2023北海道ハムフェア　講演2

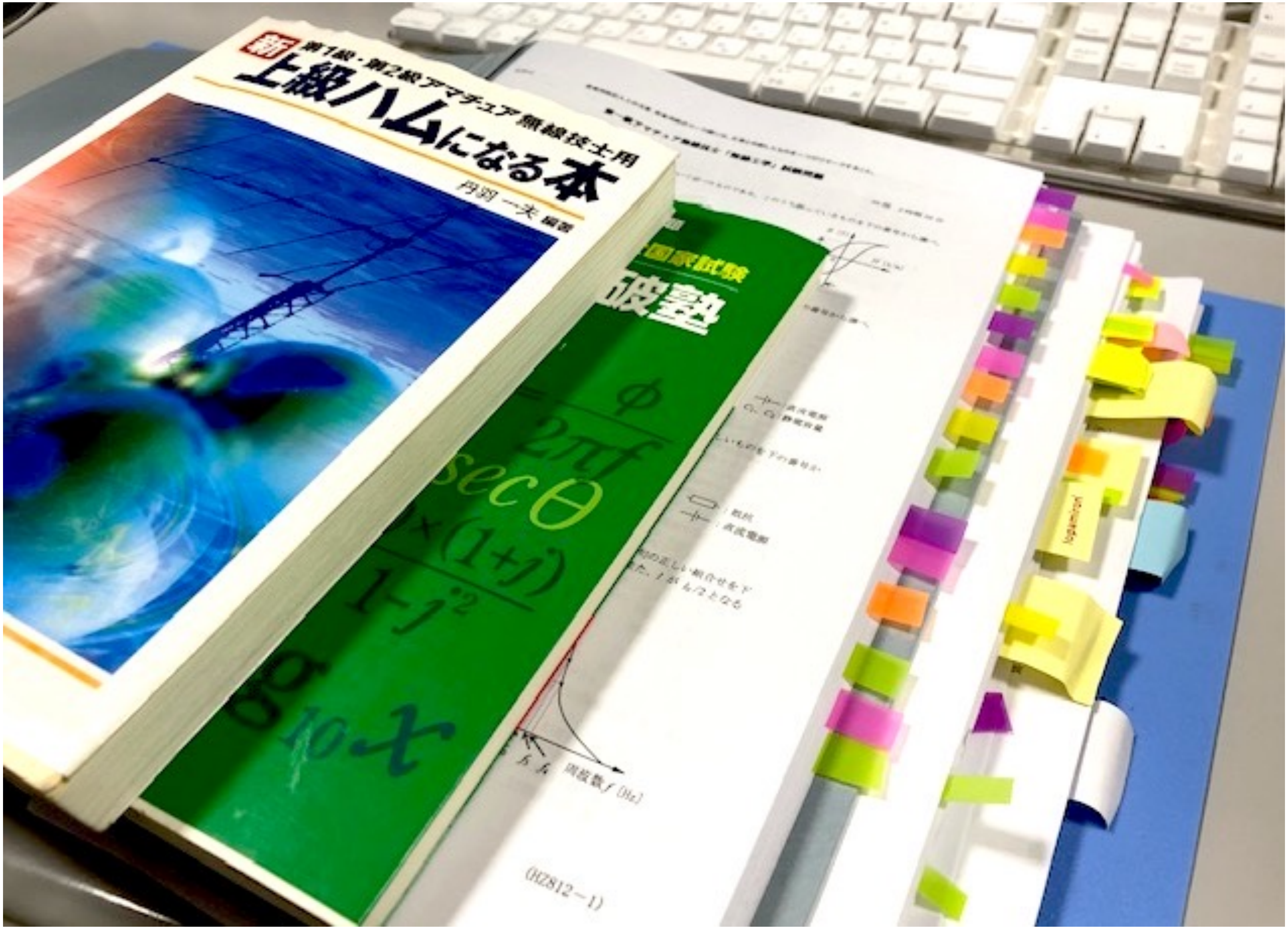
1アマ国試
最近の傾向と対策

JA8RQD/AG7KV　鈴木恵士郎

所持資格（無線従事者）

- 昭和48年　電話級アマチュア無線技士
  アマチュア無線局JA8RQD開局
- 昭和52年　電信級アマチュア無線技士

- 平成29年　第1級アマチュア無線技士
- 平成29年　FCC Amateur Extra（AG7KV）
- 令和 2年　第1級陸上無線技術士
- 令和 3年　第1級海上無線通信士
- 令和 3年　航空無線通信士



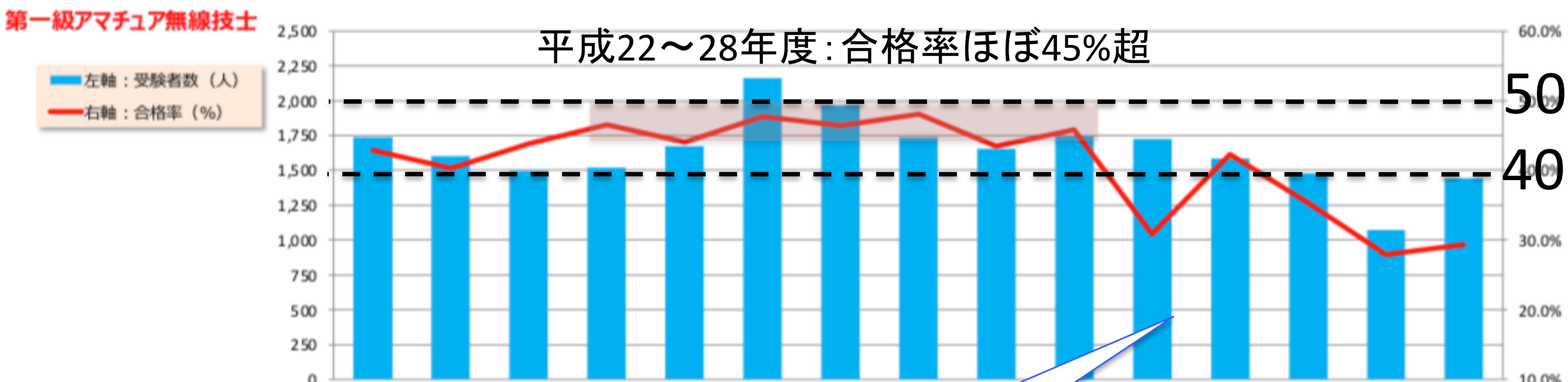
趣味：1アマ・一陸技国家試験過去問研究 (^_^)

1アマ国試は難しくなったのか

1アマ国試合格率

https://www.qcq.co.jp/link/stex/answ/12amastatus.pdf

平成28年度以前は**40%～50%**で推移



	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度		平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
申請者数							2,618			2,314	2,359	2,177	2,069	2,184	1,977
受験者数 - a									1,655	1,747	1,728	1,585	1,481	1,073	1,446
合格者数 - b									719	801	534	670	523	300	424
合格率（b÷a）								48.0%	43.4%	45.9%	30.9%	42.3%	35.3%	28.0%	29.3%

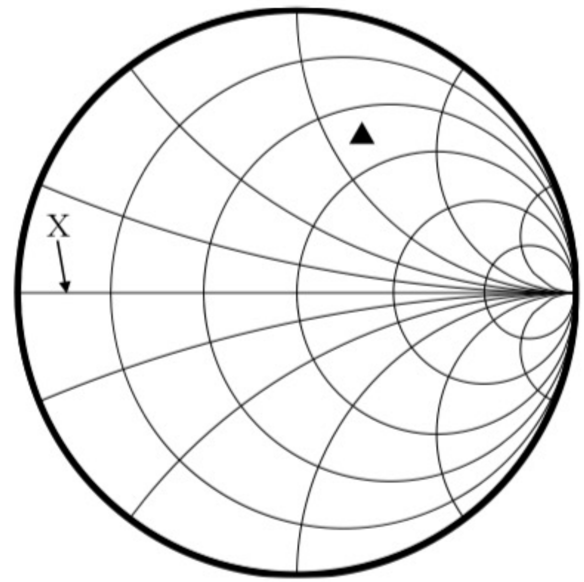
平成29年度　30.9%
平成30年度　42.3%
令和元年度　35.3%
令和 2年度　28.0%
令和 3年度　29.3%

近年は合格率の低下が著しい

受験者衝撃(?)の 1アマ令和3年9月A-24

A - 24 次の記述は、図に示す一般的なスミスチャートの概略図について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

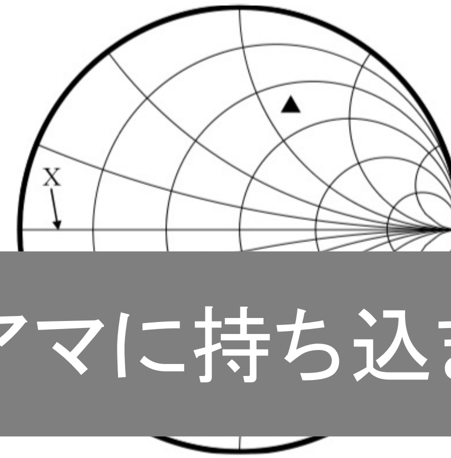
(1) 水平の直線Xが、正規化されたアンテナのインピーダンスの抵抗成分であるとき、直線Xの右端はアンテナを [A] した状態である。
(2) あるアンテナのインピーダンスが▲の位置であった時、このアンテナのリアクタンス成分は [B] である。
(3) ▲の位置を利用して、このアンテナのSWRの値の読取りは [C] 。



	A	B	C
1	開放(∞〔Ω〕)	インダクティブ	できる
2	短絡(0〔Ω〕)	インダクティブ	できない
3	開放(∞〔Ω〕)	キャパシティブ	できる
4	短絡(0〔Ω〕)	キャパシティブ	できない
5	開放(∞〔Ω〕)	キャパシティブ	できない

A－24　次の記述は、図に示す一般的なスミスチャートの概略図について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

(1)　水平の直線Xが、正規化されたアンテナのインピーダンスの抵抗成分であるとき、直線Xの右端はアンテナを［A］した状態である。
(2)　あるアンテナのインピーダンスが▲の位置であった時、このアンテナのリアクタンス成分は［B］である。
(3)　▲の位置を利用して、このアンテナのSWRの値の読取りは［C］。



一陸技に出題された項目が1アマに持ち込まれる

5　開放(∞〔Ω〕)　　キャパシティブ　　できない

1アマ　令和3年9月A-24（初出）

A－18　次の記述は、ベクトルネットワークアナライザの表示等で用いられるスミス・チャート等について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。なお、同じ記号の□内には、同じ字句が入るものとする。

(1)　一般的に、スミス・チャートはインピーダンスと反射係数の関係を表すインピーダンス・チャートを示すが、アドミタンス・チャートと合わせて利用されることが多い。図1は上半面がインダクティブ、下半面がキャパシティブの領域を表す［A］の簡略図である。
(2)　インピーダンス$Z_L = 25 + j25$〔Ω〕を、特性インピーダンス$Z_0 = 50$〔Ω〕として正規化したインピーダンスを$R + jX$〔Ω〕とすると、図1において$R + jX$〔Ω〕を示す点はa点であり、ここで同じ虚数値Xを持った点の集合体である「等リアクタンス円」は［B］で示される線となり、Xが一定でRを変化させた場合［B］で示される線上を動く。
(3)　図2に示すとおり、インピーダンスZ_Lの2端子素子にコンデンサCを直列接続した場合、図1において、2端子素子の正規化インピーダンスを示すa点は、［C］の矢印の方向に動く。

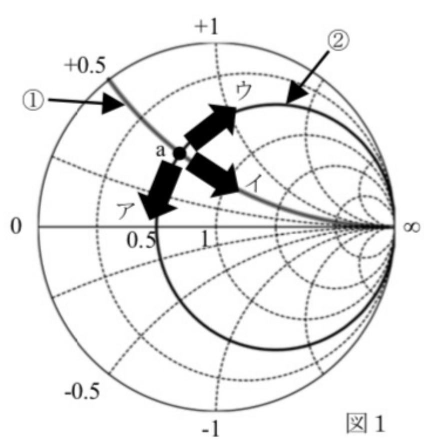


図1

	A	B	C
1	インピーダンス・チャート	②	イ
2	インピーダンス・チャート	①	ア
3	インピーダンス・チャート	①	ウ
4	アドミタンス・チャート	②	ウ
5	アドミタンス・チャート	②	ア

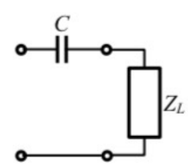
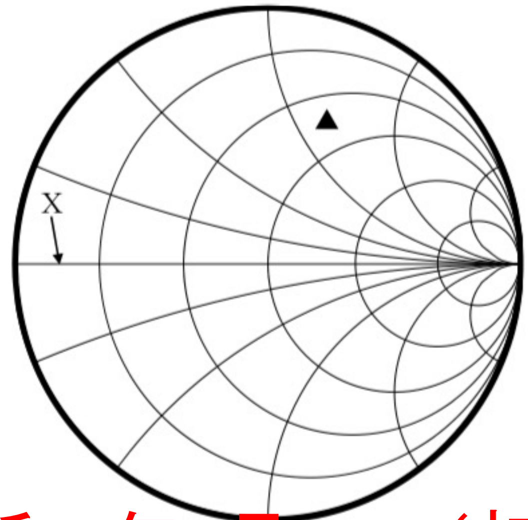


図2

一陸技　令和3年7月（工学A）　A-18（初出）

A－24　次の記述は、図に示す一般的なスミスチャートの概略図について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

(1)　水平の直線Xが、正規化されたアンテナのインピーダンスの抵抗成分であるとき、直線Xの右端はアンテナを A した状態である。
(2)　あるアンテナのインピーダンスが▲の位置であった時、このアンテナのリアクタンス成分は B である。
(3)　▲の位置を利用して、このアンテナの SWR の値の読取りは C 。

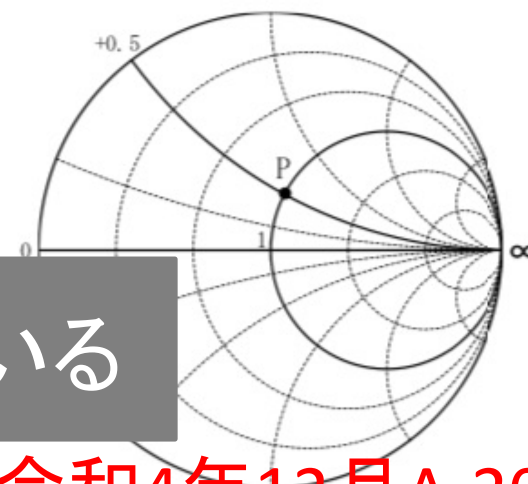


	A	B	C
1	開放(∞〔Ω〕)	インダクティブ	できる
2	短絡(0〔Ω〕)	インダクティブ	できない
3	開放(∞〔Ω〕)	キャパシティブ	できる
4	短絡(0〔Ω〕)	キャパシティブ	できない
5	開放(∞〔Ω〕)	キャパシティブ	できない

1アマ　令和3年9月A-24（初出）

A－20　アンテナの 10〔MHz〕におけるインピーダンスが、図のスミスチャートにおいて P 点の位置であった。アンテナのリアクタンス成分を打ち消すためには、アンテナをどのように調整すればよいか。正しいものを下の番号から選べ。ただし、アンテナの R (抵抗)成分は 50〔Ω〕とし、座標の数値は正規化されているものとする。

1　$2000/\pi$〔pF〕のコンデンサをアンテナに直列に接続する。
2　$2000/\pi$〔pF〕のコンデンサをアンテナに並列に接続する。
3　$1000/\pi$〔pF〕のコンデンサをアンテナに直列に接続する。
4　$1000/\pi$〔mH〕のコイルをアンテナに直列に接続する。
5　$1000/\pi$〔mH〕のコイルをアンテナに並列に接続する。



前回とは形を変えて出題されている

1アマ　令和4年12月A-20

一陸技からそのまま1アマへ

A－25　次の記述は、回路網の特性を測定するためのベクトルネットワークアナライザの基本的な機能等について述べたものである。このうち誤っているものを下の番号から選べ。

1　回路網の入力信号の周波数を掃引し、各種パラメータの周波数特性を測定できる。
2　回路網の入力信号、反射信号及び伝送信号の振幅と位相をそれぞれ測定し、Sパラメータを求める装置である。
3　回路網のhパラメータ、Zパラメータ及びYパラメータは、Sパラメータから導出して得られる。
4　回路網と測定器を接続するケーブルなどの接続回路による測定誤差は、測定前の校正によって補正することができる。
5　回路網の入力信号と反射信号の分離には、2 抵抗型のパワー・スプリッタが用いられる。

1アマ　令和4年4月　A-25

B－2　次の記述は、回路網の特性を測定するためのベクトルネットワークアナライザの基本的な機能等について述べたものである。このうち正しいものを1、誤っているものを2として解答せよ。

ア　回路網の入力信号の周波数を掃引し、各種パラメータの周波数特性を測定できる。
イ　回路網の入力信号、反射信号及び伝送信号の振幅と位相をそれぞれ測定し、S パラメータを求める装置である。
ウ　回路網の h パラメータ、Z パラメータ及び Y パラメータは、S パラメータから導出して得られる。
エ　回路網と測定器を接続するケーブルなどの接続回路による測定誤差は、測定前の校正によっても補正することはできない。
オ　回路網の入力信号と反射信号の分離には、2 抵抗型のパワー・スプリッタが用いられる。

(FA308-6)

一陸技　工学A　令和3年7月（2回目）　B-2

A－7　次の記述は、電界効果トランジスタ(FET)について述べたものである。[　　] 内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、ゲート(G)－ソース(S)間電圧 V_{GS} 及びドレイン(D)電流 I_D は図 1 の矢印で示した方向を正(+)とする。

(1)　図 1 に示す図記号の電界効果トランジスタは [A] チャネルで、[B] 形である。
(2)　(1)の伝達特性の概略図を、V_{GS}〔V〕と I_D〔A〕間の特性で示すと [C] である。

	A	B	C
1	P	MOS(絶縁ゲート)	図3
2	P	接合	図2
3	N	MOS(絶縁ゲート)	図3
4	N	接合	図3
5	N	MOS(絶縁ゲート)	図2

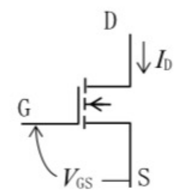


図 1

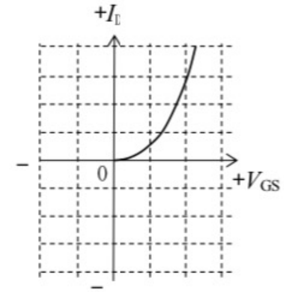


図 2

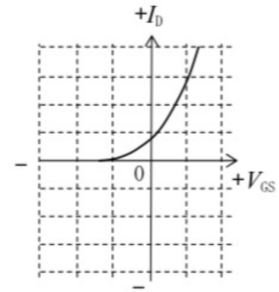


図 3

1アマ　R4年12月　HZ412 A-7（初出）

A－11　次の記述は、電界効果トランジスタ(FET)について述べたものである。[　　] 内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、V_{GS} 及び I_D は図 1 の矢印で示した方向を正(+)とする。

(1)　図 1 に示す図記号の電界効果トランジスタは [A] チャネルで、[B] 形である。
(2)　(1)の伝達特性の概略図を、ゲート(G)－ソース(S)間電圧 V_{GS}〔V〕とドレイン(D)電流 I_D〔A〕間の特性で示すと図 2 の [C] である。

	A	B	C
1	N	MOS(絶縁ゲート)	ア
2	N	接合	イ
3	P	MOS(絶縁ゲート)	ア
4	P	接合	ア
5	P	MOS(絶縁ゲート)	イ

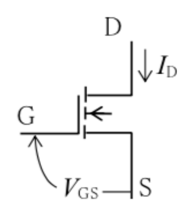


図 1

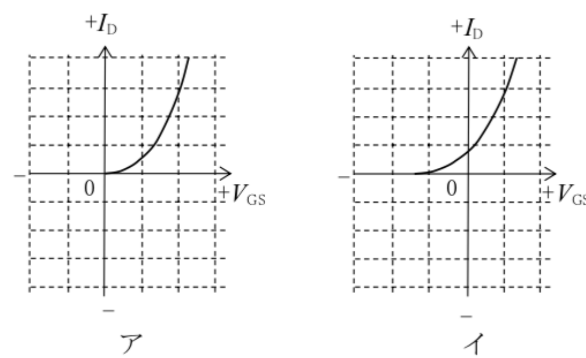


図 2

一陸技　R4年1月　FK401　A-11

新出・新傾向問題について

- 陸特・陸技レベルの問題が出題されており今後も出題される可能性が高い。
- 過去問の繰り返しではなく観点を変えた類似問題に変更されて出題されることもある。

単なる暗記ではなく、その根本・背景をしっかり理解しておくことも大切

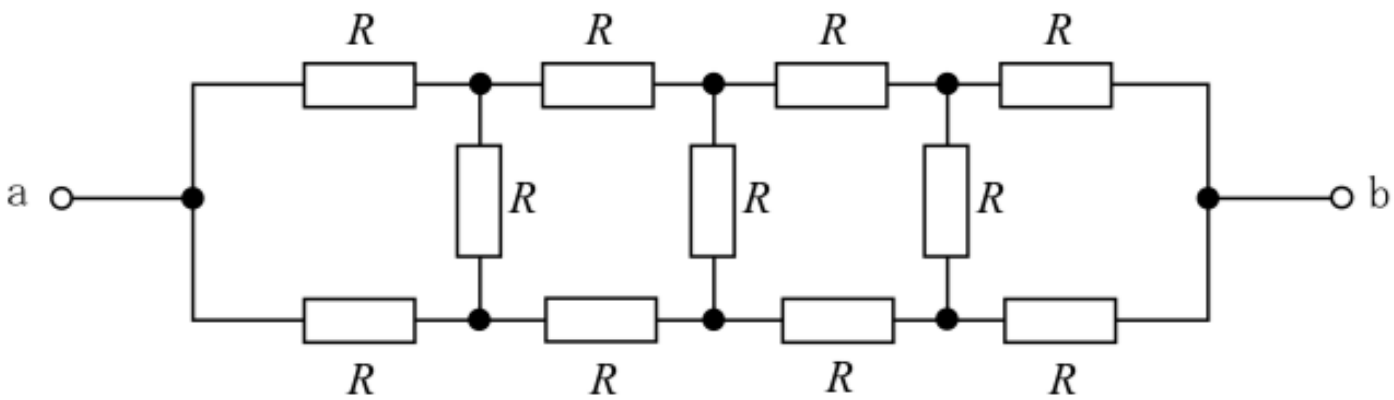
教科書や問題集では新出問題の解説は間に合わないことも多い

繰り返し出題される新問・新傾向問題

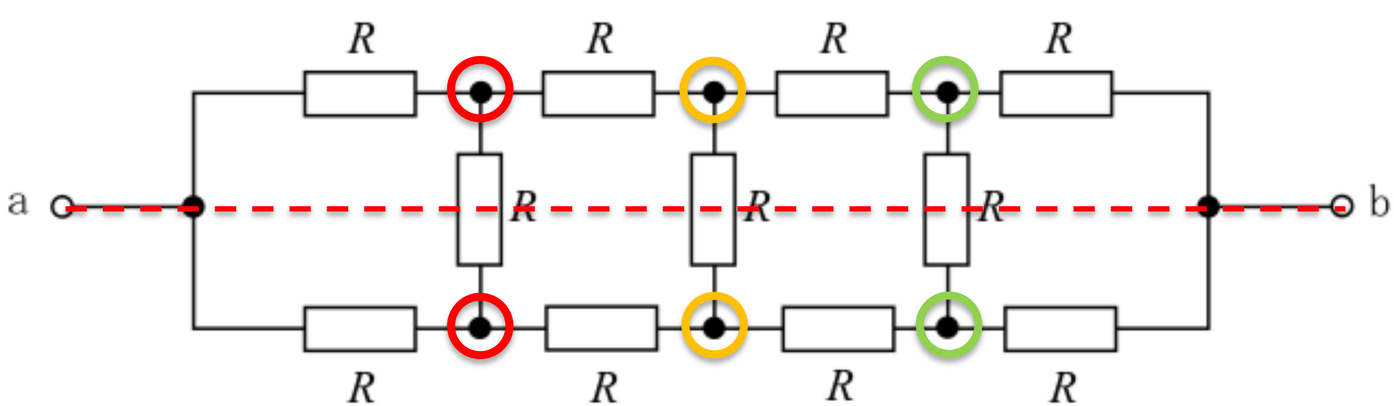
- 抵抗回路網
  （複雑な回路、抵抗減衰器、Δ-Y変換）
- 交流ブリッジの平衡条件
- 給電線・アンテナ整合回路
- 過渡現象・微分積分回路
- スミスチャート・アドミタンスチャート

