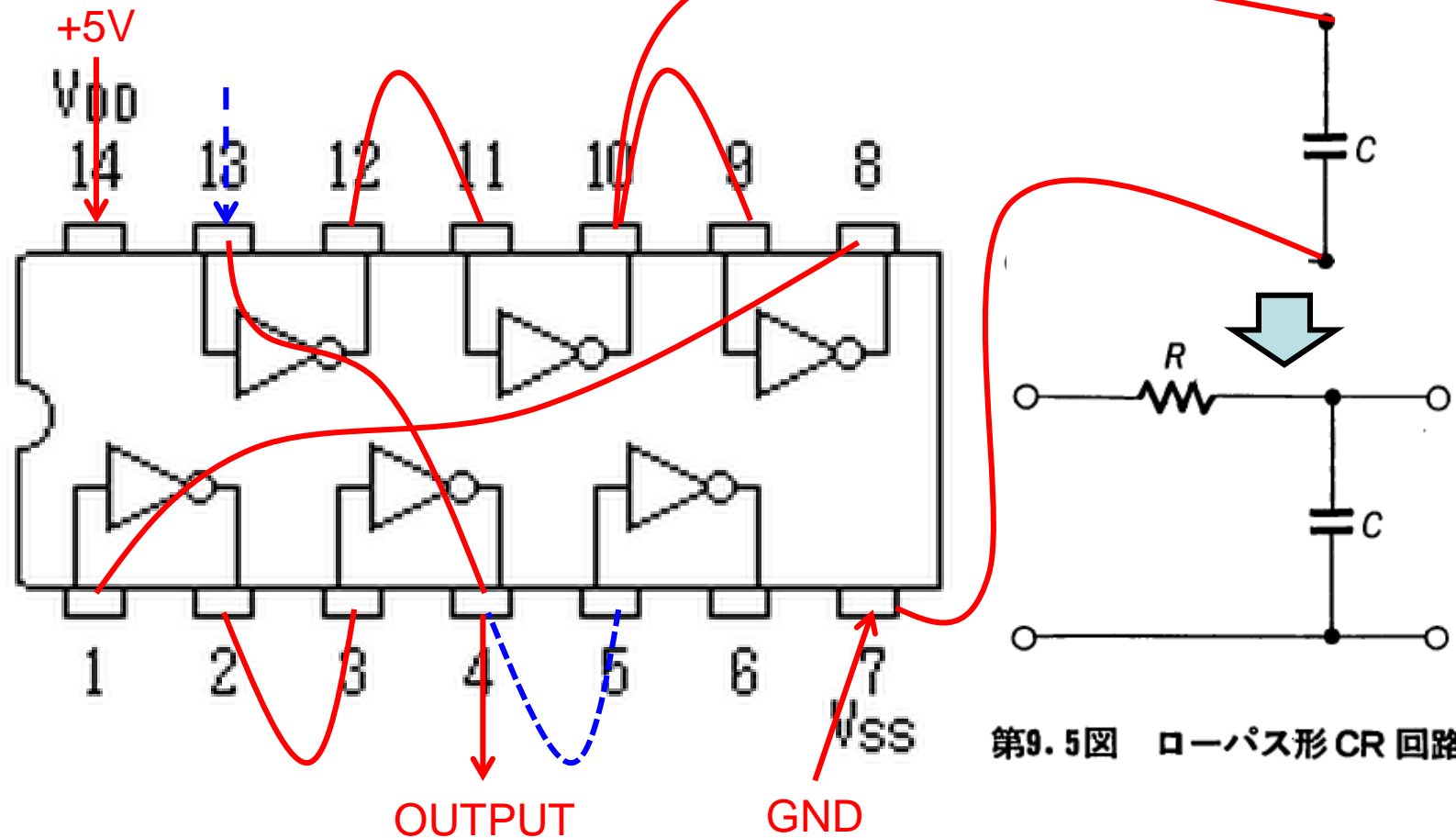


奇数個の環(リング)
＝リングオシレータ

4069UB / 4069B

実験 E)

Hex Inverter (C-MOS Logic)



第9.5図 ローパス形CR回路

任意波形発生器*を送信機にする場合の操作例



1. 電源を投入する。

2. 「Sine」ボタンを押し、搬送波(キャリア)の各種設定をする。

(1) (キャリア周波数) 画面下の青いボタン(青ボタン)の中から, Freqを選択し, 1MHzとする。

(2) (キャリア振幅) 青ボタンの中から「Ampl」を選択し, 10Vなど十分大きい値とする。

3. 「Mod」ボタンを押し、変調波の各種設定をする。

(1) 青ボタンの中の「Type」(変調種別)として「AM」となっていることを確認。

(2) 青ボタンの中の「Src」(信号波のトリガ元)が「Int」(内部トリガ)となっていることを確認。

(3) 青ボタンの中の「AM Depth」(変調率)が100%程度となっていることを確認。

(4) 青ボタンの中の「AM Freq」(信号周波数)を1kHzに設定する。

(5) 青ボタンの中の「Shape」(信号波形)はSine(正弦波)またはSqr(方形波)にする(※方形波Sqrのほうがやや聞こえやすい印象)。

4. 「Output」ボタンを押すと, Output端子からキャリア1MHz, 信号波1kHzのAM変調波が出力される。

(* Keithley 3390 50MHz Arbitrary Waveform Generator)