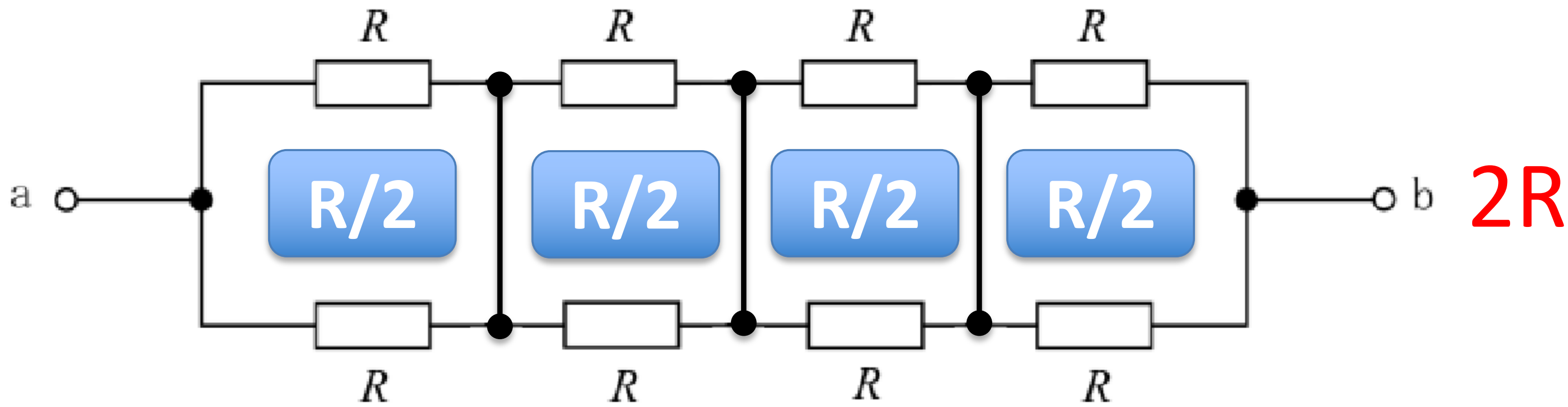
抵抗回路網
複雑な回路

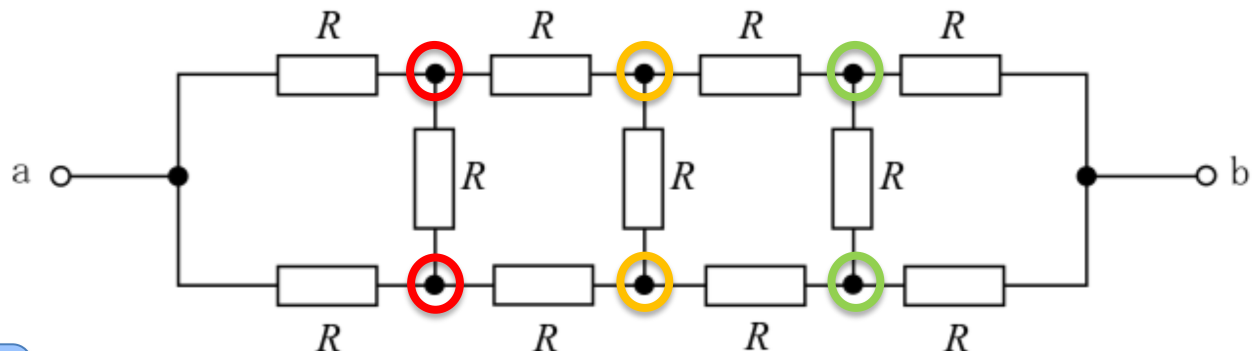
令和2年9月A-3

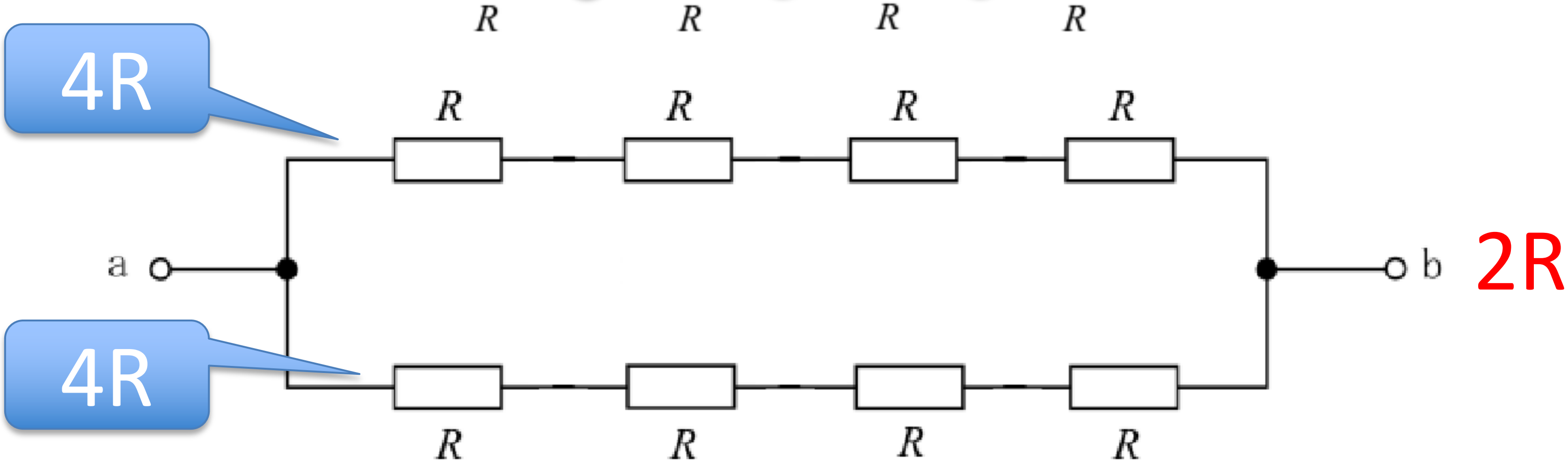


回路の両端を結ぶ直線に対する対称性を用いて、同じ電位にある点同士を短絡あるいは切断しても全体に影響を与えない。

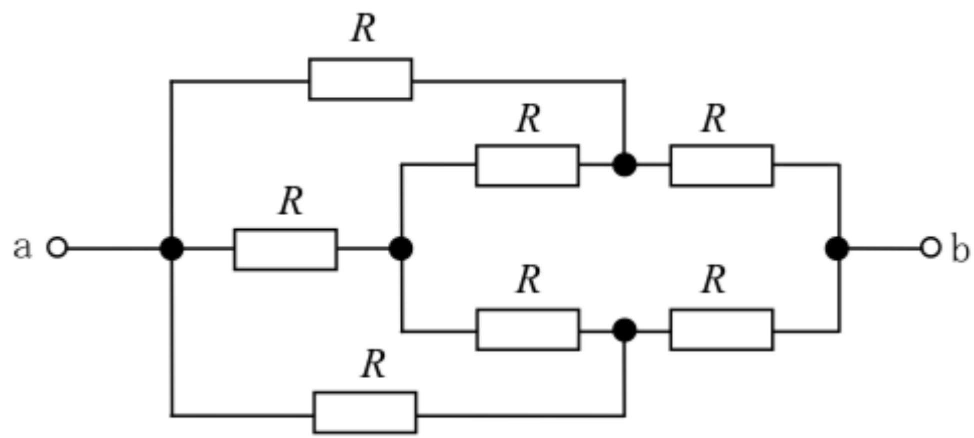



R
R
R
R
a
R/2
R/2
R/2
R/2
b
2R
R
R
R
R

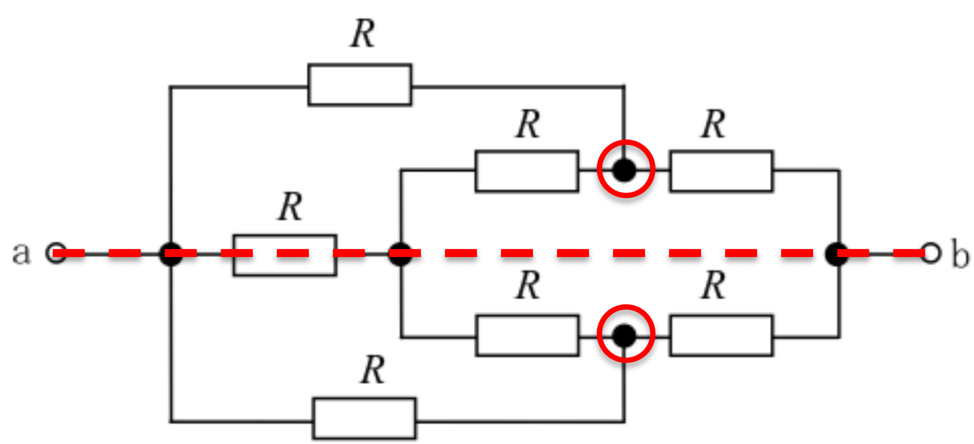

R
R
R
R
a
R
R
R
b
R
R
R
R

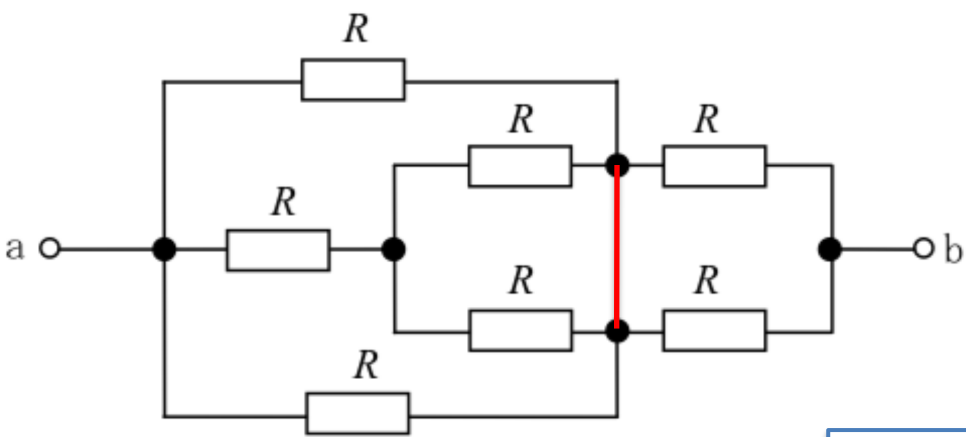

4R
R
R
R
R
a
b
2R
4R
R
R
R
R

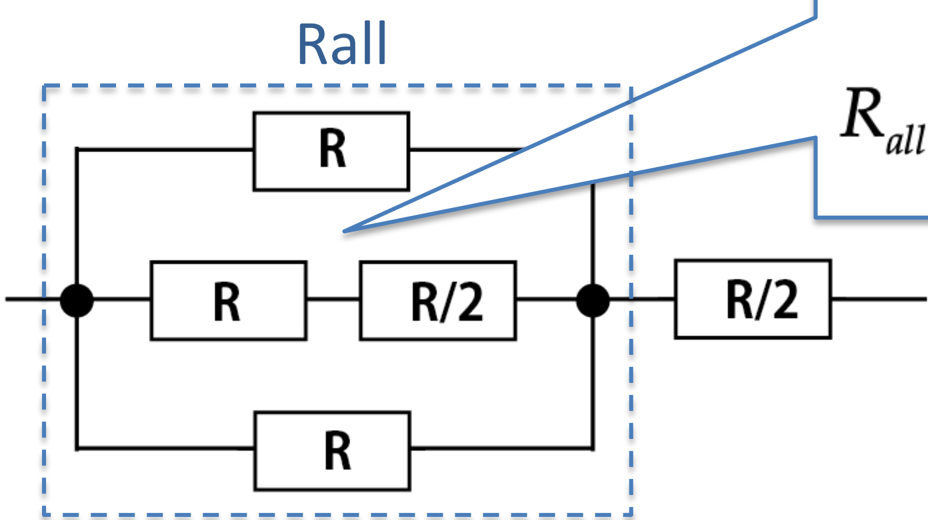
平成30年4月A-4・平成31年4月A-3



回路の両端を結ぶ直線に対する（上下）対称性を用いて、同じ電位にある点同士を結んでも回路の電流に影響を与えないことを利用する。





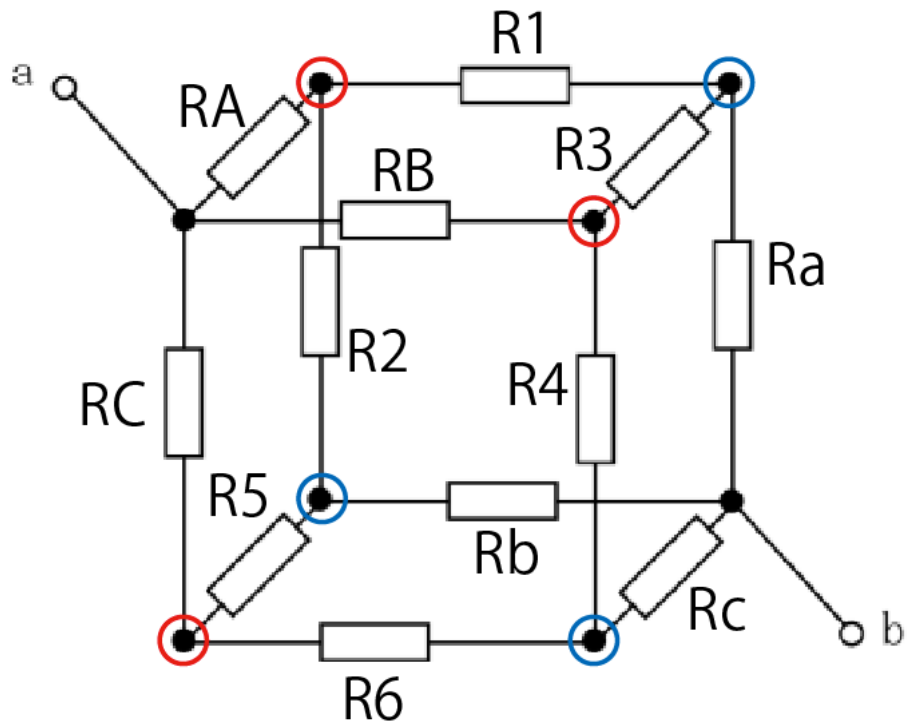


$$\frac{1}{R_{all}}=\frac{1}{R}+\frac{1}{R}+\frac{1}{\frac{3}{2}R}=\frac{3+3+2}{3R}=\frac{8}{3R}$$

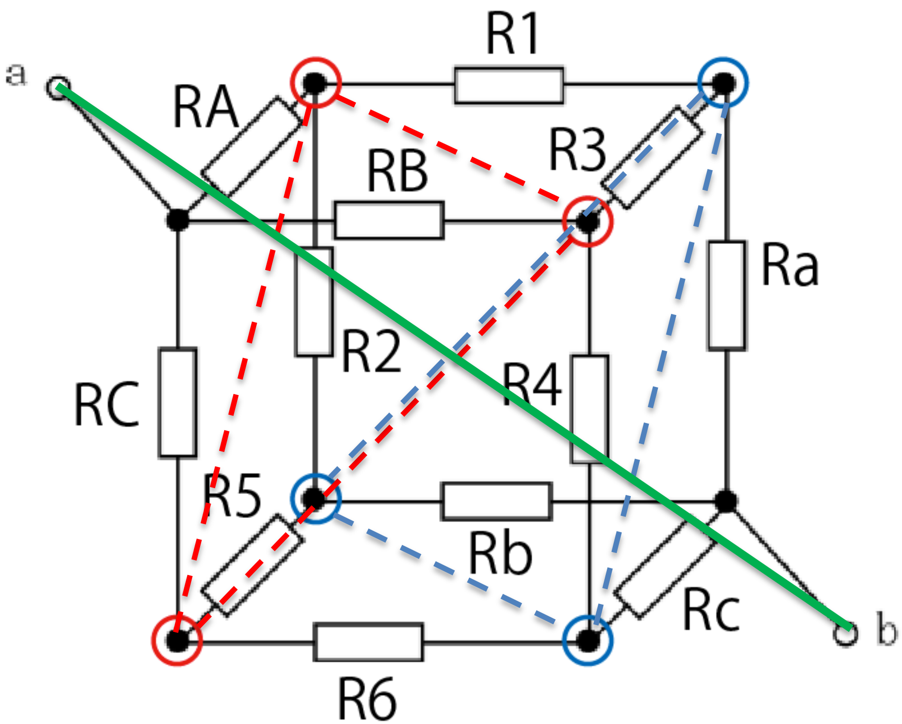
$$R_{all}=\frac{3}{8}R$$

$$\frac{3}{8}R+\frac{1}{2}R=\frac{3+4}{8}R=\frac{7}{8}R$$

令和4年4月A-3

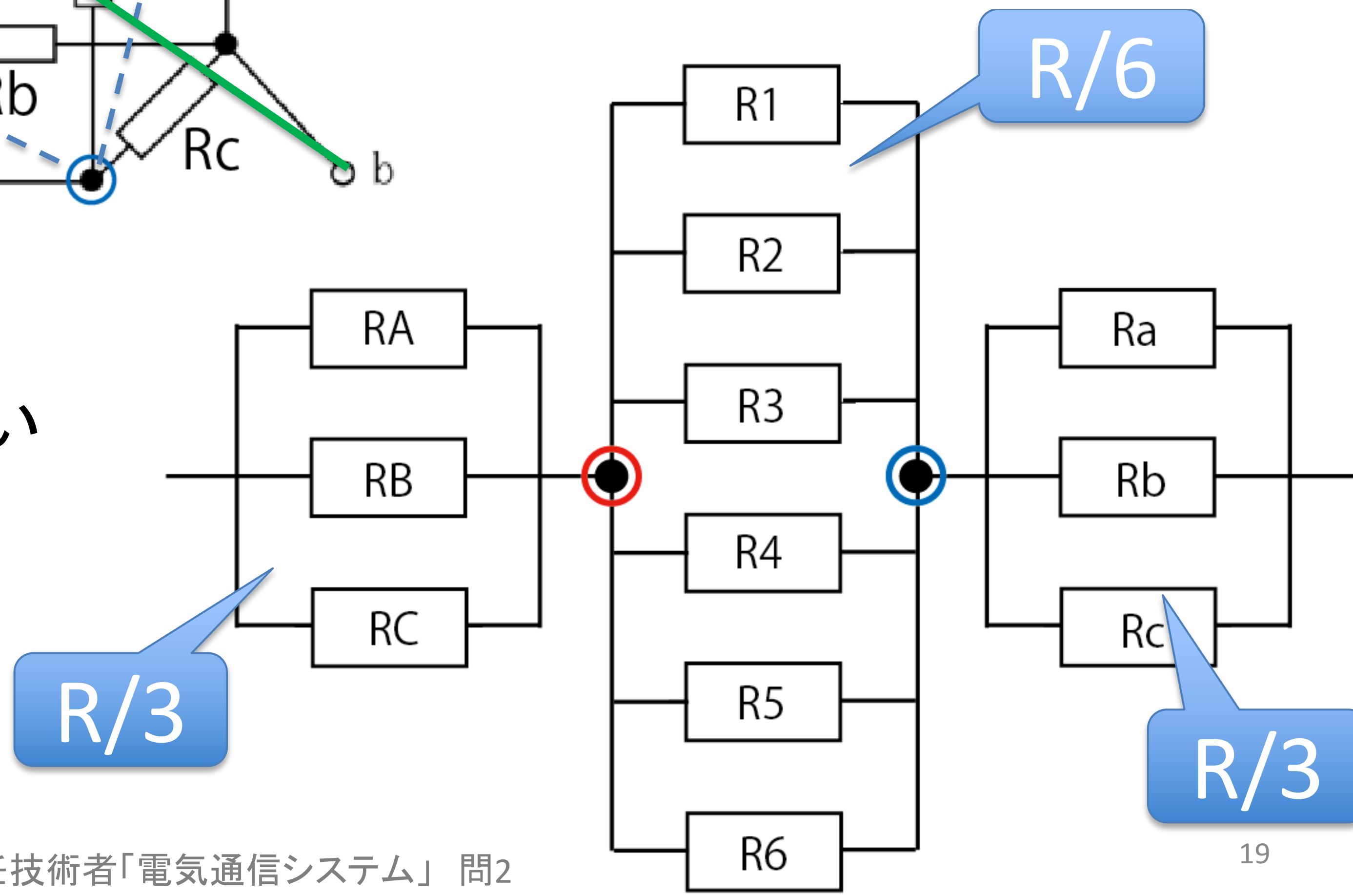


令和4年4月A-3



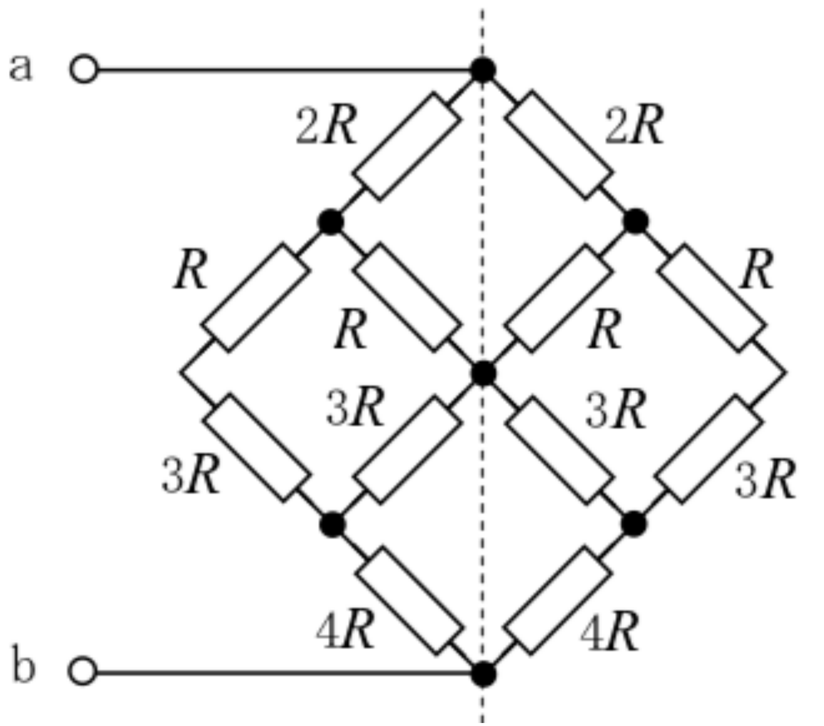
$$\frac{1}{3}R+\frac{1}{6}R+\frac{1}{3}R=\frac{5}{6}R$$

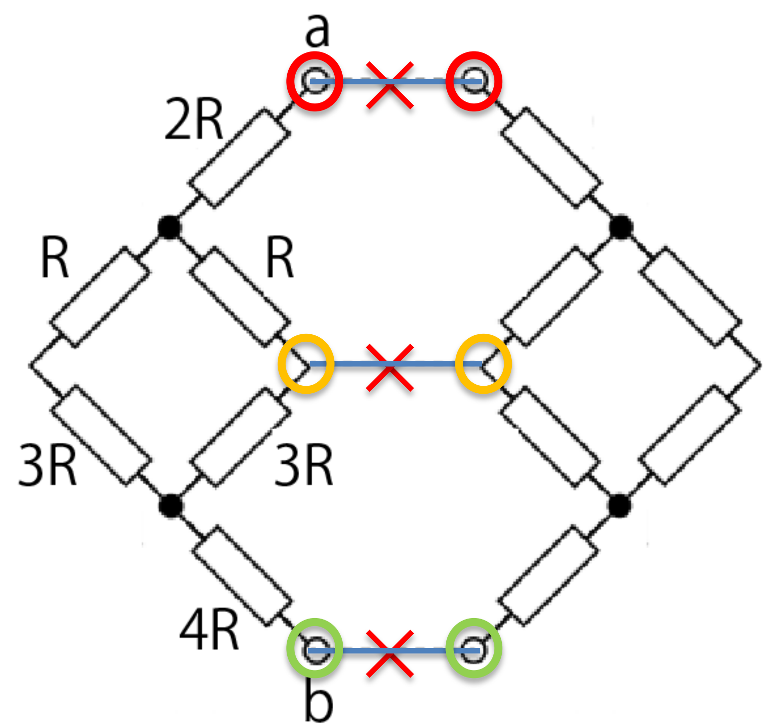
全ての抵抗の
抵抗値は等しい



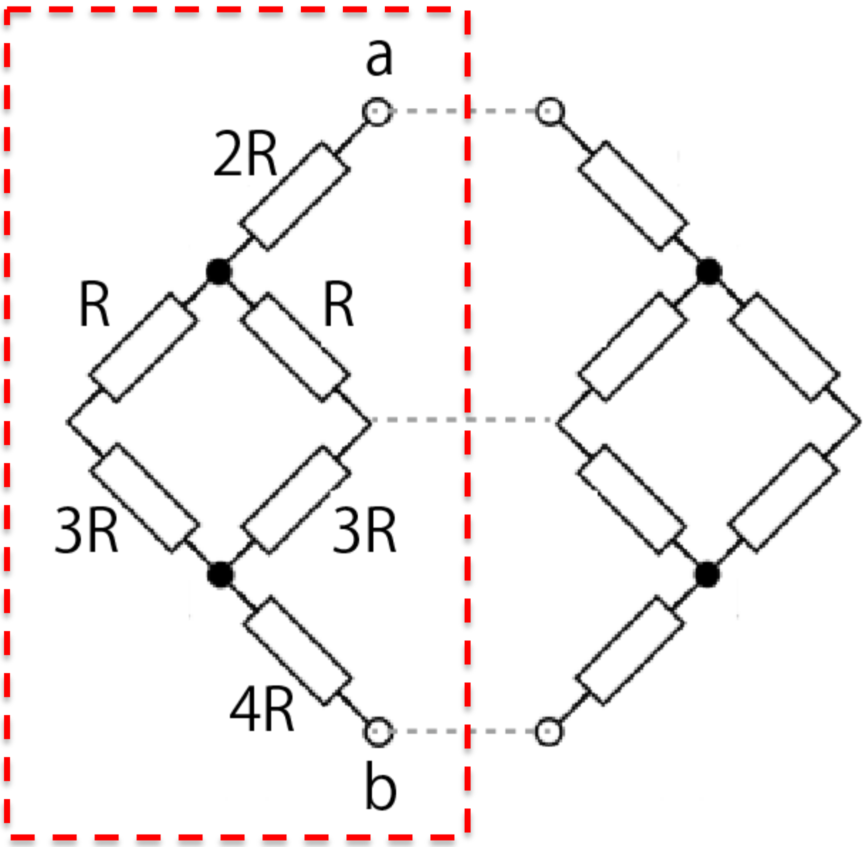
平成25年第2回　電気通信主任技術者「電気通信システム」 問2

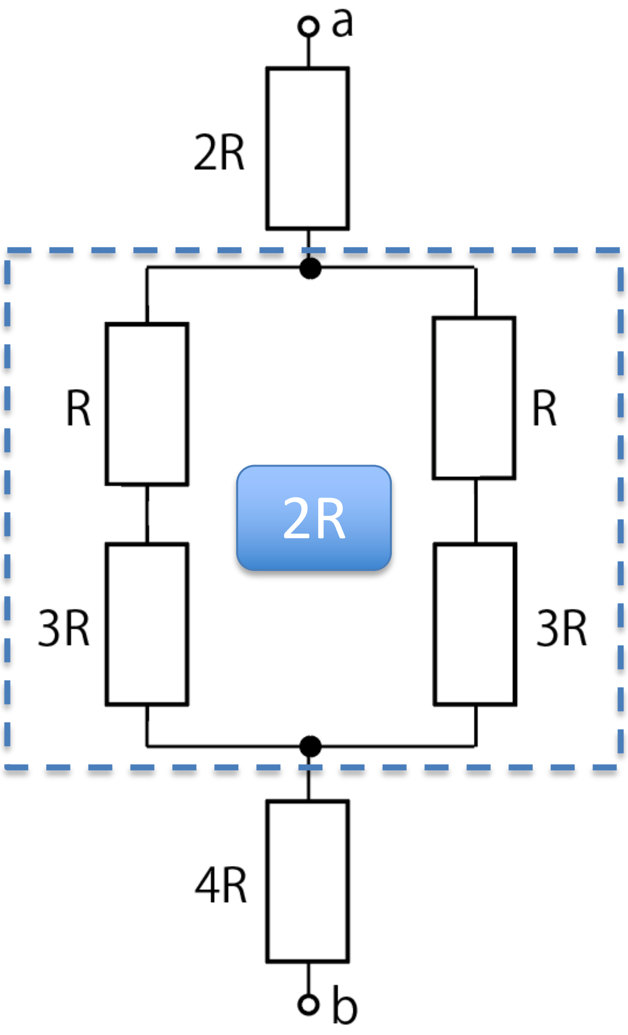
平成30年12月A-3（平成27年4月A-6初)



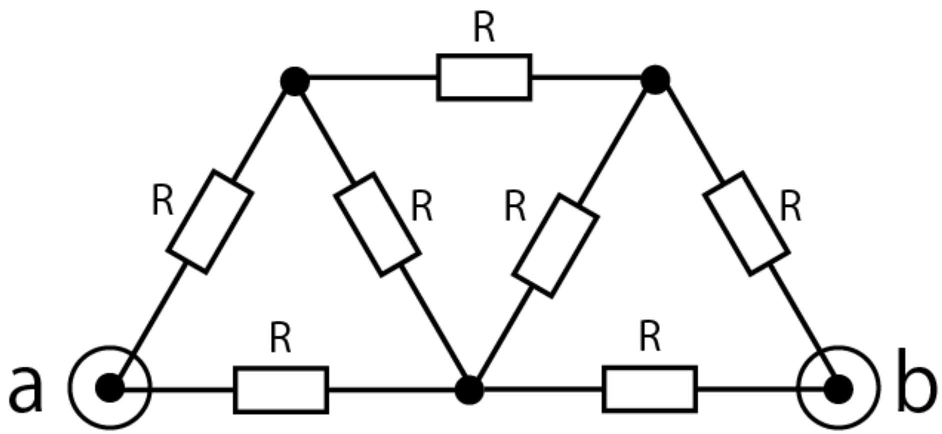


回路は左図の破線に対して左右対称である。回路中を流れる電流も左右対称になるので、右図に示す半分の回路の合成抵抗を求め、次に全体の合成抵抗を求めればよい。

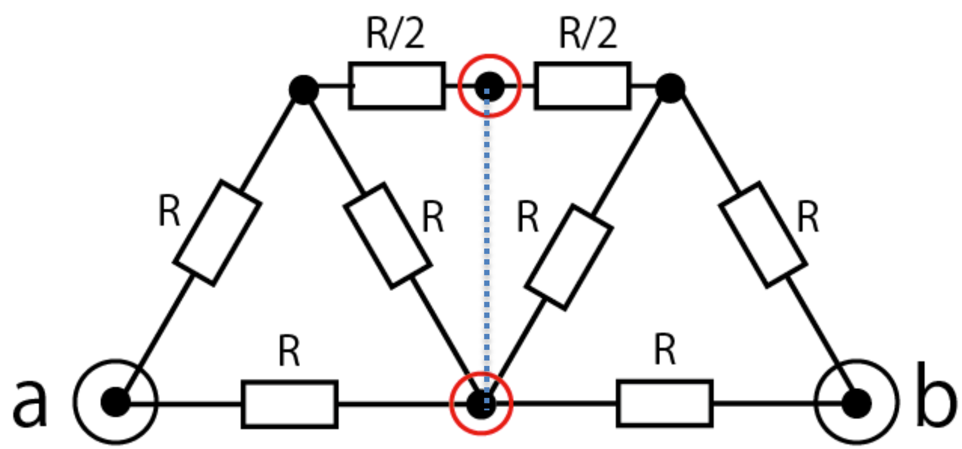

a
2R
R
R
3R
3R
4R
b

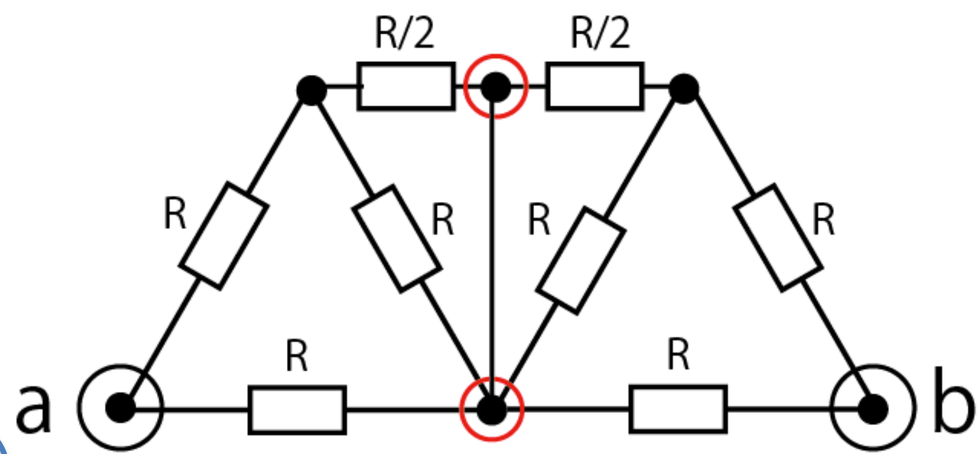

a
2R
R
R
2R
3R
3R
4R
b

令和4年12月A-3

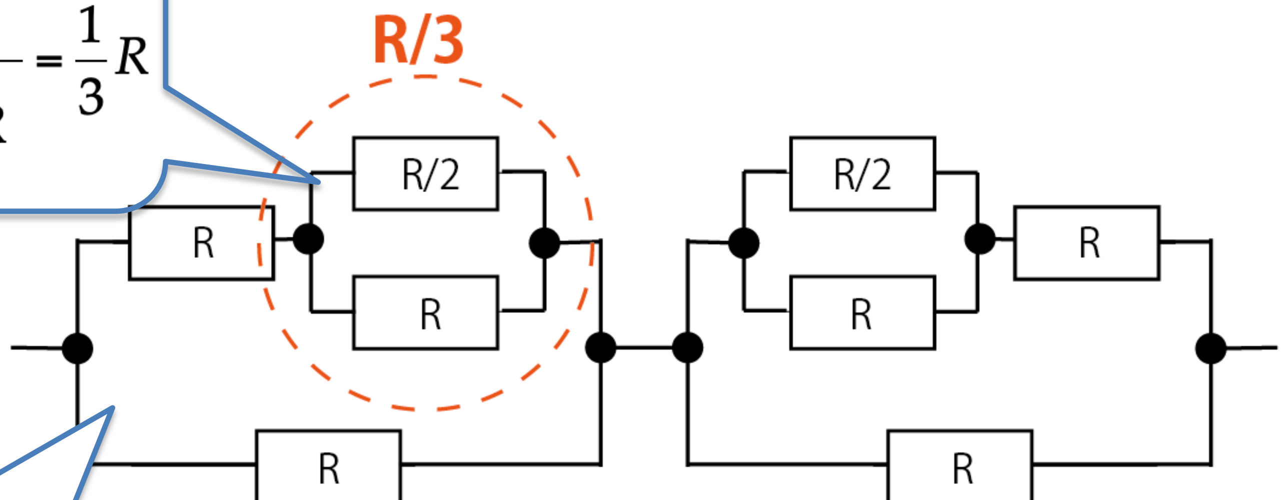


回路の両端を合わせるように折り畳むとき、回路が完全に重なる場合は折り畳む線と交わる点の電位は等しく、両端から見て中点に相当する。





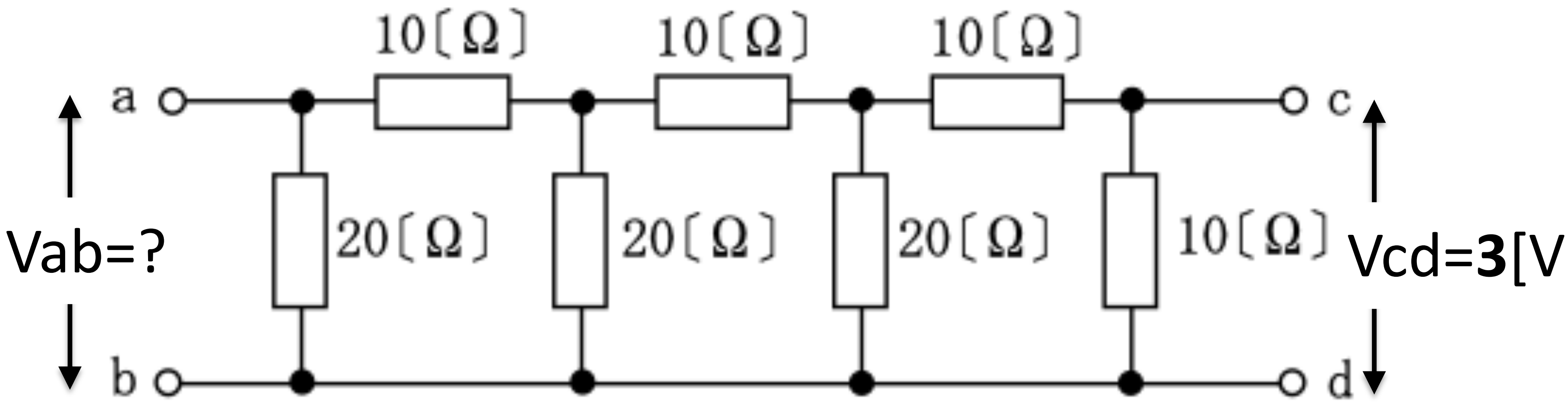
$$\frac{\frac{R}{2}\cdot R}{\frac{R}{2}+R}=\frac{\frac{1}{2}R^{2}}{\frac{3}{2}R}=\frac{1}{3}R$$



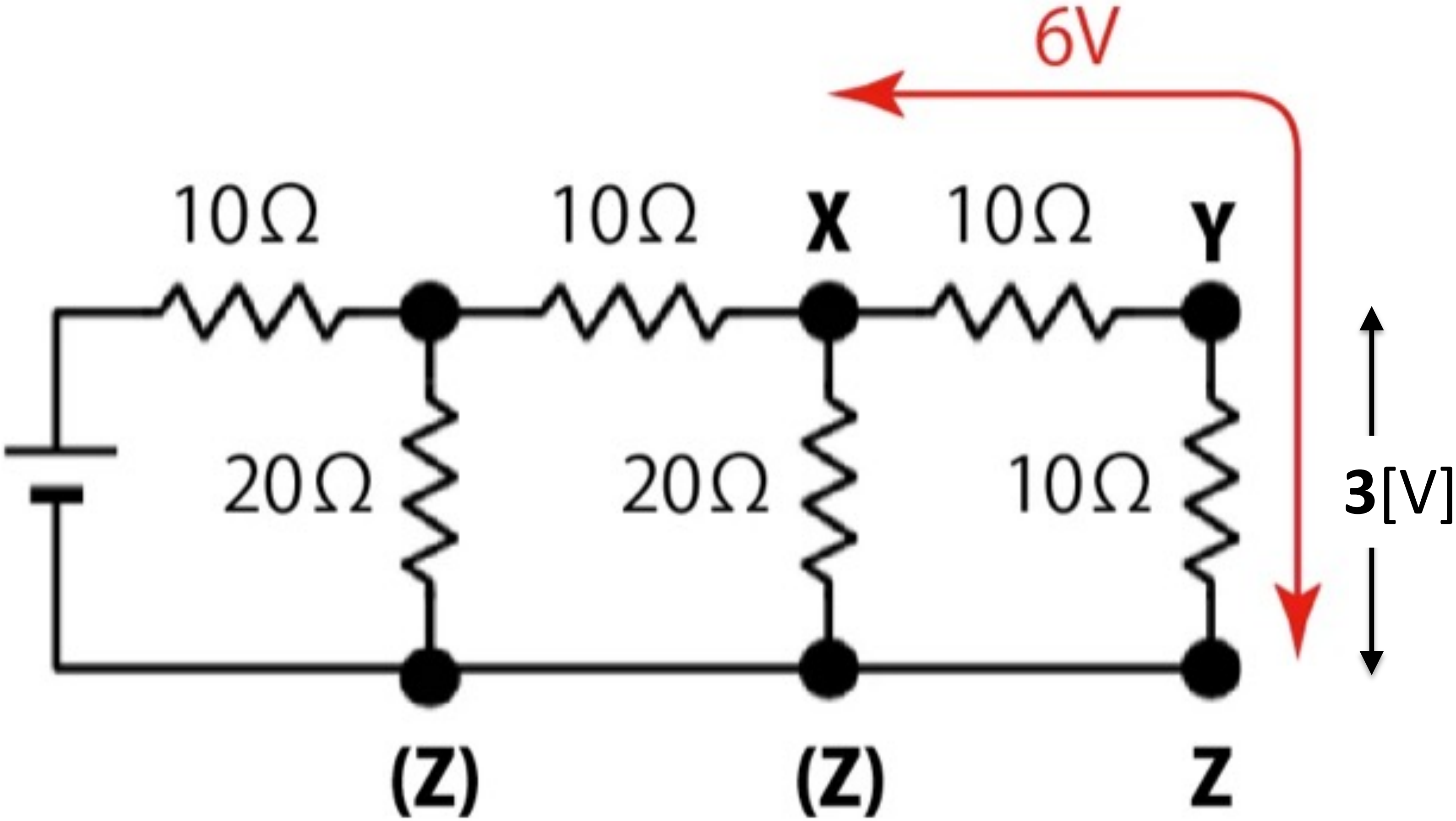
$$\frac{\frac{4}{3}R\cdot R}{\frac{4}{3}R+R}=\frac{\frac{4}{3}R^{2}}{\frac{7}{3}R}=\frac{4}{7}R$$

$$\frac{4}{7}R+\frac{4}{7}R=\frac{8}{7}R$$

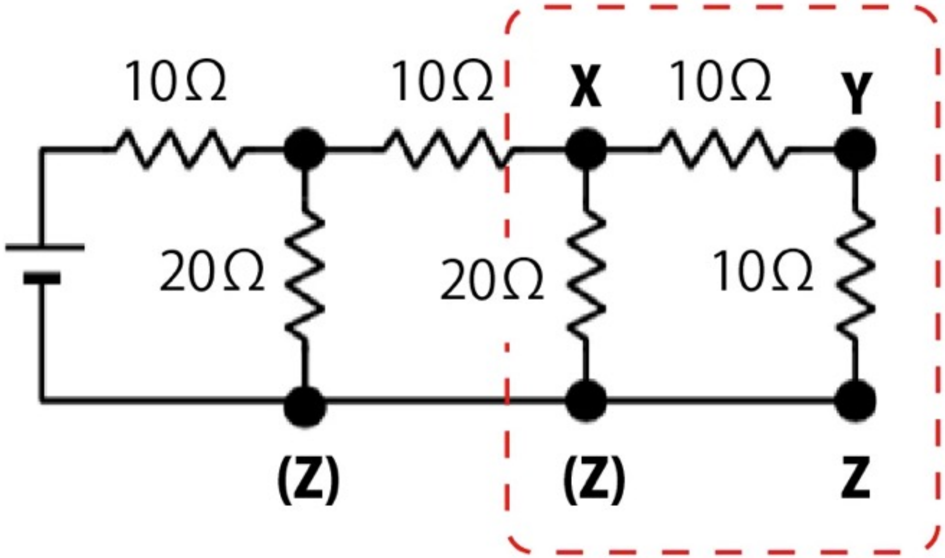
令和5年4月期A-3



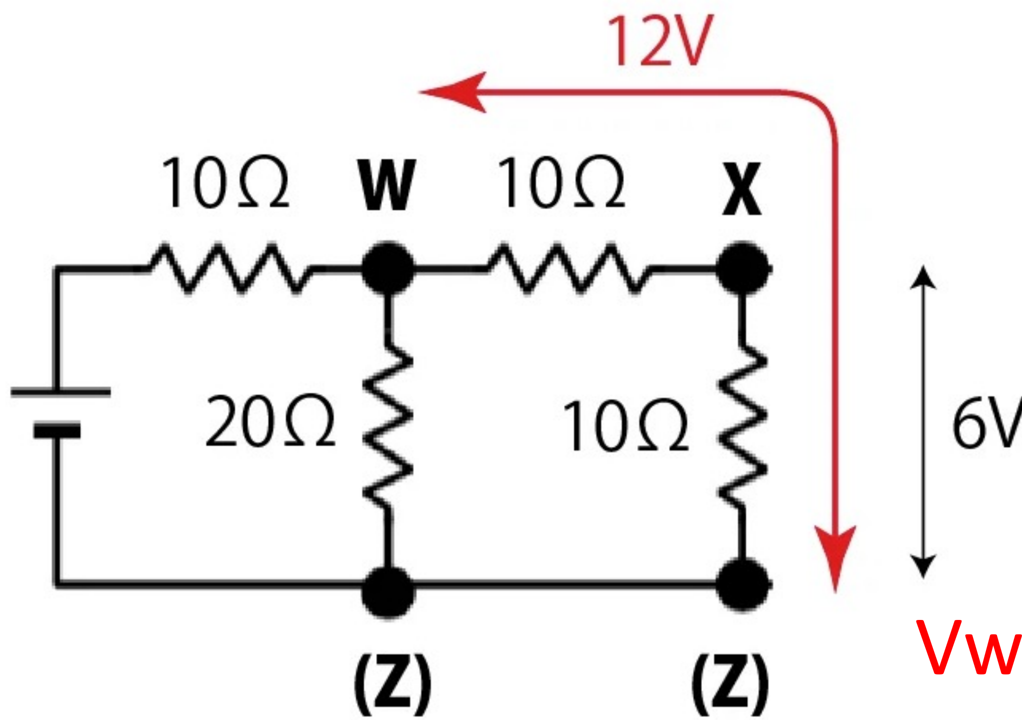
抵抗ラダー(はしご形)回路の問題
ー総通や電験三種などで良く出題される



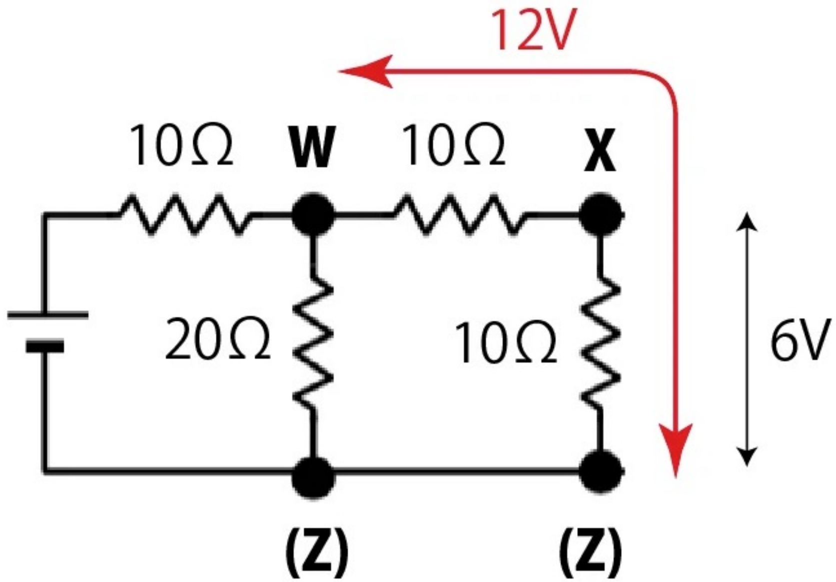
Vxz=2 × Vyz

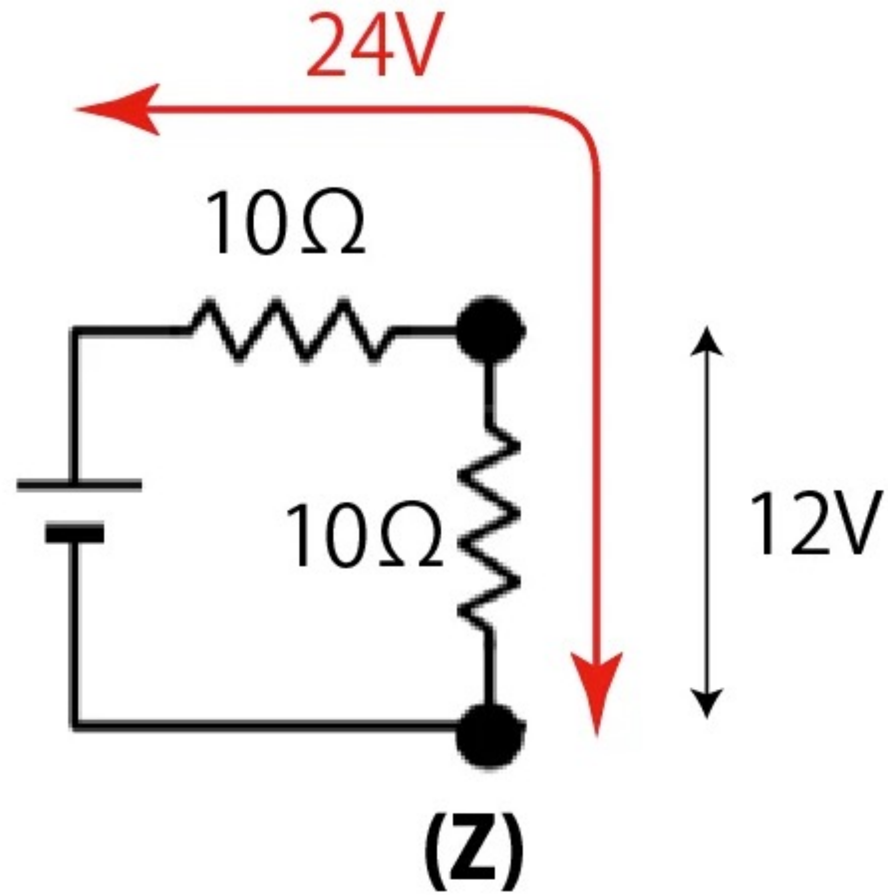


20Ωと20Ωの並列
=10Ω



$V_{wz} = 2 \times V_{xz}$


12V
10Ω
W
10Ω
X
20Ω
10Ω
6V
(Z)
(Z)


24V
10Ω
10Ω
12V
(Z)

抵抗回路網

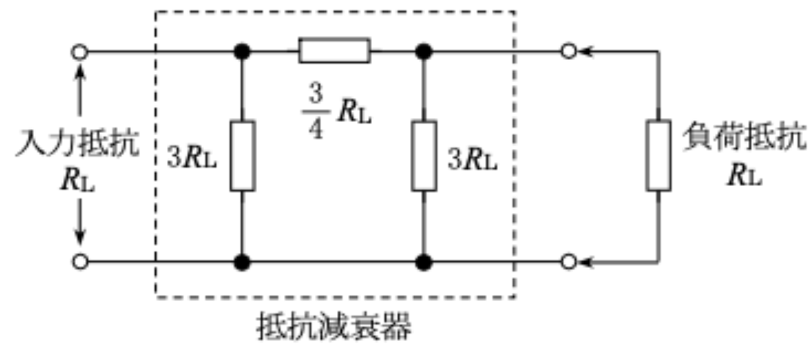
抵抗減衰器

令和元年8月A-3

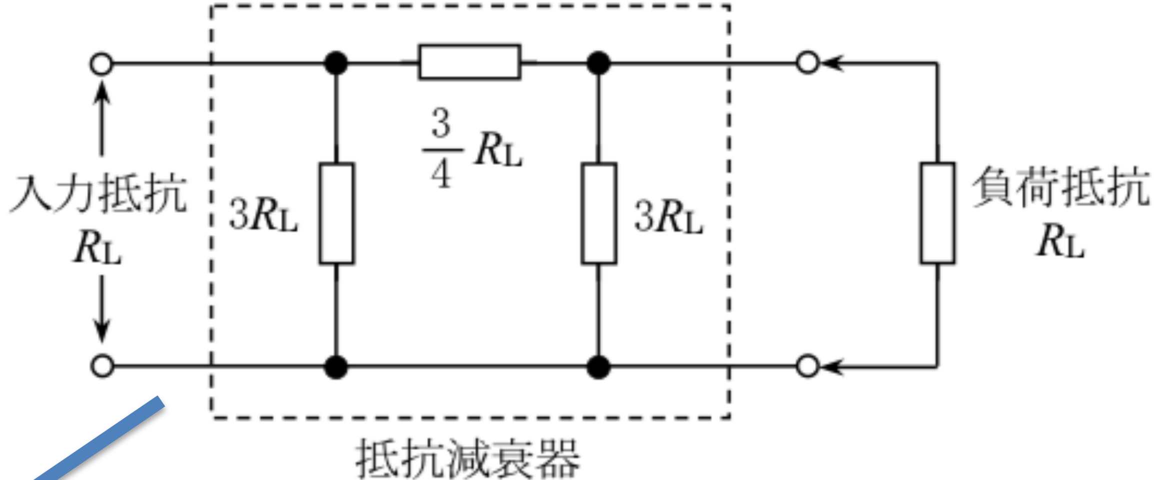
A－3　図に示す π 形抵抗減衰器(アッテネータ)の減衰量 L の値として、最も近いものを下の番号から選べ。ただし、減衰量 L は、減衰器の入力電力を P_1、出力電力を P_2 とすると、次式で表されるものとする。また、$\log_{10}2 \fallingdotseq 0.3$ とする。

$$L = 10\log_{10}\frac{P_1}{P_2}\ \text{〔dB〕}$$

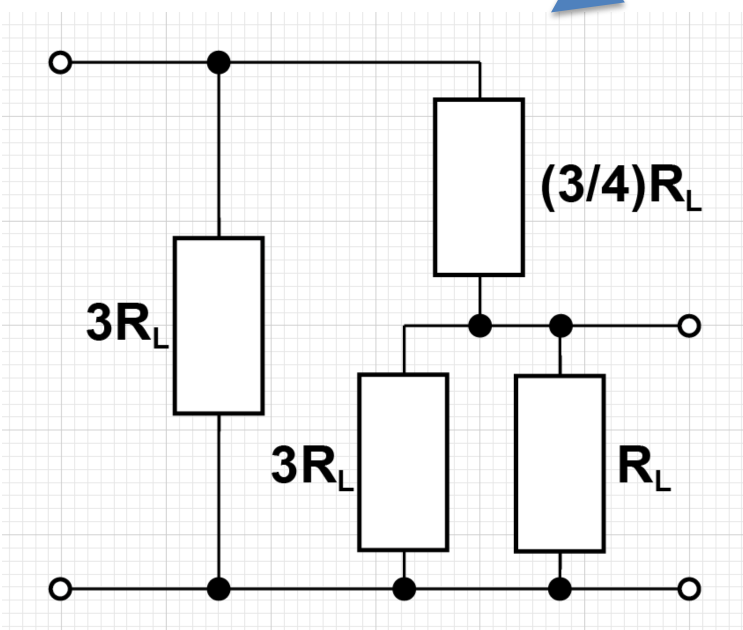
1　6〔dB〕
2　9〔dB〕
3　12〔dB〕
4　16〔dB〕
5　20〔dB〕



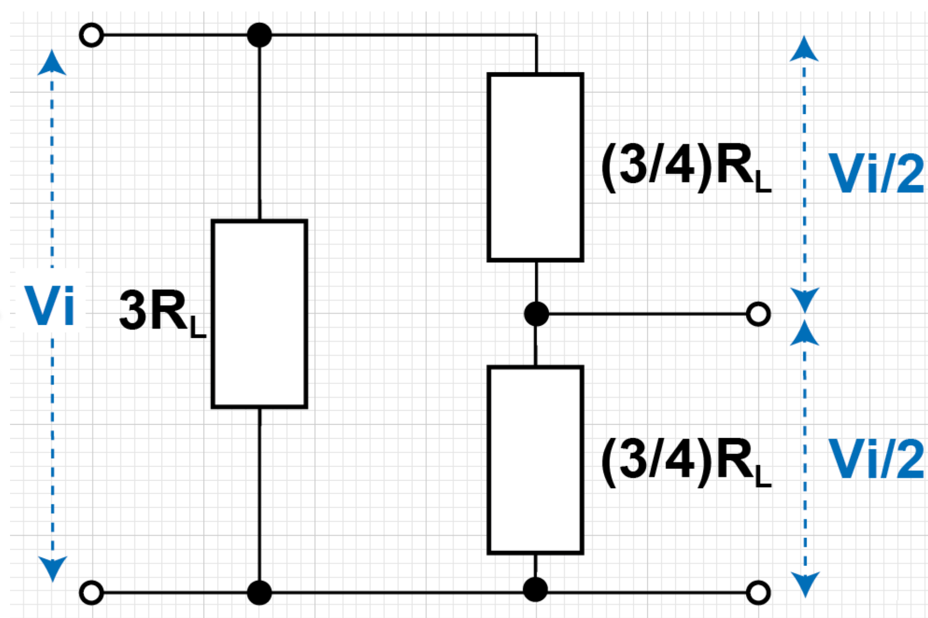
令和元年8月
A-3



入力抵抗
R_L
$3R_L$
$\frac{3}{4}R_L$
$3R_L$
負荷抵抗
R_L
抵抗減衰器



$(3/4)R_L$
$3R_L$
$3R_L$
R_L

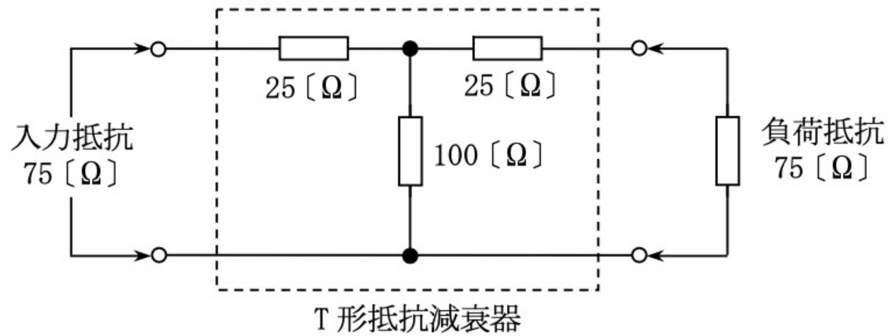


Vi
$3R_L$
$(3/4)R_L$
Vi/2
$(3/4)R_L$
Vi/2

令和3年4月A-3

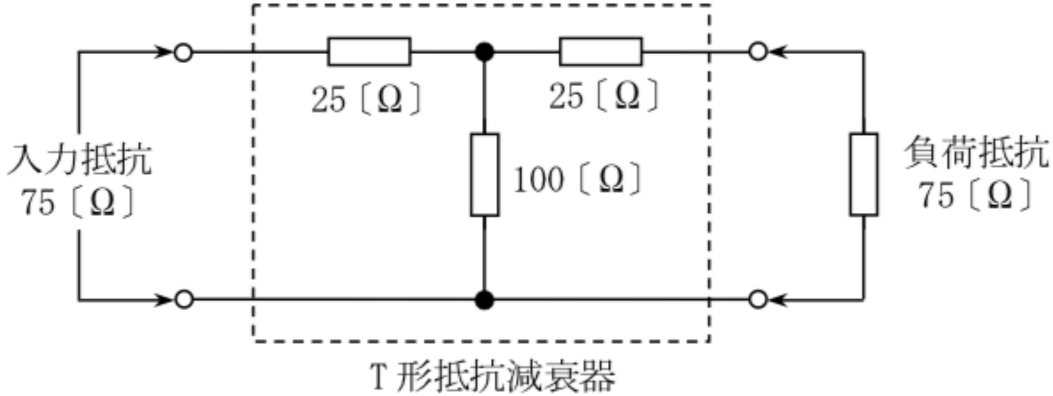
A - 3 図に示すT形抵抗減衰器の減衰量 L の大きさの値として、最も近いものを下の番号から選べ。ただし、減衰量 L は、減衰器の入力電力を P_1、出力電力を P_2 とすると、次式で表されるものとする。また、$\log_{10}2 \fallingdotseq 0.3$ とする。

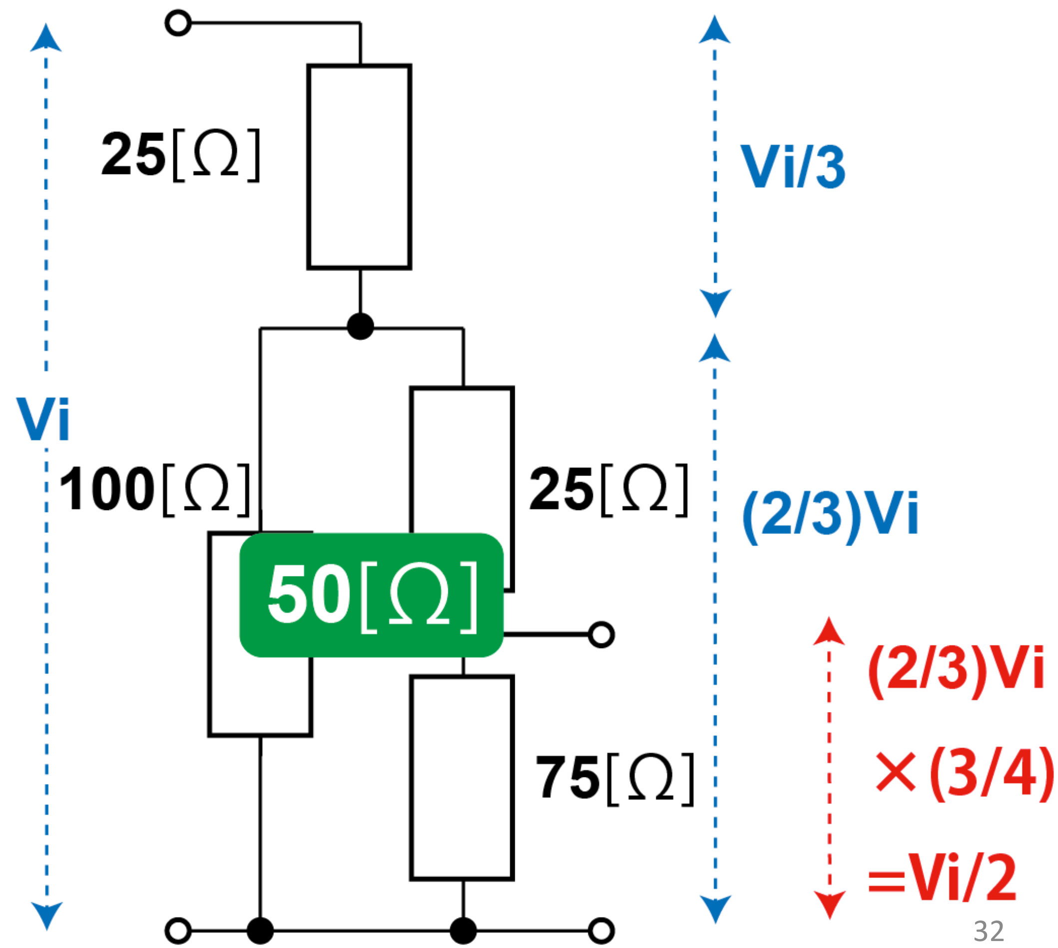
$$L = 10\log_{10}\frac{P_1}{P_2}\ \text{〔dB〕}$$



1 15〔dB〕
2 12〔dB〕
3 9〔dB〕
4 6〔dB〕
5 3〔dB〕

令和3年4月
A-3


25〔Ω〕
25〔Ω〕
100〔Ω〕
入力抵抗
75〔Ω〕
負荷抵抗
75〔Ω〕
T 形抵抗減衰器


25[Ω]
Vi/3
Vi
100[Ω]
25[Ω]
(2/3)Vi
50[Ω]
75[Ω]
(2/3)Vi
×(3/4)
=Vi/2

入力電力Pi、出力電力Poはそれぞれ入力電圧Vi、出力電圧Voの2乗に比例するから入力電力Piは出力電力Poの4倍である。

$$V_o = \frac{1}{2}V_i$$

$$P_o \propto V_o{}^2$$

$$P_i \propto V_i{}^2 = 4V_o{}^2$$

$$P_i = 4P_o$$

従って求める減衰量Lは

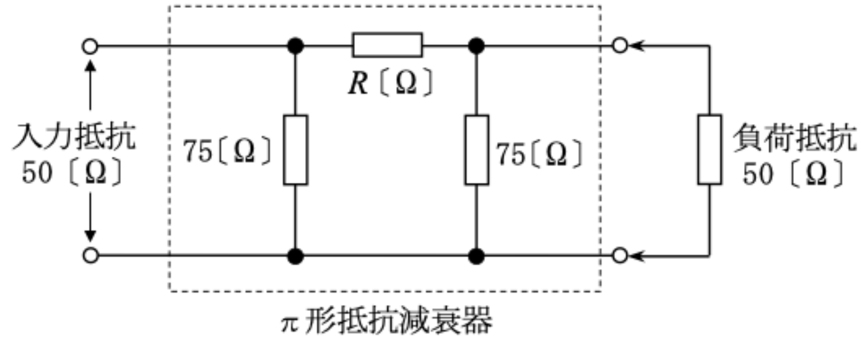
$$L = 10\log\frac{P_i}{P_o} = 10\log\frac{4P_o}{P_o} = 10\log 4$$

$$= 10\log 2^2 = 20\log 2 = 20\times 0.3 = 6[dB]$$

令和5年8月A-3

A－3　図に示すπ形抵抗減衰器の減衰量(電圧)が 14〔dB〕であるとき、抵抗 R〔Ω〕の値として、最も近いものを下の番号から選べ。
ただし、$\log_{10}5 \fallingdotseq 0.7$ とする。

1　50〔Ω〕
2　60〔Ω〕
3　75〔Ω〕
4　120〔Ω〕
5　150〔Ω〕



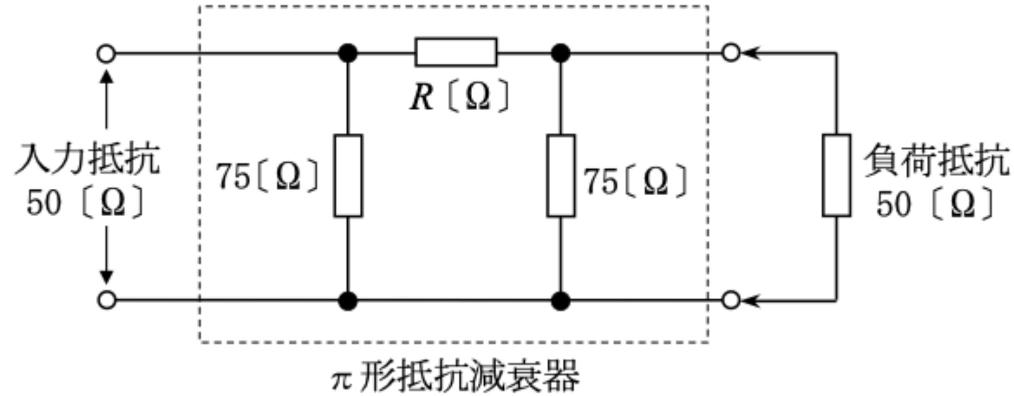
電圧減衰量L[dB]=20log(Vi/Vo)

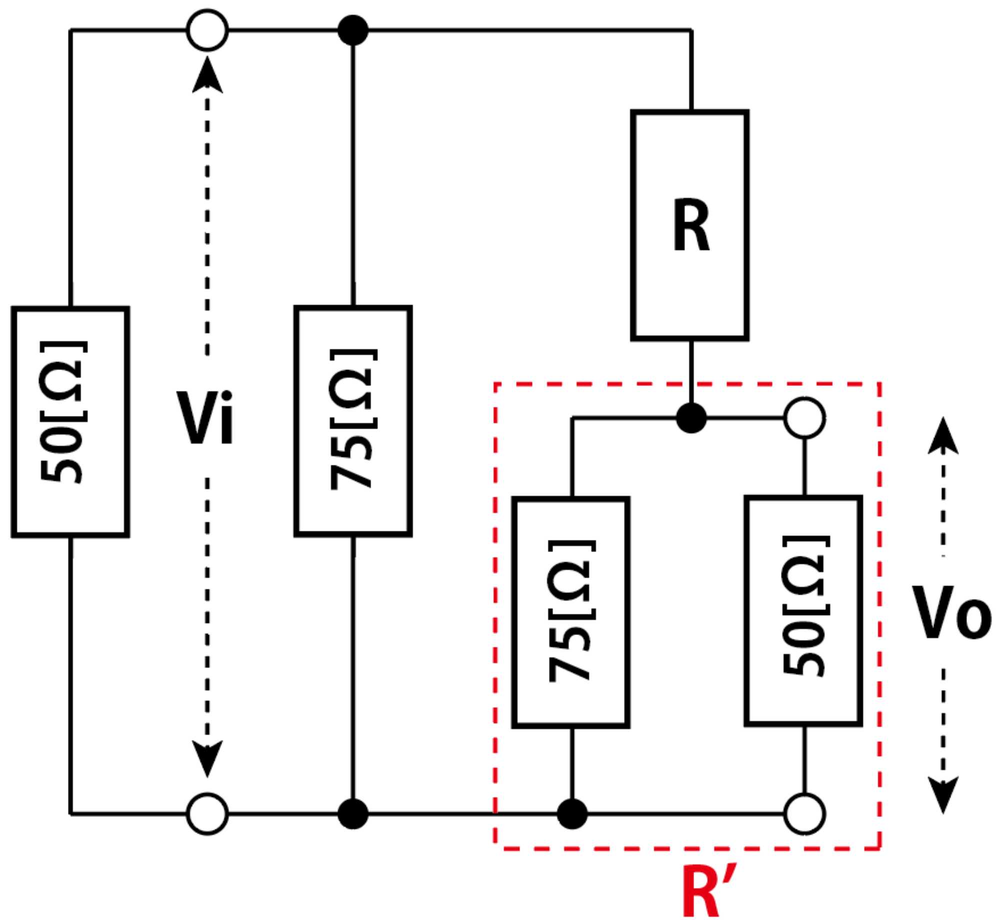
14=20log(Vi/Vo)

Log(Vi/Vo)=0.7=1-0.3=log10-log2=log(10/2)=log5

Vi/Vo=5

Vo/Vi=1/5





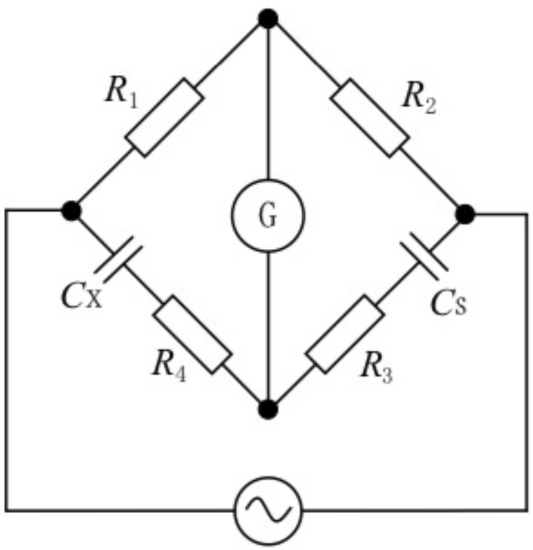
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R'}{R + R'}$$

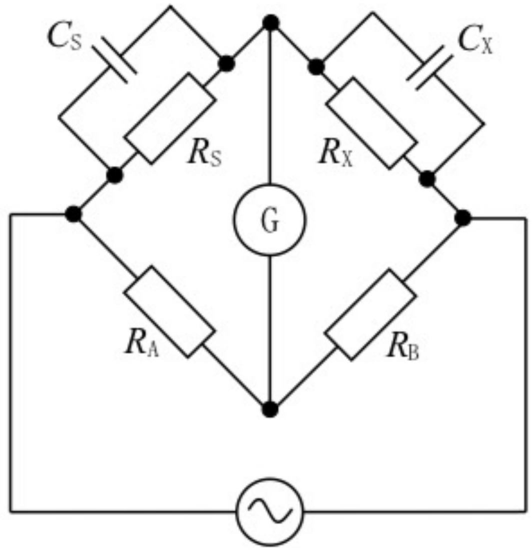
$$= \frac{\frac{75 \times 50}{75 + 50}}{R + \frac{75 \times 50}{75 + 50}} = \frac{30}{R + 30} = \frac{1}{5}$$

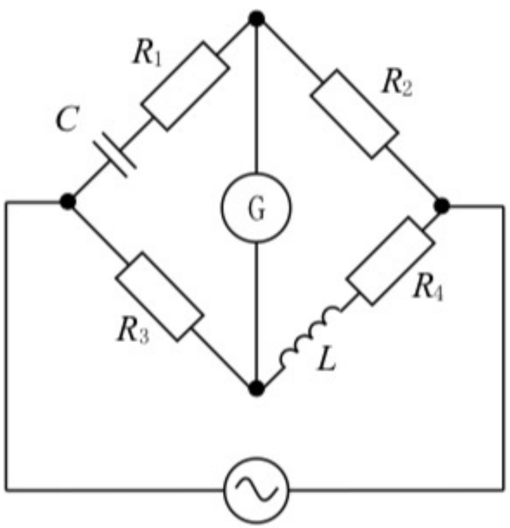
$$R + 30 = 150$$

$$R = 120$$

交流ブリッジ回路







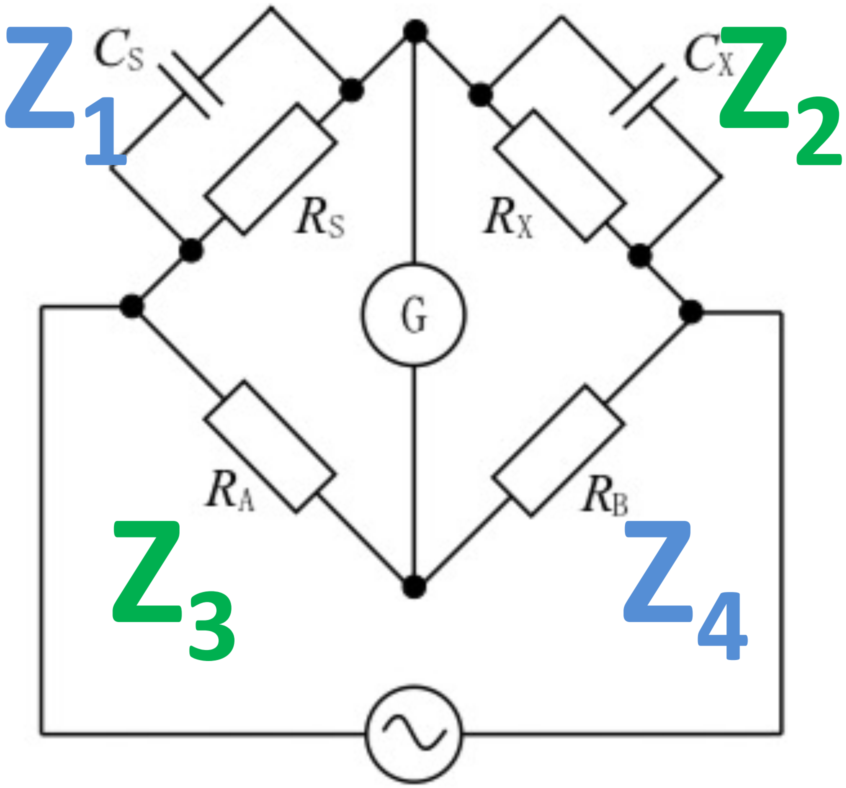
平成30年8月A-3
（平成29年8月A-4)

令和2年12月A-3

令和4年4月A-5
（令和1年8月A-4）

平衡条件（数式）を用いて求める

交流ブリッジ回路の平衡条件



$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

交流抵抗

インピーダンス

記号：Z
単位：Ω
Z=R+jX

抵抗（レジスタンス）

記号：R
単位：Ω

電圧と電流は
同位相

容量性リアクタンス

記号：X_C
単位：Ω
$X_C=1/\omega C$

電圧は電流より
90° 遅れる

誘導性リアクタンス

記号：X_L
単位：Ω
$X_L=\omega L$

電圧は電流より
90° 進む

複素数表記

$$R$$

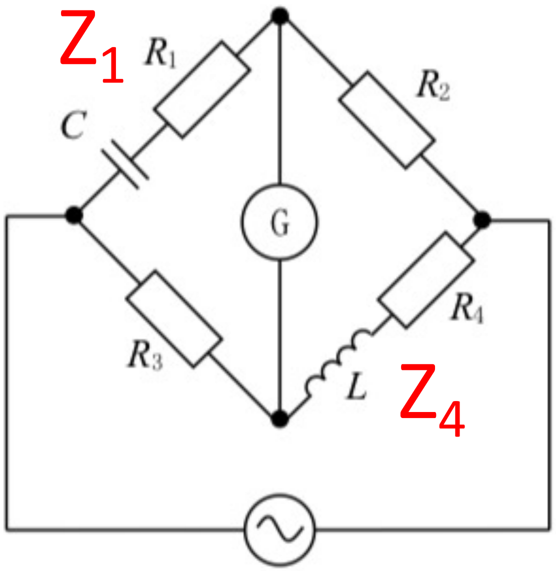
$$\frac{1}{j\omega C}\left(= -j\frac{1}{\omega C}\right)$$

$$j\omega L$$

$\omega = 2\pi f$（角周波数）

令和4年4月A-5（令和1年8月A-4）

CとR$_1$、LとR$_4$のそれぞれの合成インピーダンスをZ$_1$、Z$_4$とすると



$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z_4 = R_4 + j\omega L$$

このとき平衡条件は次のように表せる

$$\boxed{Z_1 Z_4 = R_2 R_3}$$

$$Z_1 Z_4 = R_2 R_3$$

$$\left(R_1 + \frac{1}{j\omega C}\right)\left(R_4 + j\omega L\right) = R_2 R_3$$

$$\left(j\omega C R_1 + 1\right)\left(R_4 + j\omega L\right) = j\omega C R_2 R_3$$

$$j\omega C R_1 R_4 + R_4 - \omega^2 C R_1 L + j\omega L - j\omega C R_2 R_3 = 0$$

$$R_4 - \omega^2 C R_1 L + j\omega\left(C R_1 R_4 + L - C R_2 R_3\right) = 0$$

j×j=-1

上式が常に成り立つとき、実数項=0（および虚数項=0）であるから

$$R_4 - \omega^2 C R_1 L = 0$$

$$\omega^2 = \frac{R_4}{C R_1 L}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{R_4}{L C R_1}}$$

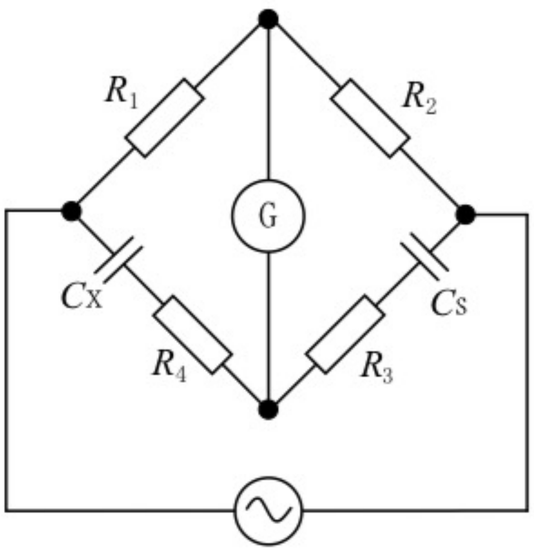
$$\boxed{f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{R_4}{L C R_1}}}$$ （ω=2πf）

平成30年8月A-3(平成29年8月A-4初出)

$$R_1\left(R_3+\frac{1}{j\omega C_S}\right)=R_2\left(R_4+\frac{1}{j\omega C_X}\right)$$

$$R_1R_3-j\frac{R_1}{\omega C_S}=R_2R_4-j\frac{R_2}{\omega C_X}$$

$$R_1R_3-R_2R_4+j\frac{1}{\omega}\left(\frac{R_2}{C_X}-\frac{R_1}{C_S}\right)=0$$



上式が常に成り立つとき、実数項=0(および虚数項=0)であるから

$$R_1R_3-R_2R_4=0$$

$$\boxed{R_1R_3=R_2R_4}$$

$$\frac{R_2}{C_X}-\frac{R_1}{C_S}=0$$

$$\frac{R_2}{C_X}=\frac{R_1}{C_S}$$

$$\boxed{C_X=C_S\frac{R_2}{R_1}}$$

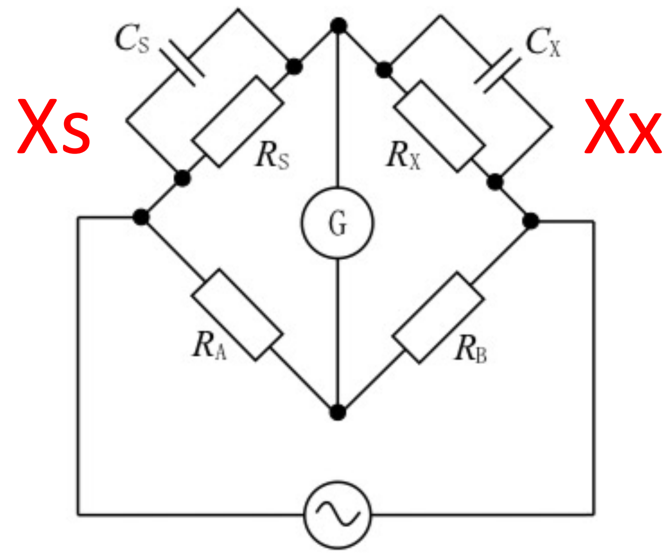
令和2年12月A-3

RxとCxの合成インピーダンスXxとすると

$$\frac{1}{X_X} = \frac{1}{R_X} + j\omega C_X = \frac{1 + j\omega C_X R_X}{R_X}$$

$$\frac{1}{\frac{1}{j\omega C_X}} = j\omega C_X$$

$$X_X = \frac{R_X}{1 + j\omega C_X R_X}$$



平衡条件から

$$X_S R_B = X_X R_A$$

$$\frac{R_S R_B}{1 + j\omega C_S R_S} = \frac{R_X R_A}{1 + j\omega C_X R_X}$$

$$R_S R_B \left(1 + j\omega C_X R_X\right) = R_X R_A \left(1 + j\omega C_S R_S\right)$$

$$\boxed{R_S R_B - R_X R_A + j\omega\left(R_S R_B C_X R_X - R_X R_A C_S R_S\right) = 0}$$

$$\boxed{R_S R_B - R_X R_A + j\omega\left(R_S R_B C_X R_X - R_X R_A C_S R_S\right) = 0}$$

上式が常に成り立つとき、実数項=0(および虚数項=0)であるから

$$R_S R_B - R_X R_A = 0$$

$$R_S R_B = R_X R_A$$

$$\boxed{R_X = \frac{R_S R_B}{R_A}}$$

$$R_S R_B C_X R_X - R_X R_A C_S R_S = 0$$

$$R_S R_B\left(C_X R_X - C_S R_S\right) = 0$$

$$C_X R_X - C_S R_S = 0$$

$$C_X R_X = C_S R_S$$

$$\boxed{C_X = \frac{C_S R_S}{R_X} = \frac{C_S R_S}{\frac{R_S R_B}{R_A}} = \frac{C_S R_A}{R_B}}$$

過渡現象

過渡現象　最近の出題

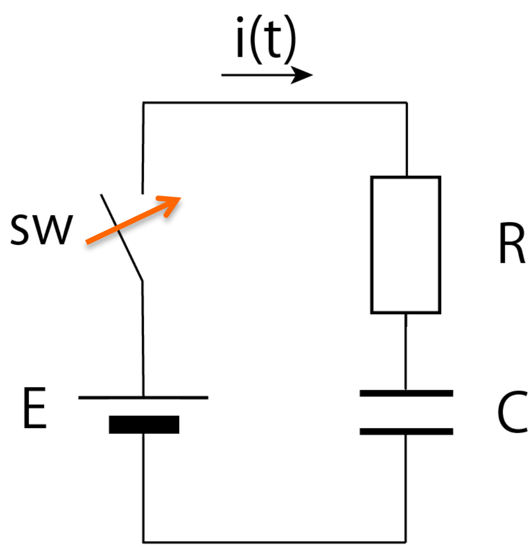
- 平成29年4月期　　A-5　RL回路
- 平成29年12月期　A-4　RC回路
- 平成30年12月期　A-4　RL回路（時定数）
- 平成31年4月期　　A-4　RC回路
- 令和1年12月期　　A-5　RC回路
- 令和3年9月期　　A-4　RC回路
- 令和4年12月期　　A-5　RC回路

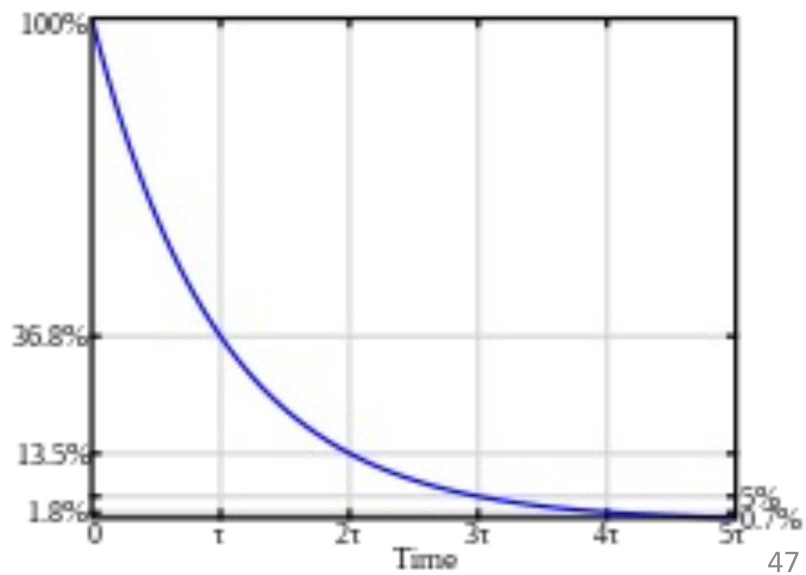
過渡現象で覚えておくこと

- RC（直列）回路とRL（直列）回路の2つ
- 回路を流れる電流の公式とそのグラフ
- 時定数とは何か

RC回路の過渡現象

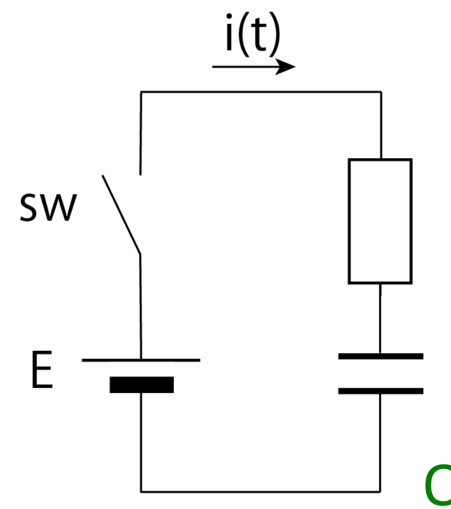
RC直列回路に直流電源を接続したとき、時間が経過するにつれて電流は減少し、最終的には電流が流れなくなる。この**電流の変化**（過渡現象）について考えてみる。





RC過渡現象

コンデンサの容量C[F]、蓄えられる電荷Q[C]とするとコンデンサ両端の電圧はQ/C。また電流i(t)=dQ/dtであるから、回路図の電圧について方程式をたてると



Q=CV
V=Q/C

$$E = Ri(t) + \frac{Q}{C}$$

$$= R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C}$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{CE-Q}{CR}$$

変数分離法を用いて

$$\frac{dQ}{CE-Q} = \frac{dt}{CR}$$

$$\int \frac{dQ}{CE-Q} = \int \frac{dt}{CR}$$

$$-\log_e(CE-Q) = \frac{t}{CR} + A$$

$$\boxed{CE-Q = e^{-\frac{t}{CR}-A}}$$

RC過渡現象

$$\boxed{CE-Q=e^{-\frac{t}{CR}-A}}$$

t=0のとき、Q=0であるから

$$e^{-A}=CE$$

$$CE-Q=CE\cdot e^{-\frac{t}{CR}}$$

$$\boxed{Q=CE\left(1-e^{-\frac{t}{CR}}\right)}$$

$$i(t)=\frac{dQ}{dt}=\frac{CE\left(1-e^{-\frac{t}{CR}}\right)}{dt}$$

$$=CE\left(0+\frac{1}{CR}e^{-\frac{t}{CR}}\right)$$

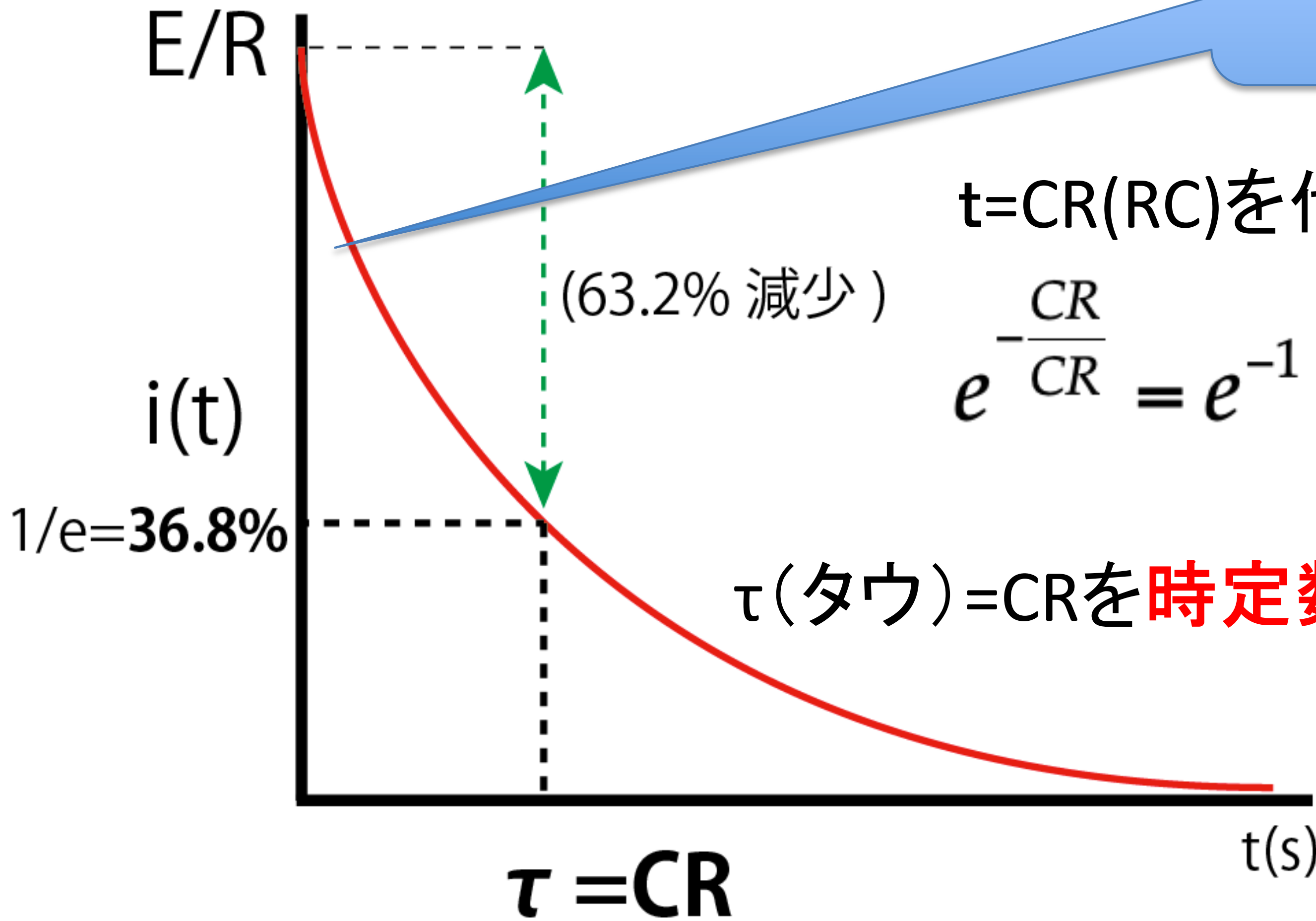
$$\boxed{=\frac{E}{R}\cdot e^{-\frac{t}{CR}}}$$

RC過渡現象

$$\boxed{i(t)=\frac{E}{R}\cdot e^{-\frac{t}{CR}}}$$

この式は覚える

このグラフも覚える



t=CR(RC)を代入すると

$$e^{-\frac{CR}{CR}}=e^{-1}=\frac{1}{e}=0.368$$

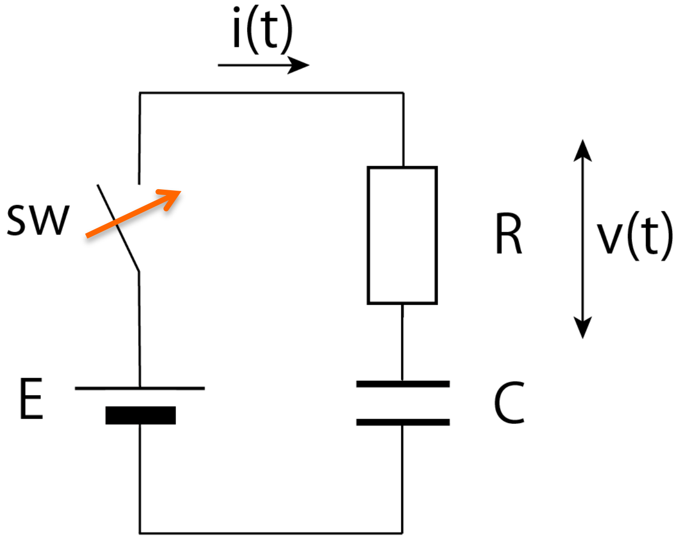
τ(タウ)=CRを**時定数**という

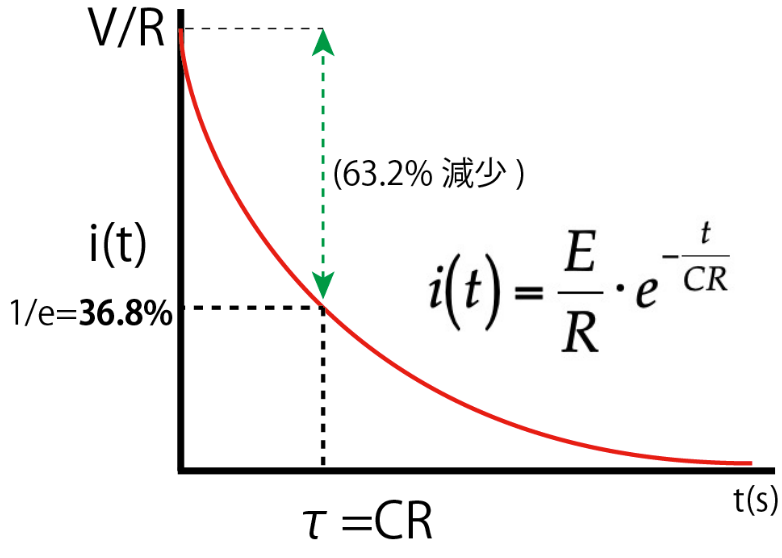
R両端の電圧

$$v(t)=R\cdot i(t)$$

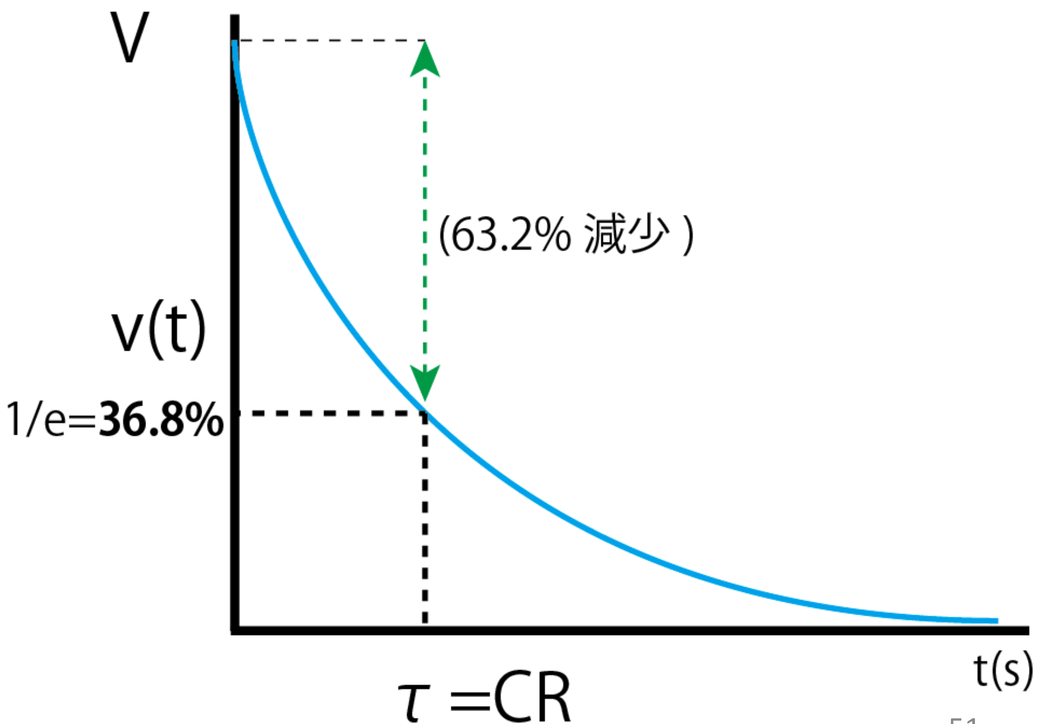
$$=R\cdot\frac{E}{R}e^{-\frac{t}{CR}}$$

$$=E\cdot e^{-\frac{t}{CR}}$$





$$i(t)=\frac{E}{R}\cdot e^{-\frac{t}{CR}}$$



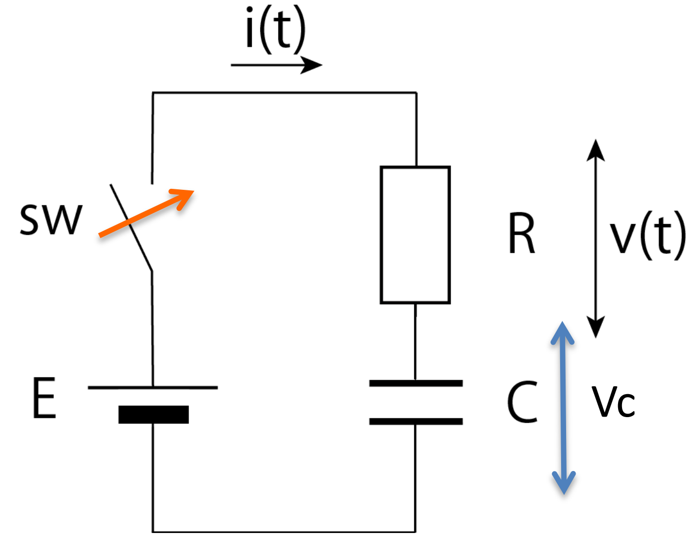
C両端の電圧

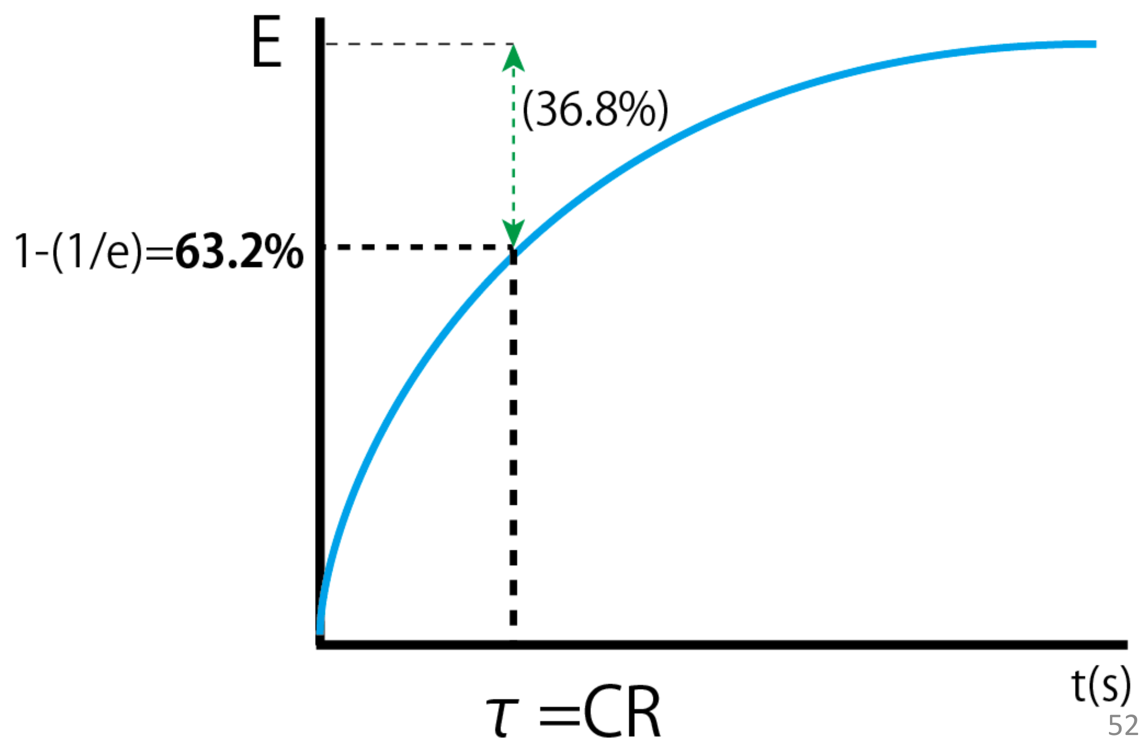
$$V_C = E - v(t)$$

$$= E - R \cdot i(t)$$

$$= E - R \cdot \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{CR}}$$

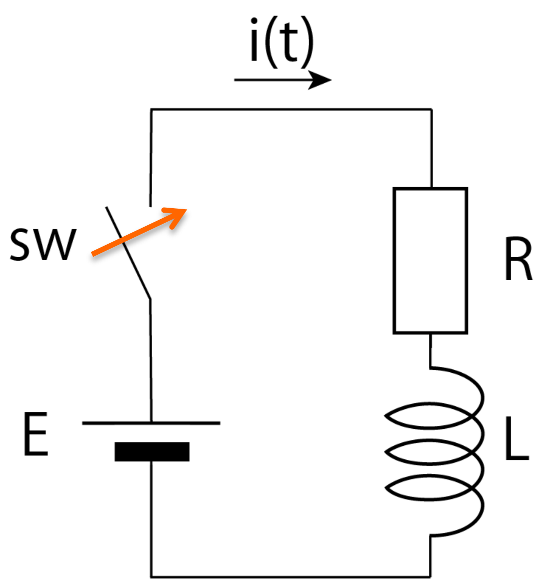
$$= E\left(1 - e^{-\frac{t}{CR}}\right)$$

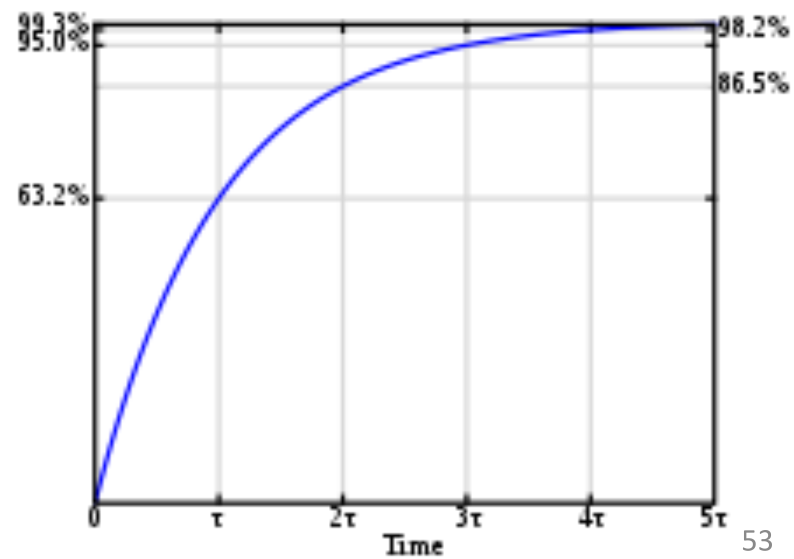




RL回路の過渡現象

RL直列回路に直流電源を接続したとき、時間が経過するにつれて電流は増加し、最終的には一定の電流になる。この電流の変化(過渡現象)について考えてみる。





RL過渡現象

コイルのインダクタンスL[H]とするとコイル両端の電圧は
Ldi(t)/dtであるから、回路の電圧Eについて方程式をたてると

$$E = Ri(t) + \frac{Ldi(t)}{dt}$$

$$E - Ri(t) = \frac{Ldi(t)}{dt}$$

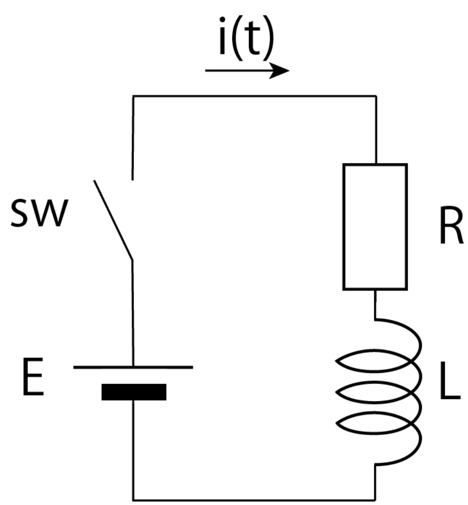
$$\frac{E - Ri(t)}{L} = \frac{di(t)}{dt}$$

$$\frac{1}{L}dt = \frac{di(t)}{E - Ri(t)}$$

$$\frac{R}{L}dt = \frac{1}{\frac{E}{R} - i(t)}di(t)$$

$$\int \frac{R}{L}dt = \int \frac{1}{\frac{E}{R} - i(t)}di(t)$$

$$\frac{R}{L}t + A = -\log_e\left(\frac{E}{R} - i(t)\right)$$

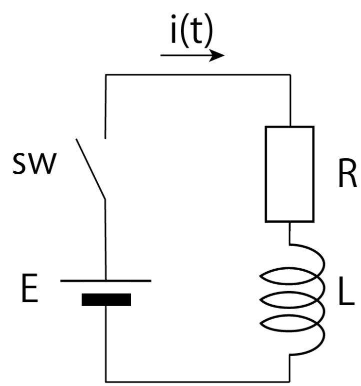


RL過渡現象

$$\frac{R}{L}t + A = -\log_e\left(\frac{E}{R} - i(t)\right)$$

$$\boxed{e^{-\frac{R}{L}t-A} = \frac{E}{R} - i(t)}$$

t=0のときi(t)=0だから



$$e^{-A} = \frac{E}{R}$$

$$\frac{E}{R}e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{E}{R} - i(t)$$

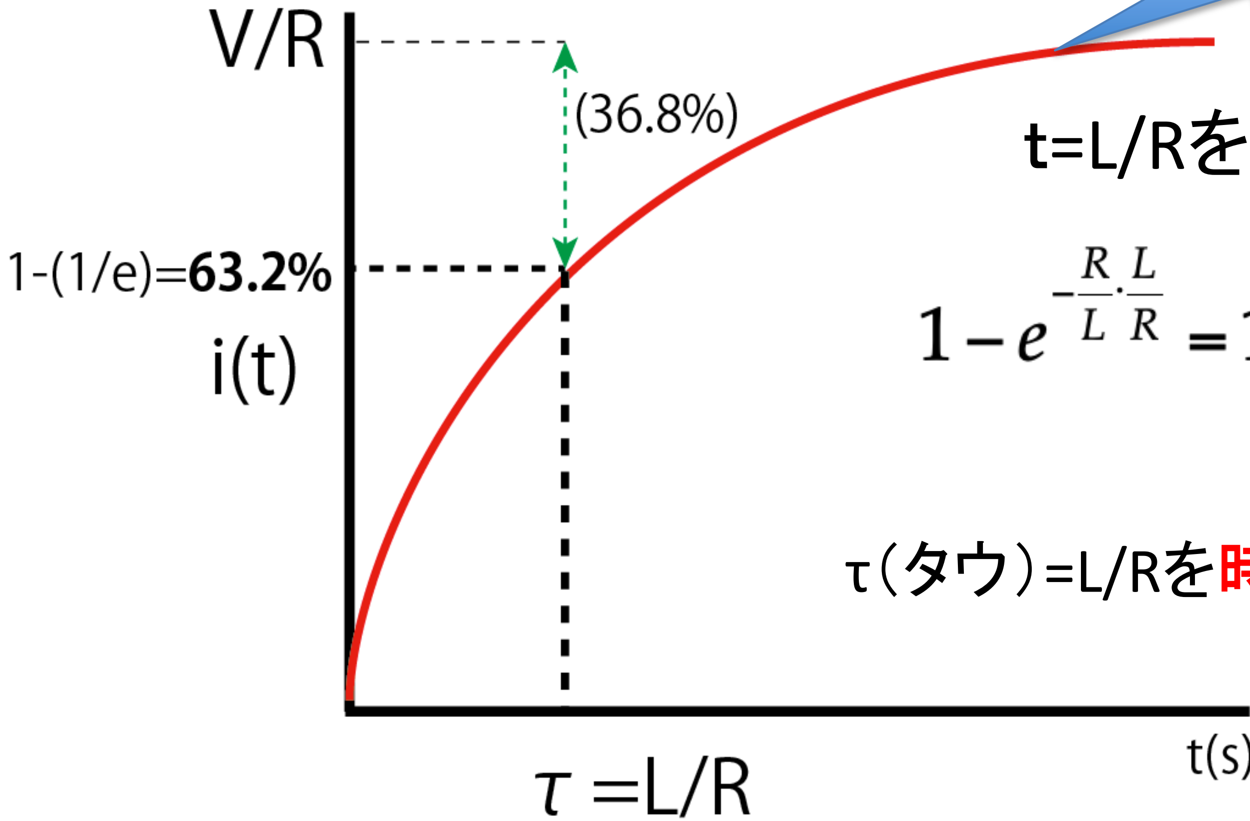
$$\boxed{i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)}$$

RL過渡現象

$$i(t)=\frac{E}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

この式は覚える

このグラフも覚える



t=L/Rを代入すると

$$1-e^{-\frac{R}{L}\cdot\frac{L}{R}}=1-e^{-1}=1-\frac{1}{e}=0.632$$

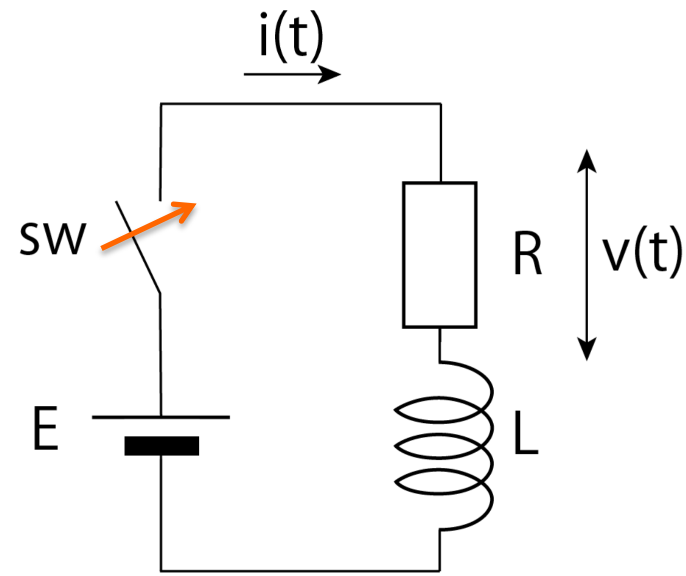
τ（タウ）=L/Rを**時定数**という

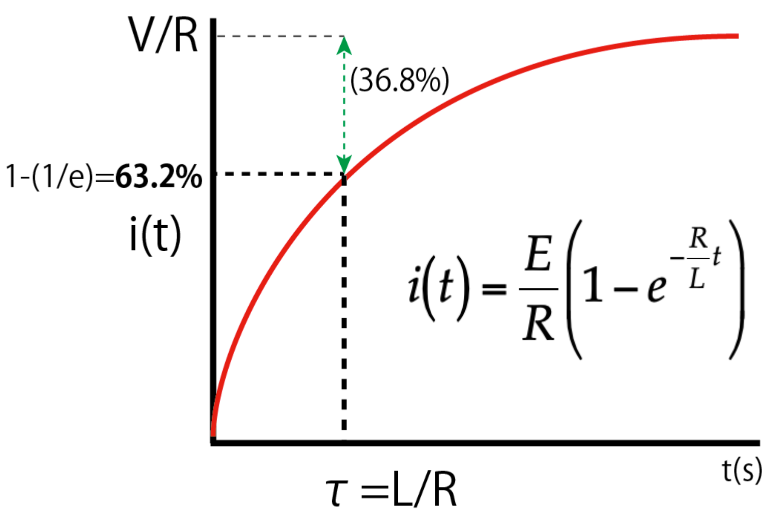
R両端の電圧

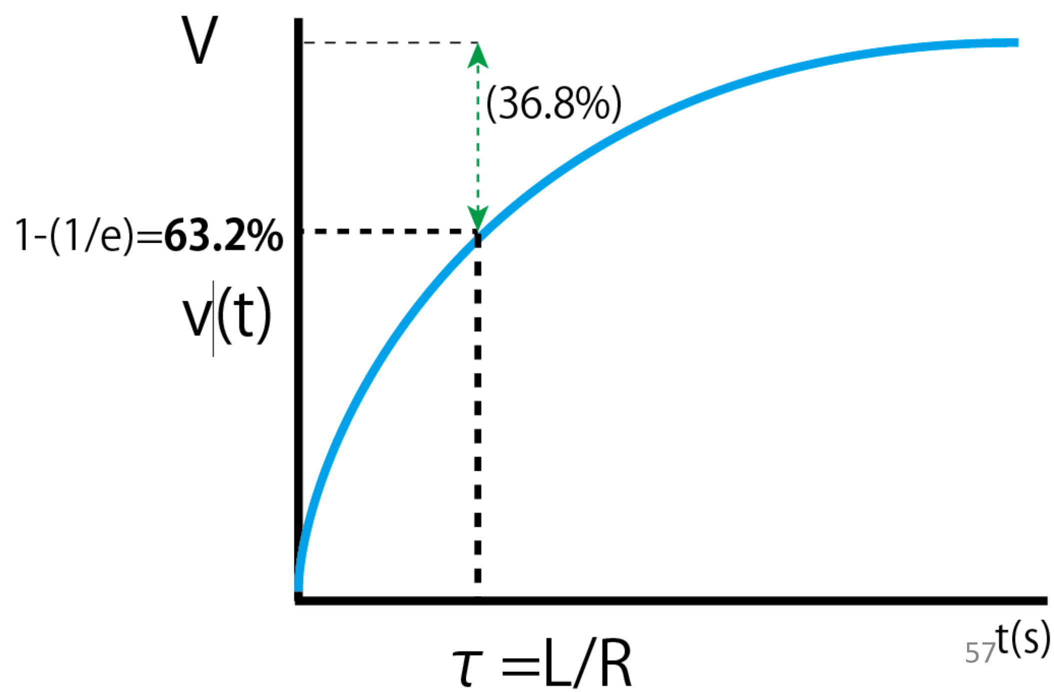
$$v(t) = R \cdot i(t)$$

$$= R \cdot \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

$$= E\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$







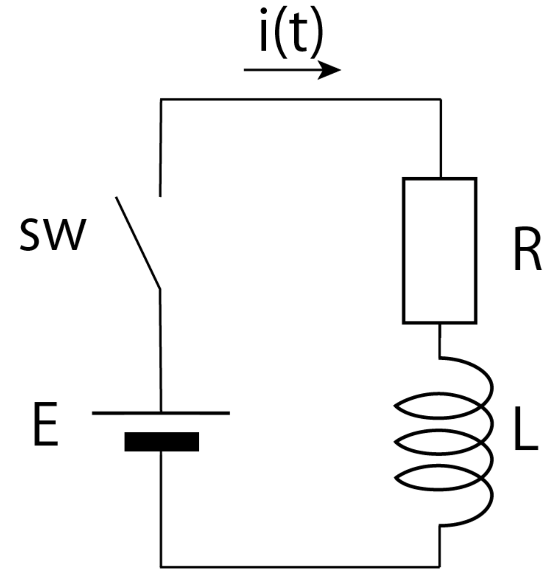
L両端の電圧

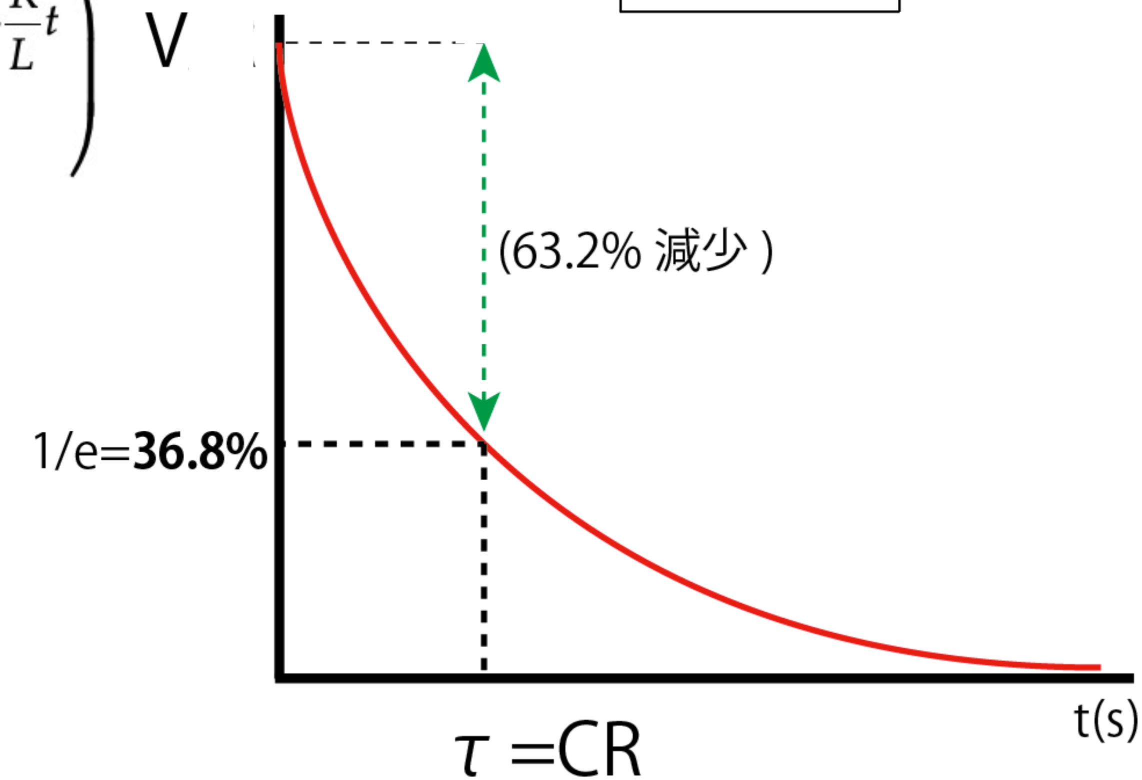
$$V_L = E - v(t)$$

$$= E - Ri(t)$$

$$= E - R\cdot\frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

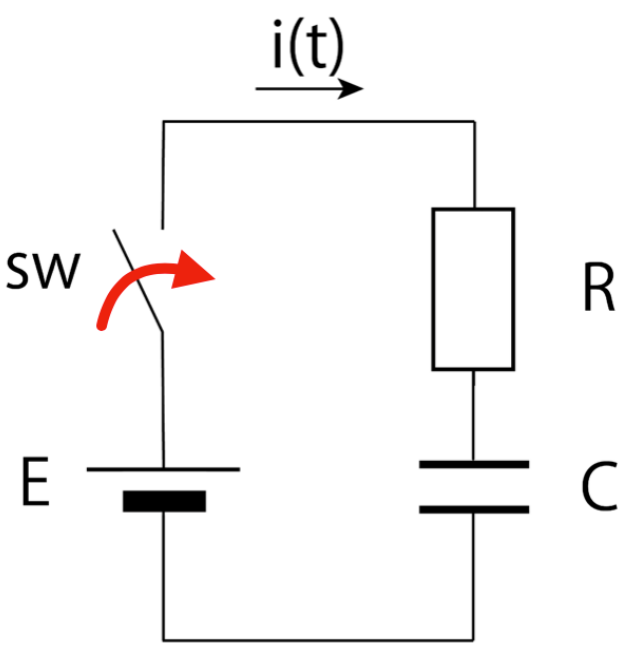
$$= E\cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$



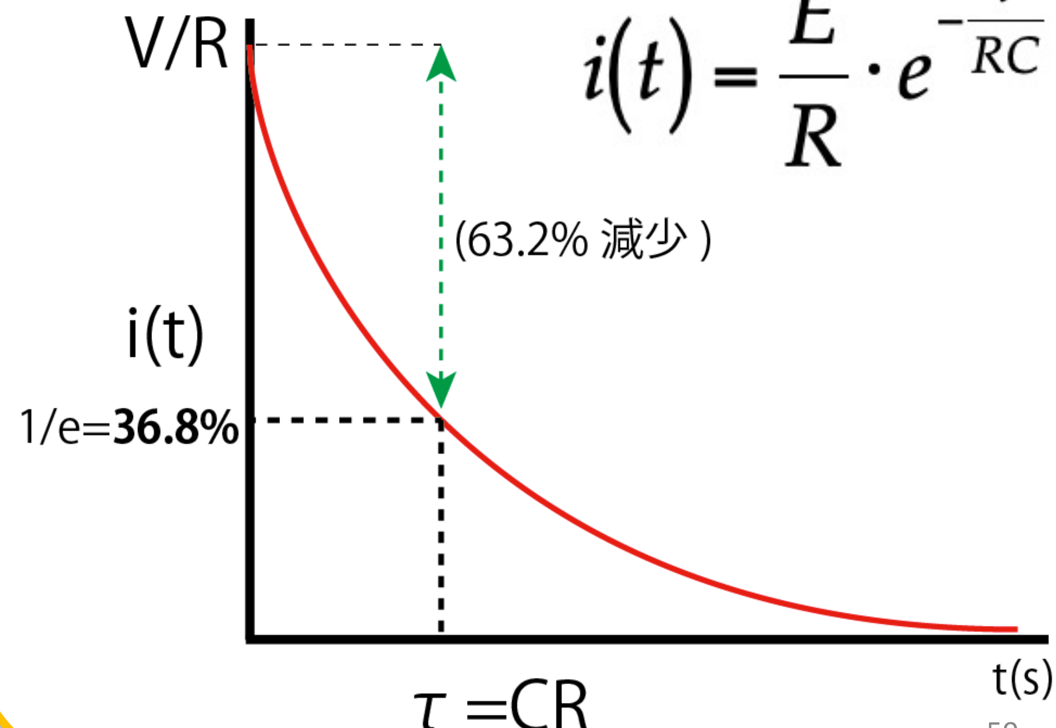


RC直列回路の過渡現象：まとめ

SWを入（ON）にした時間を0秒としたとき、t秒後に回路を流れる電流 i(t) は

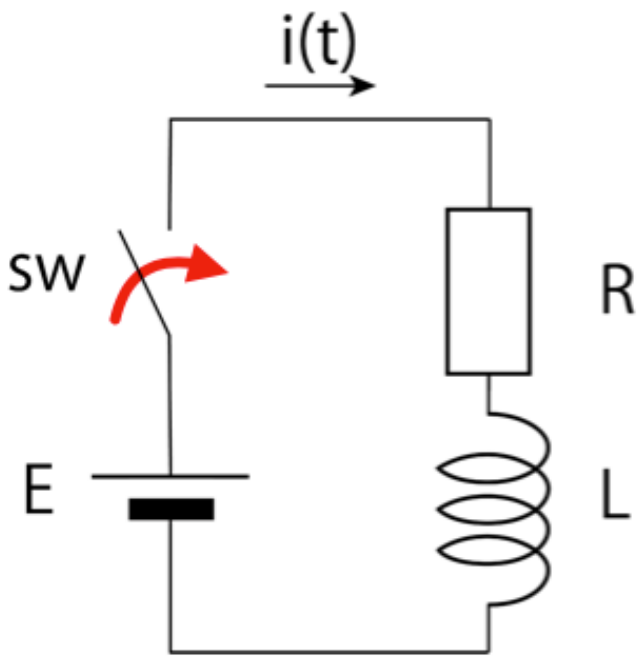


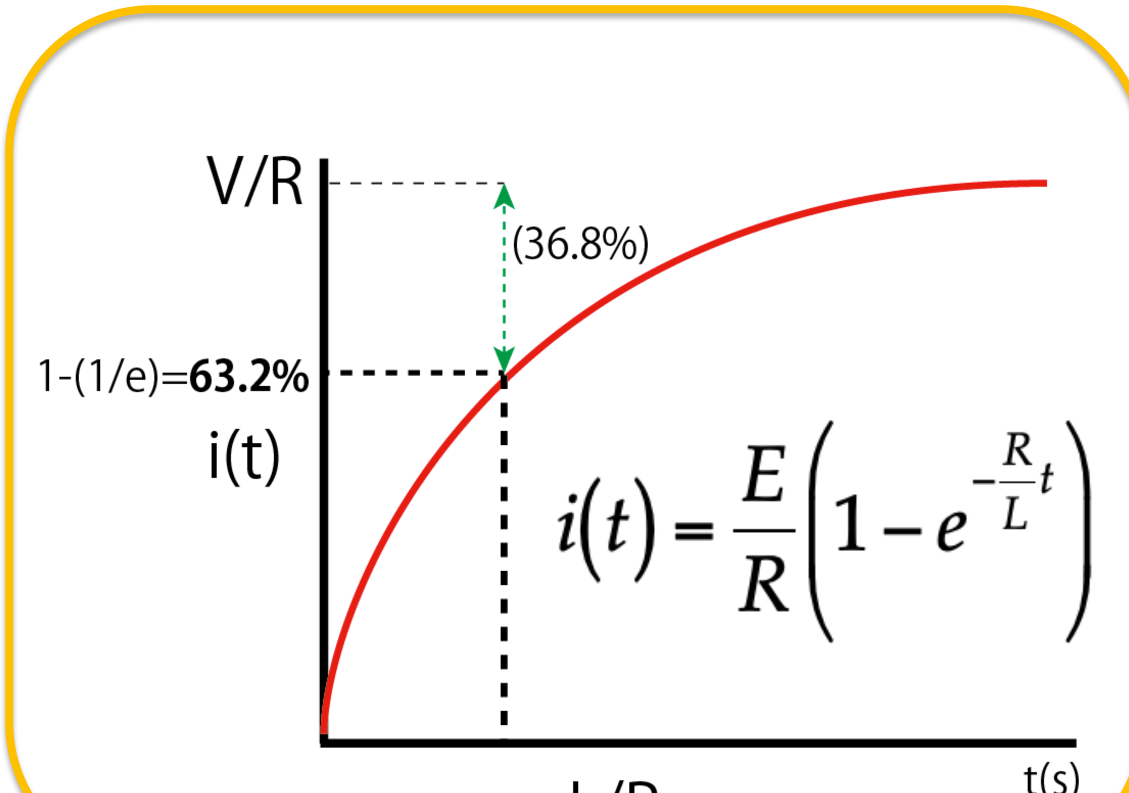
$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

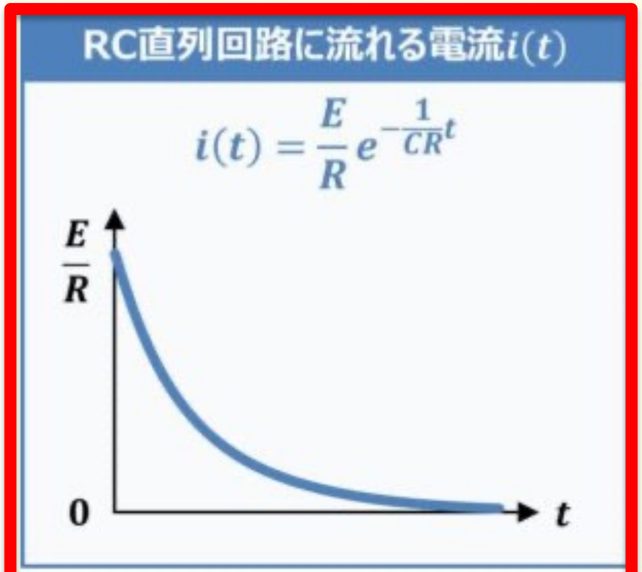


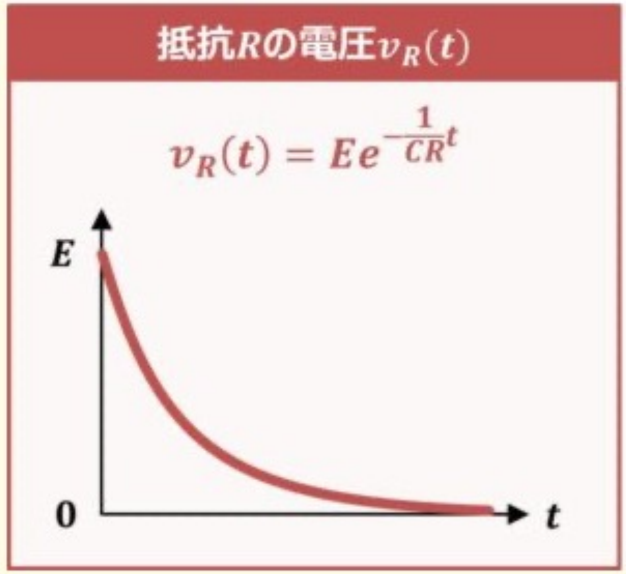
RL直列回路の過渡現象:まとめ

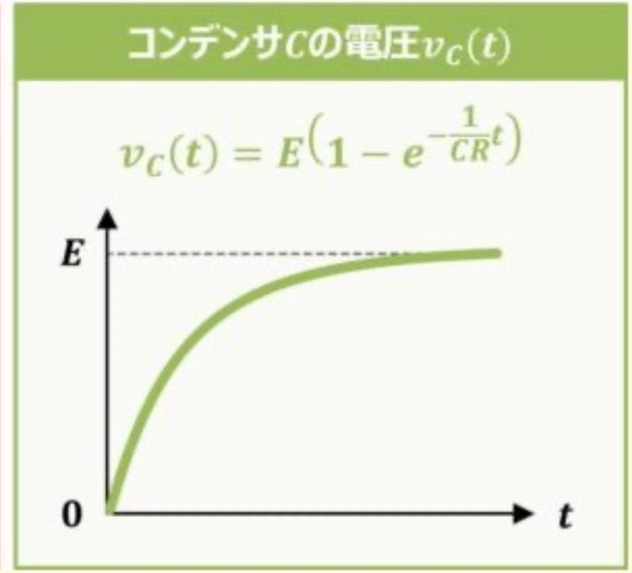
SWを入（ON）にした時間を0秒としたとき、t秒後に回路を流れる電流 i(t) は





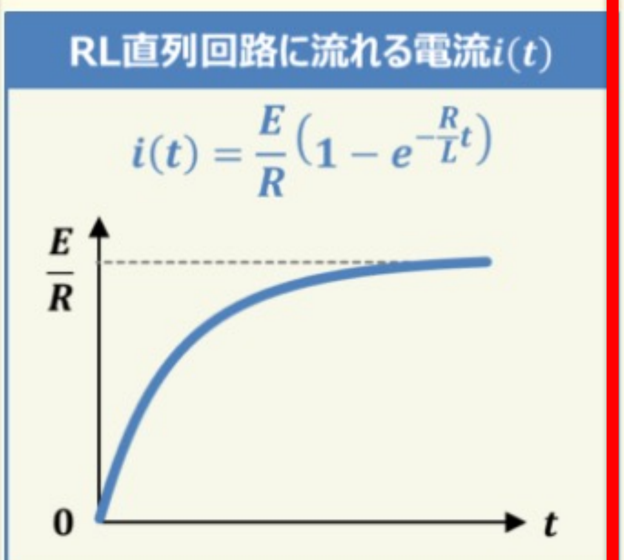


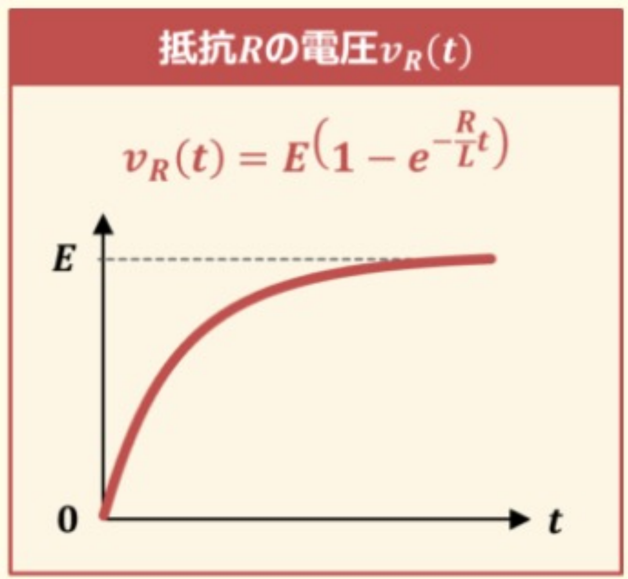


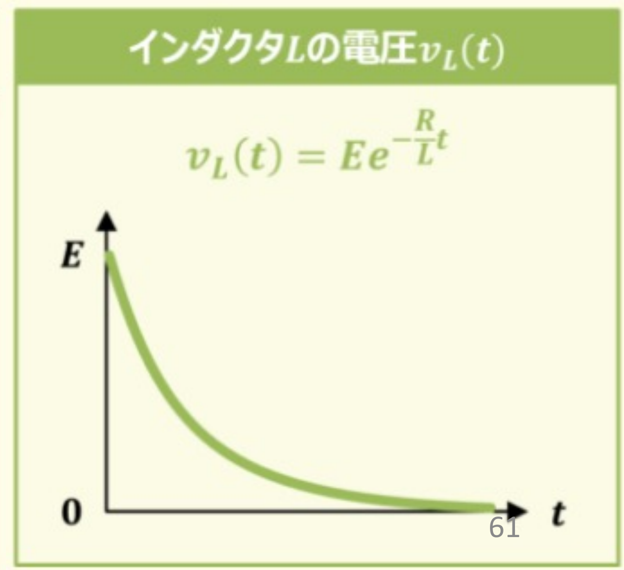


RC直列回路

RL直列回路







平成29年4月A5

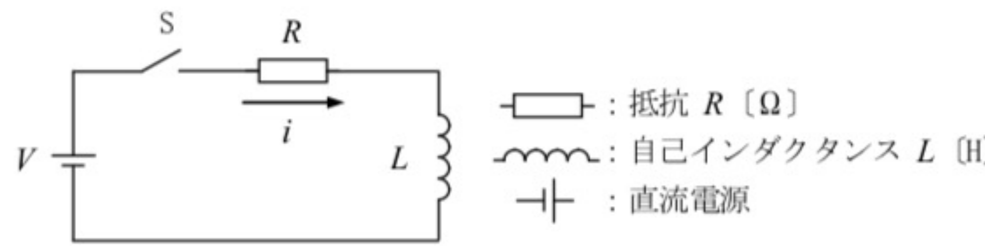
A - 5　図に示す回路において、スイッチ S を接(ON)にして直流電源 V〔V〕を加えたとき、t〔s〕後の回路に流れる電流 i〔A〕を表す式として、正しいものを下の番号から選べ。ただし、e は自然対数の底とする。

1　$i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-\frac{L}{R}t}\right)$

2　$i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$

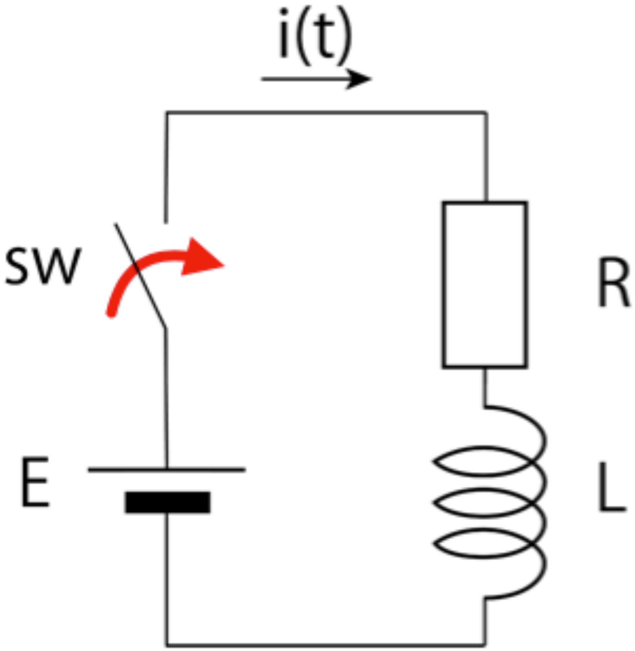
3　$i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-\frac{1}{LR}t}\right)$

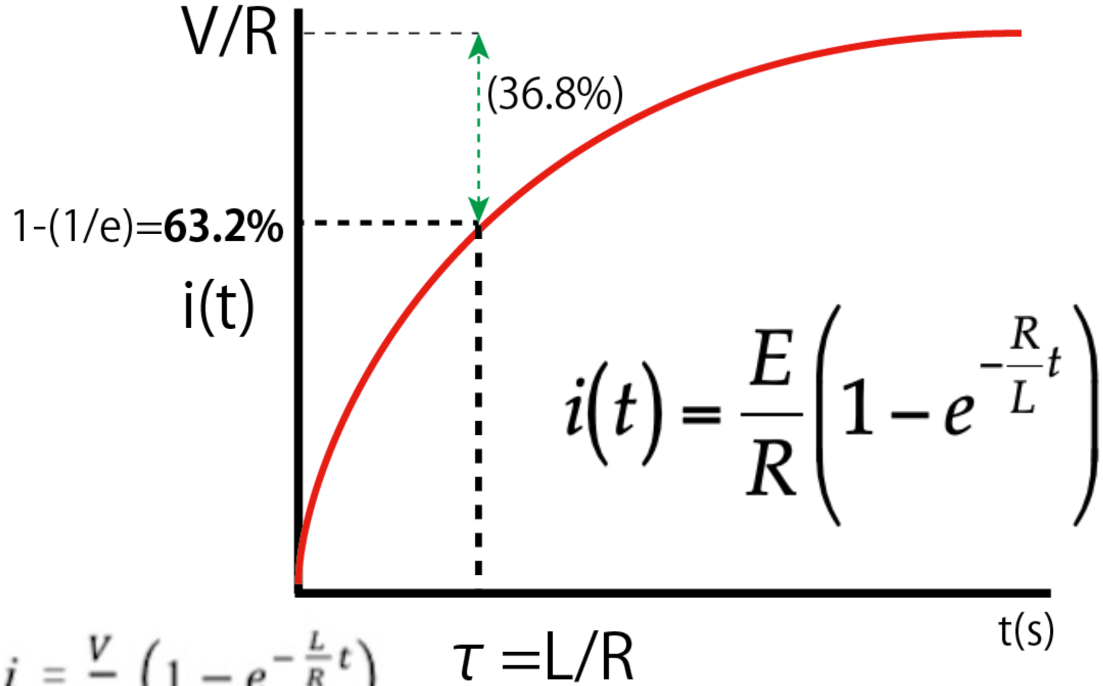
4　$i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-LRt}\right)$



HZ904A5解答

t[s]後の回路に流れる電流i[A]





1 $i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-\frac{L}{R}t}\right)$

$\boxed{2 \quad i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)}$

3 $i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-\frac{1}{LR}t}\right)$

4 $i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-LRt}\right)$

令和元年12月A5

A－5　図に示す回路において、コンデンサ C〔F〕と抵抗 R〔Ω〕の回路に直流電圧 V〔V〕を与えて C を充電するとき、スイッチ S を接(ON)にしてから t〔s〕後の C の端子電圧 v〔V〕を表す式として、正しいものを下の番号から選べ。ただし、S を接(ON)にする前の C には電荷が蓄えられていなかったものとする。また、e は自然対数の底とする。

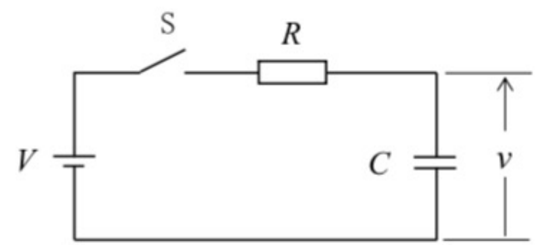
1　$v = V\left(1 - e^{CRt}\right)$

2　$v = V\left(1 - e^{-CRt}\right)$

3　$v = V\left(1 - e^{-\frac{1}{CR}t}\right)$

4　$v = V\left(1 + e^{-\frac{1}{CR}t}\right)$

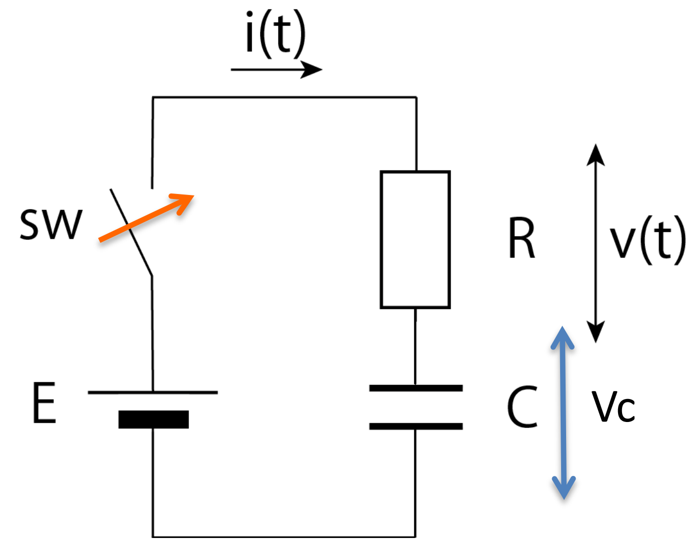
5　$v = V\left(1 + e^{-CRt}\right)$

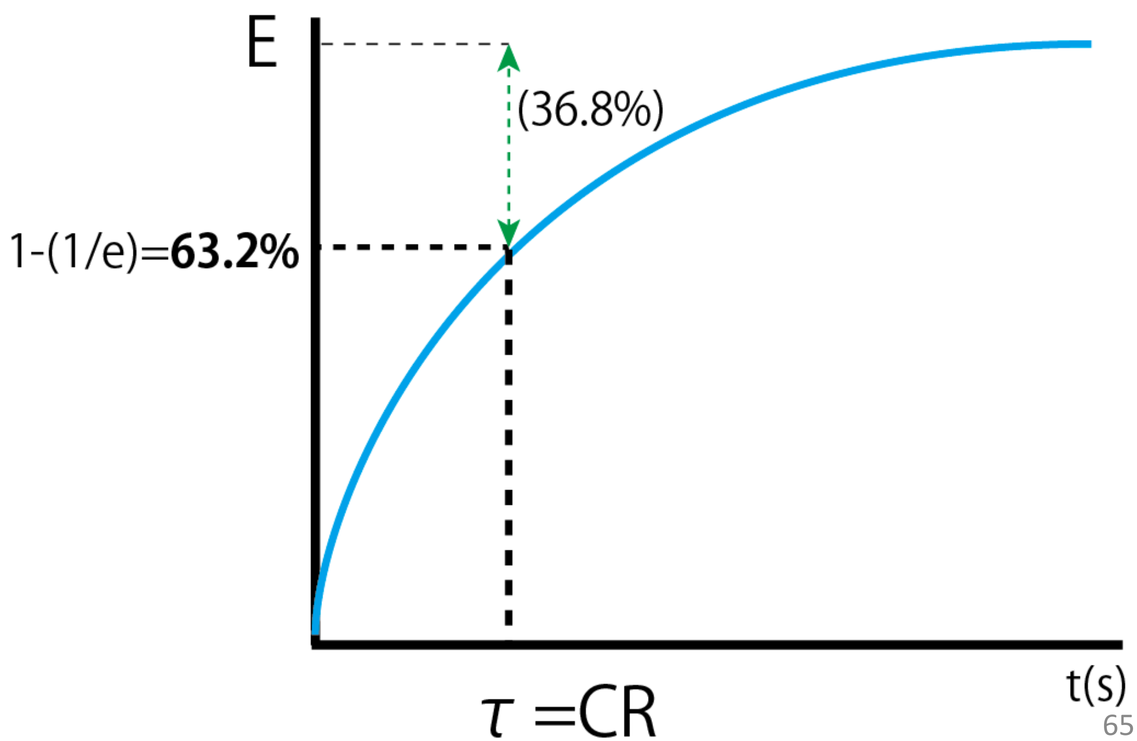


t[s]後のCの端子電圧v[V]

C両端の電圧

$$V_C = E - v(t)$$
$$= E - R \cdot i(t)$$
$$= E - R \cdot \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{CR}}$$
$$= \boxed{E\left(1 - e^{-\frac{t}{CR}}\right)}$$





平成29年12月A4

A - 4　次の記述は、図１に示す抵抗 R〔Ω〕と静電容量 C〔F〕の直列回路の過渡現象について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、初期状態で C の電荷は零とし、ε は自然対数の底とする。

(1)　スイッチＳを接(ON)にして直流電圧 V〔V〕を加えてからの電流 i〔A〕は、経過時間を t〔s〕とすれば次式で表される。

$$i = \frac{V}{R}\varepsilon^{-\frac{t}{CR}}\ \text{〔A〕}$$

したがって、Ｓを接(ON)にした瞬間（ $t = 0$〔s〕）の電流 i は、$\boxed{\text{A}}$〔A〕である。

(2)　$t = 0$〔s〕からの静電容量 C の電圧 v_C〔V〕の変化は、図２の $\boxed{\text{B}}$ である。

(3)　t が十分経過したとき(定常状態)の C に蓄えられる電荷量は、$\boxed{\text{C}}$〔C〕である。

	A	B	C
1	V/R	①	CV
2	V/R	②	V
3	0	①	V
4	0	②	CV

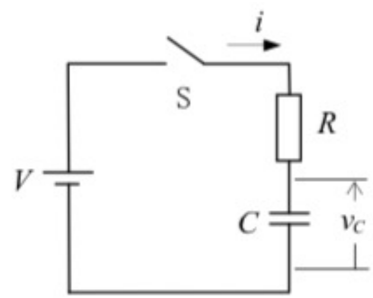


図１

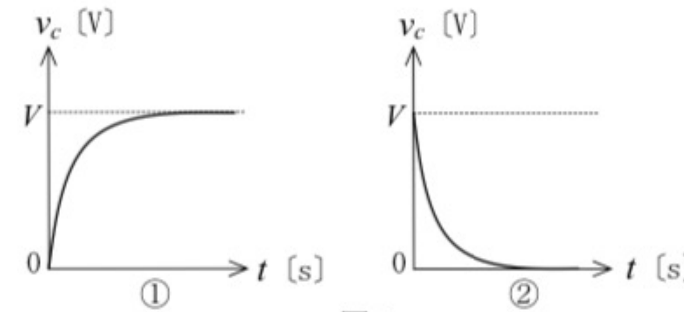
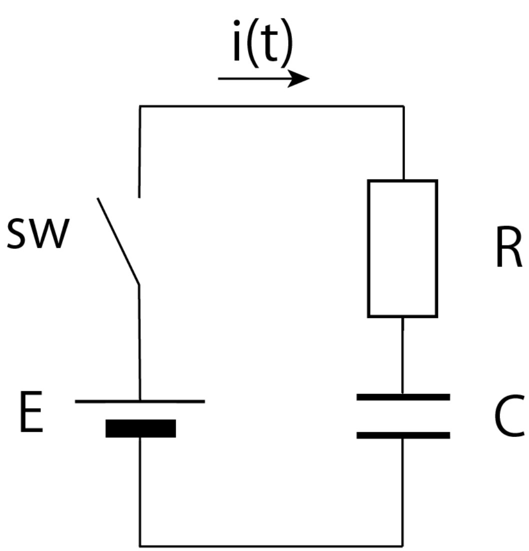


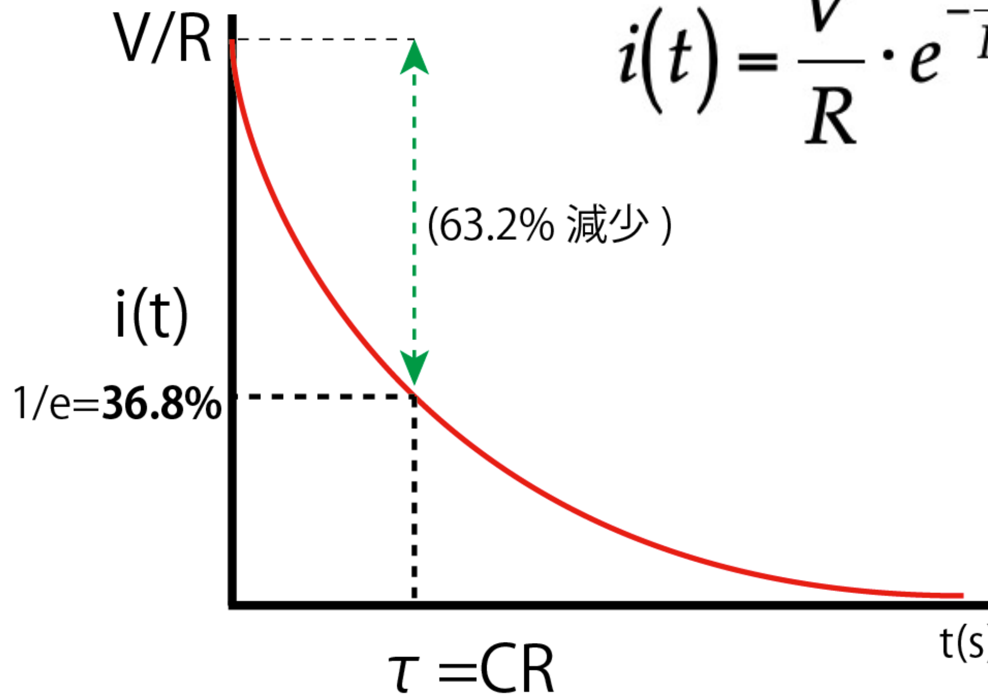
図２

HZ912A4解答

(1)Sを接(ON)にした瞬間(t=0[s])の電流i

$$i(t) = \frac{V}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

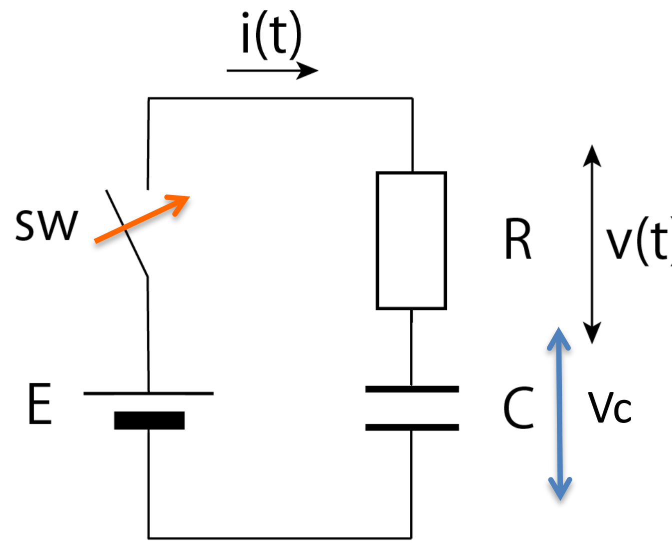




t=0を代入 $e^{-\frac{0}{RC}} = e^0 = 1$

$$\boxed{i(0) = \frac{V}{R} \cdot e^0 = \frac{V}{R}}$$

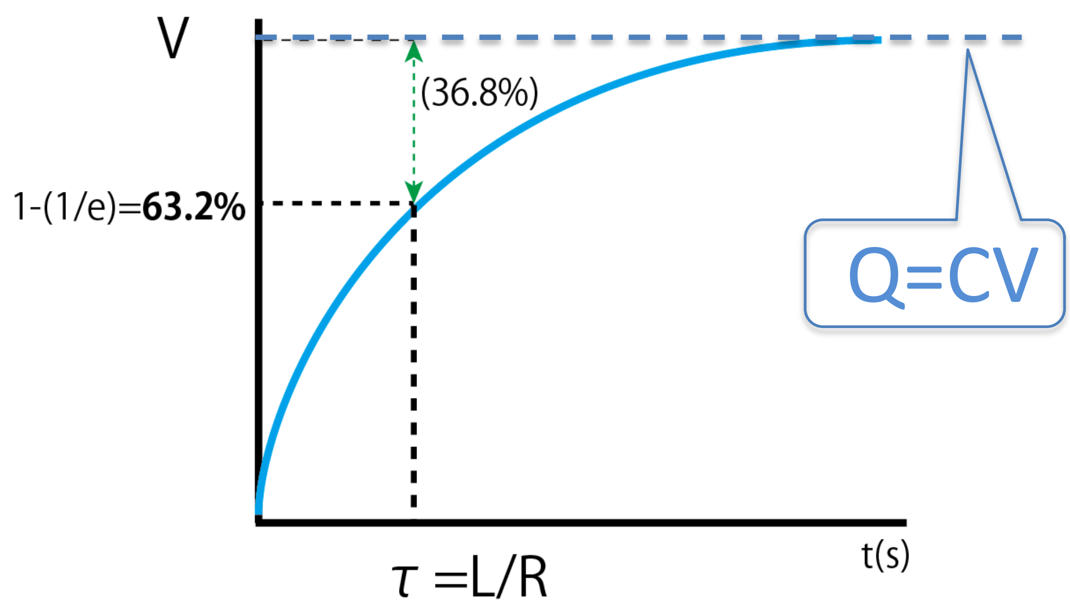
C両端の電圧



$$V_C = E - v(t)$$
$$= E - R \cdot i(t)$$
$$= E - R \cdot \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{CR}}$$
$$= E\left(1 - e^{-\frac{t}{CR}}\right)$$

（2）静電容量Cの電圧Vcのグラフ

（3）tが十分経過したときのCに蓄えられる電荷量Q



同じ問題（平成31年4月A4）

A－4　次の記述は、図1に示す抵抗 R〔Ω〕と静電容量 C〔F〕の直列回路の過渡現象について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、初期状態で C の電荷は零とし、ε は自然対数の底とする。

(1)　スイッチSを接(ON)にして直流電圧 V〔V〕を加えてからの電流 i〔A〕は、経過時間を t〔s〕とすれば次式で表される。

$$i = \frac{V}{R}\varepsilon^{-\frac{t}{CR}} \text{〔A〕}$$

したがって、Sを接(ON)にした瞬間($t=0$〔s〕)の電流 i は、$\boxed{\text{A}}$〔A〕である。

(2)　$t=0$〔s〕からの静電容量 C の電圧 v_C〔V〕の変化は、図2の $\boxed{\text{B}}$ である。

(3)　t が十分経過したとき(定常状態)の C に蓄えられる電荷量は、$\boxed{\text{C}}$〔C〕である。

	A	B	C
1	0	①	V
2	0	②	CV
3	V/R	①	CV
4	V/R	②	V

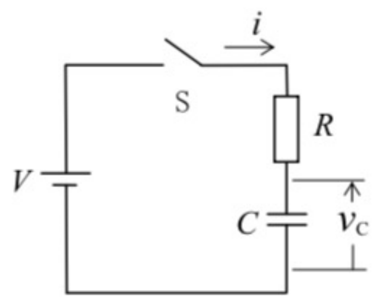


図1

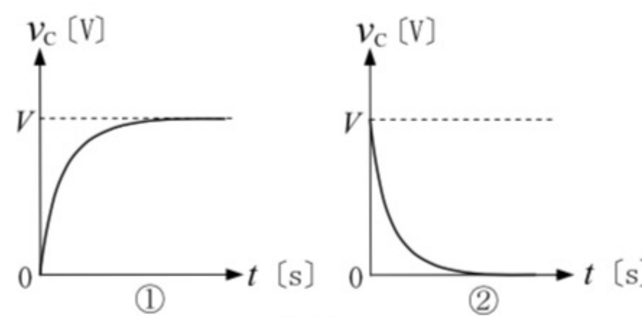


図2

令和3年9月A-4

A - 4 次の記述は、図1に示す抵抗 R〔Ω〕と静電容量 C〔F〕の直列回路の過渡現象について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、初期状態で C の電荷は零とし、ε は自然対数の底とする。

(1) スイッチSを接(ON)にして直流電圧 V〔V〕を加えると、C の両端の電圧 v_C〔V〕は経過時間を t〔s〕とすれば次式で表される。

$$v_C = V \times \boxed{\text{A}} \text{〔V〕}$$

(2) v_C が V の約 $\boxed{\text{B}}$〔%〕となるまでの時間を、この回路の時定数という。

(3) $t = 0$〔s〕からの電流 i〔A〕の変化は、図2の $\boxed{\text{C}}$ である。

	A	B	C
1	$(1-\varepsilon^{-\frac{t}{CR}})$	68.2	①
2	$(1-\varepsilon^{-\frac{t}{CR}})$	63.2	②
3	$\varepsilon^{-\frac{t}{CR}}$	63.2	①
4	$\varepsilon^{-\frac{t}{CR}}$	68.2	②
5	$\varepsilon^{-\frac{t}{CR}}$	68.2	①

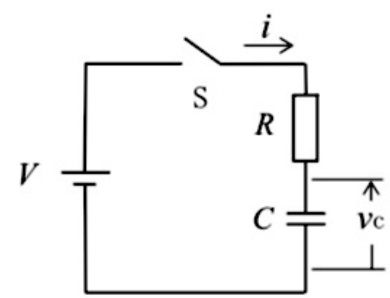


図1

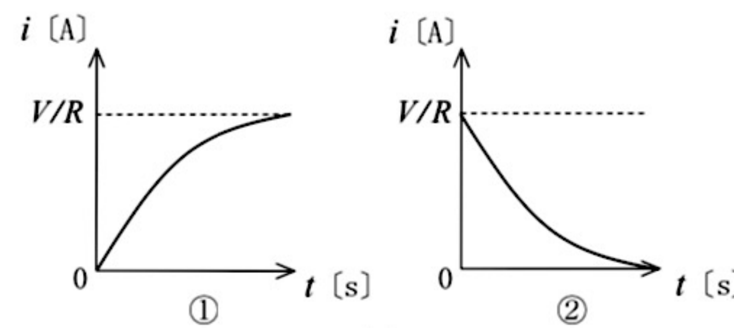


図2

（1）Cの両端の電圧Vcのグラフ
（2）時定数

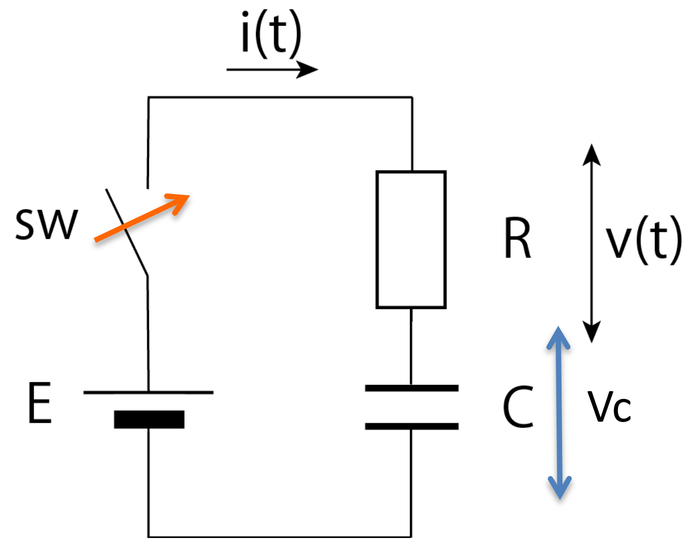
C両端の電圧

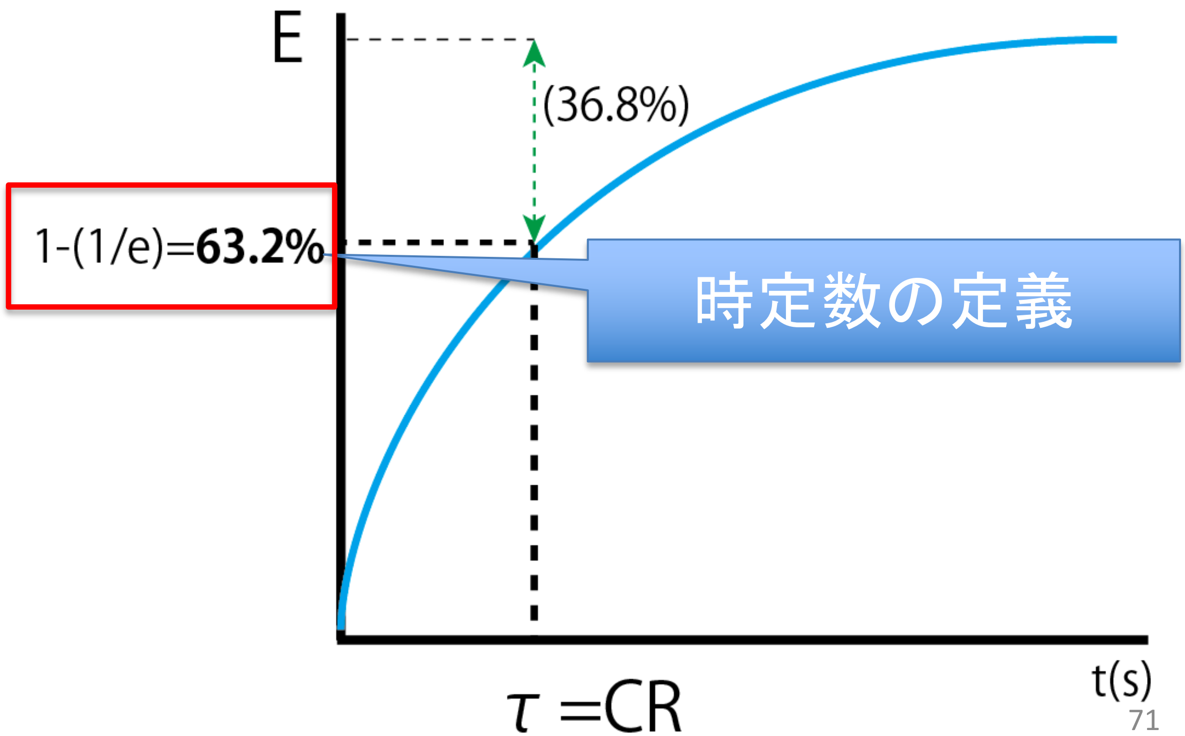
$$V_C = E - v(t)$$

$$= E - R \cdot i(t)$$

$$= E - R \cdot \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{CR}}$$

$$= \boxed{E\left(1 - e^{-\frac{t}{CR}}\right)}$$

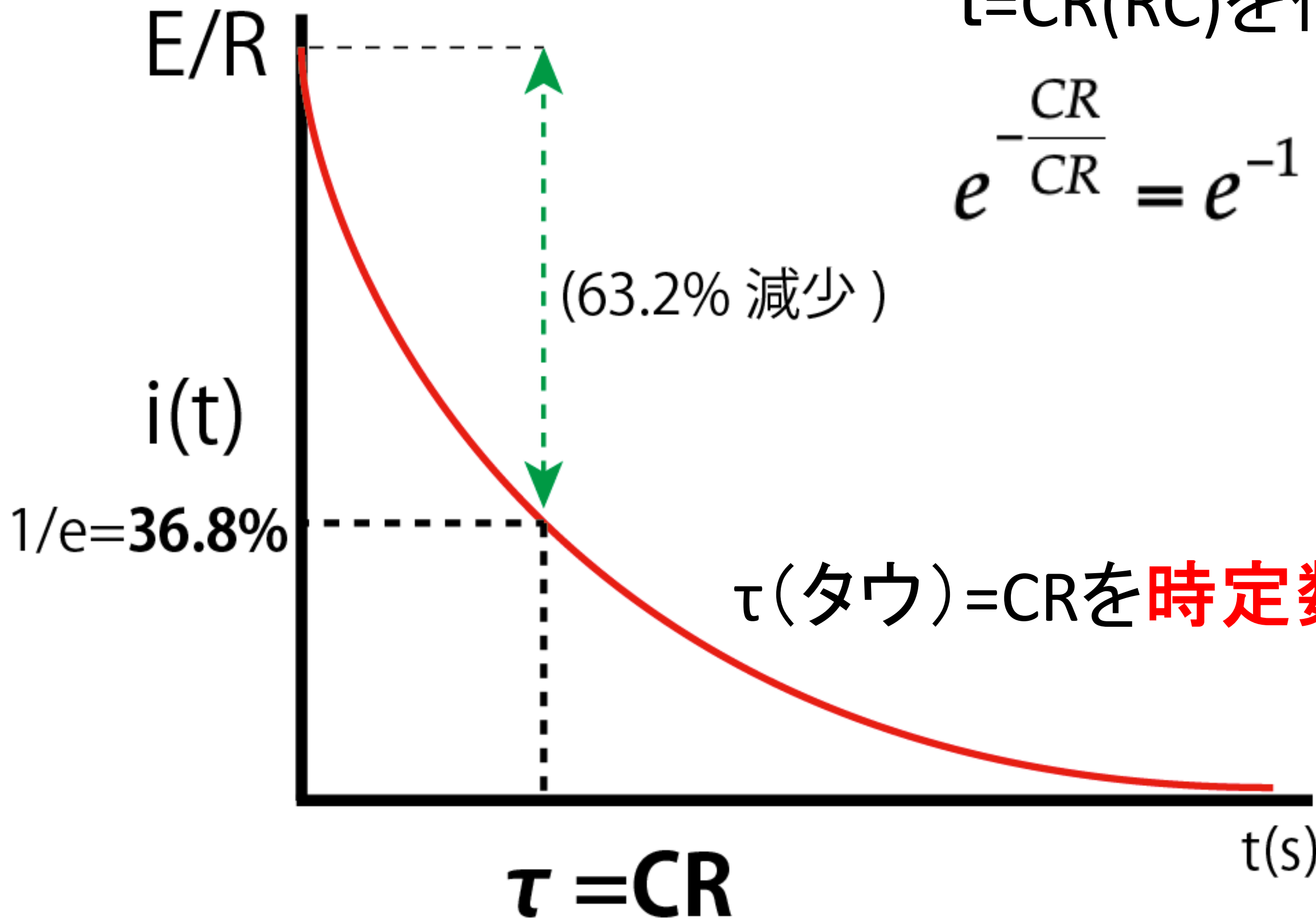




$$\boxed{i(t)=\frac{E}{R}\cdot e^{-\frac{t}{CR}}}$$

この式は覚える

（3）t=0[s]からの電流iの変化（グラフ）



t=CR(RC)を代入すると

$$e^{-\frac{CR}{CR}}=e^{-1}=\frac{1}{e}=0.368$$

τ（タウ）=CRを**時定数**という

同じ問題　令和4年12月A5

A－5　次の記述は、図1に示す抵抗 R〔Ω〕と静電容量 C〔F〕の直列回路の過渡現象について述べたものである。［　］内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、初期状態で C の電荷は零とし、ε は自然対数の底とする。

(1)　スイッチSを接(ON)にして直流電圧 V〔V〕を加えると、C の両端の電圧 v_C〔V〕は経過時間を t〔s〕とすれば次式で表される。

$$v_C = V \times \boxed{\text{A}} \text{〔V〕}$$

(2)　v_C が V の約 $\boxed{\text{B}}$〔%〕となるまでの時間を、この回路の時定数という。

(3)　$t=0$〔s〕からの電流 i〔A〕の変化は、$\boxed{\text{C}}$ である。

	A	B	C
1	$\varepsilon^{-\frac{t}{CR}}$	68.2	図3
2	$\varepsilon^{-\frac{t}{CR}}$	63.2	図2
3	$\varepsilon^{-\frac{t}{CR}}$	68.2	図2
4	$(1-\varepsilon^{-\frac{t}{CR}})$	63.2	図3
5	$(1-\varepsilon^{-\frac{t}{CR}})$	68.2	図2

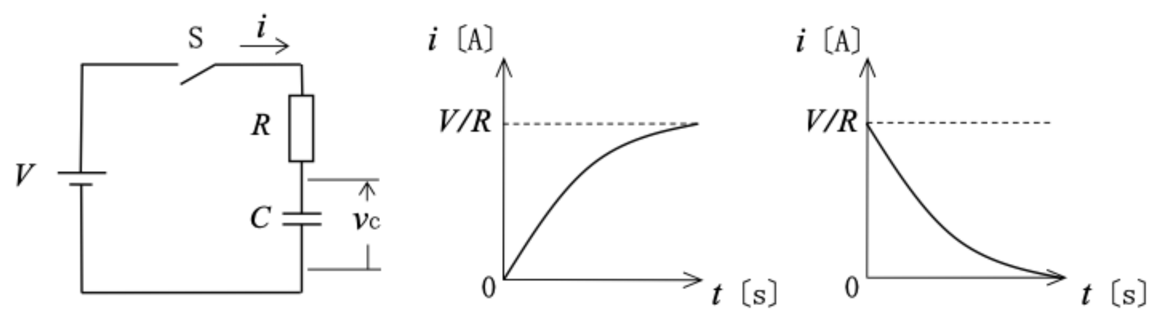
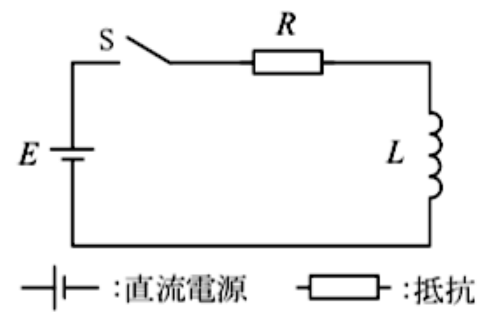


図1　図2　図3

平成30年12月A-4

A－4　図に示す回路において、スイッチ S を接(ON)にして直流電源 E から抵抗 R とコイル L に電流を流した。このときの時定数 τ を表す式として、正しいものを下の番号から選べ。ただし、抵抗の値を R〔Ω〕、コイルの自己インダクタンスを L〔H〕とする。



1　$1/(LR)$
2　$1/\sqrt{LR}$
3　LR
4　R/L
5　L/R

Rの位置はCとLで逆
（Lの分母になる）

時定数 $\tau = CR = \boxed{\dfrac{L}{R}}$

CR回路 $i(t) = \dfrac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{CR}} = \dfrac{E}{R} \cdot e^{\boxed{-\frac{1}{\tau}t}}$

LR回路 $i(t) = \dfrac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) = \dfrac{E}{R}\left(1 - e^{\boxed{-\frac{1}{\tau}t}}\right)$

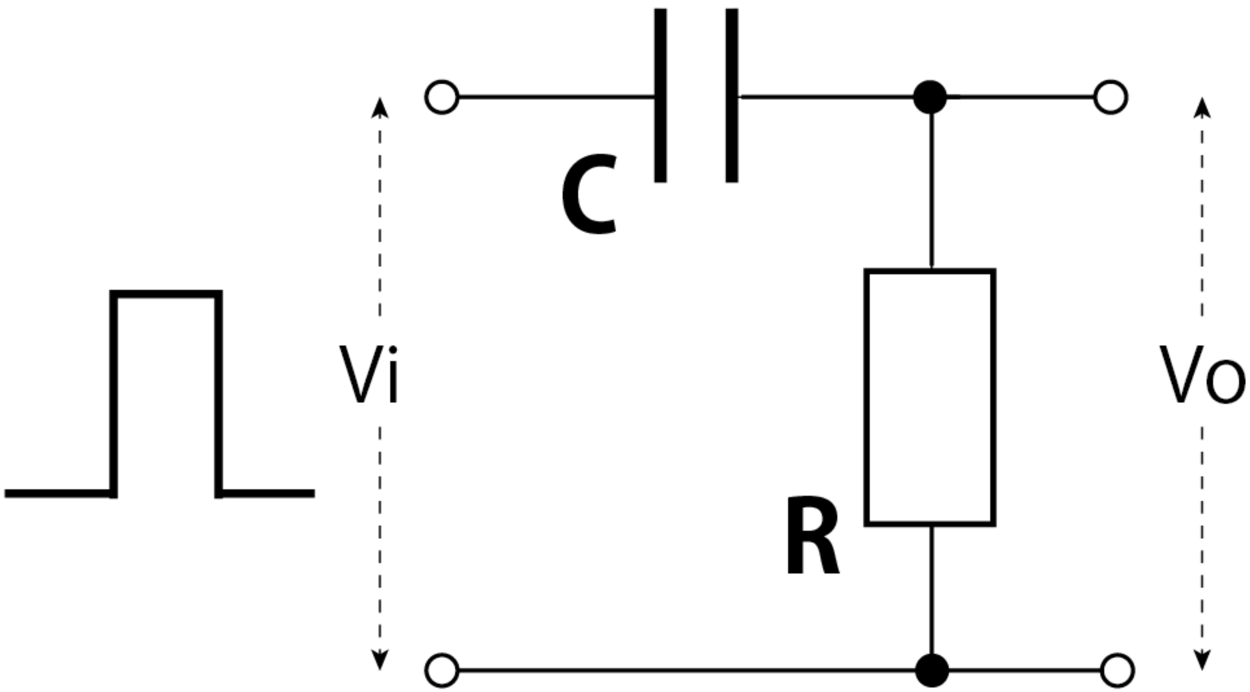
eの乗数には時定数τの逆数（1/τ）が含まれる

微分・積分回路

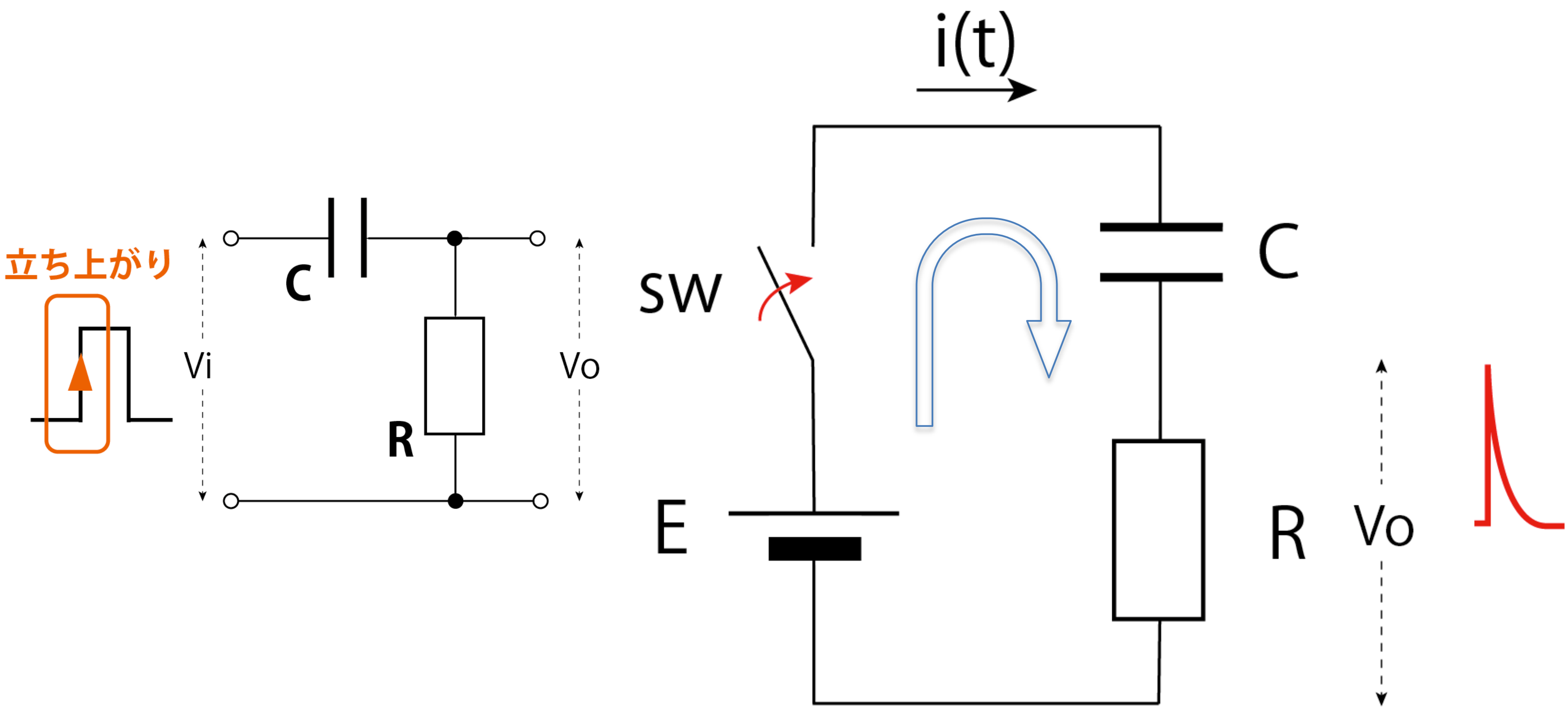
微分・積分回路　最近の出題

- 平成29年 8月期　A-8　RL微分回路
- 平成30年 4月期　A-9　RC積分回路
- 令和 1年 8月期　A-8　CR微分回路
- 令和 3年12月期　A-9　RL微分回路
- 令和 5年 8月期　A-9　LR積分回路

微分回路（CR）

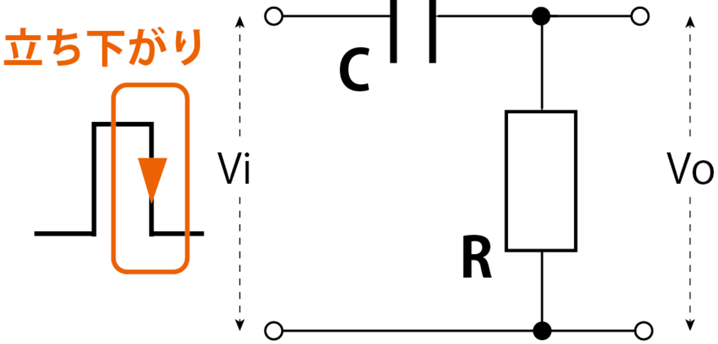


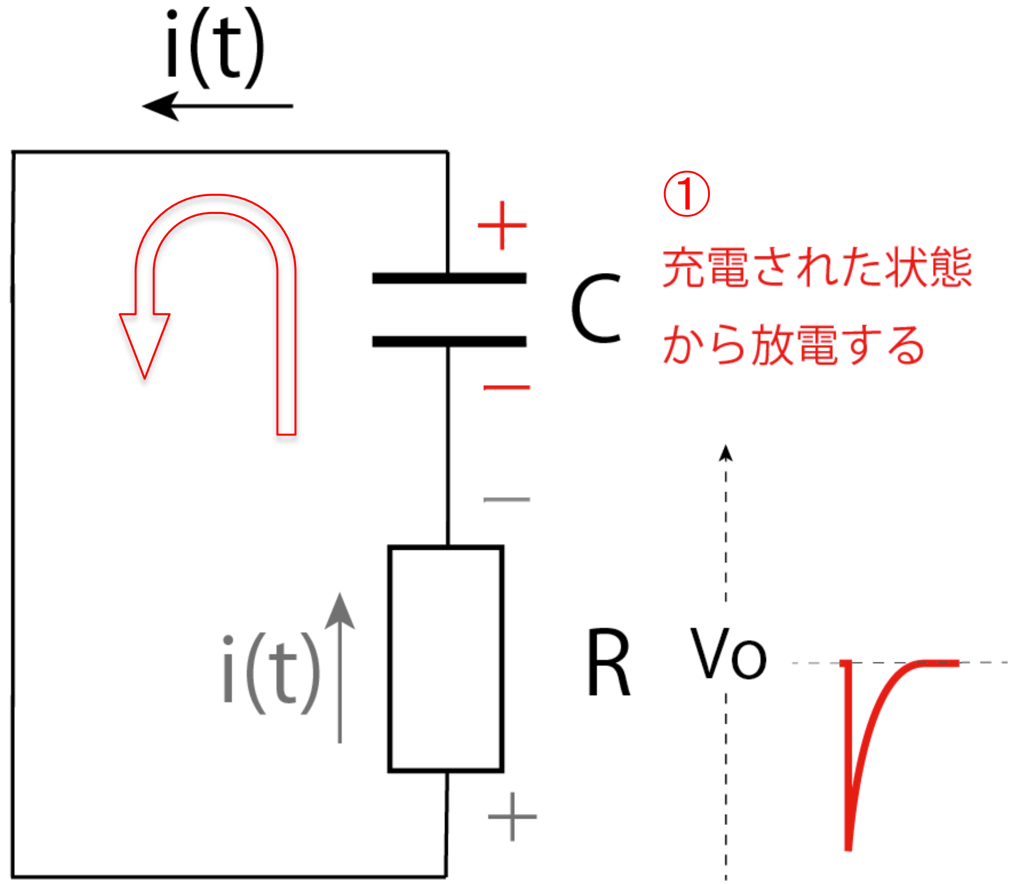
CR微分回路：パルス立ち上がり部の動作



CR微分回路:パルス立ち下がり部の動作

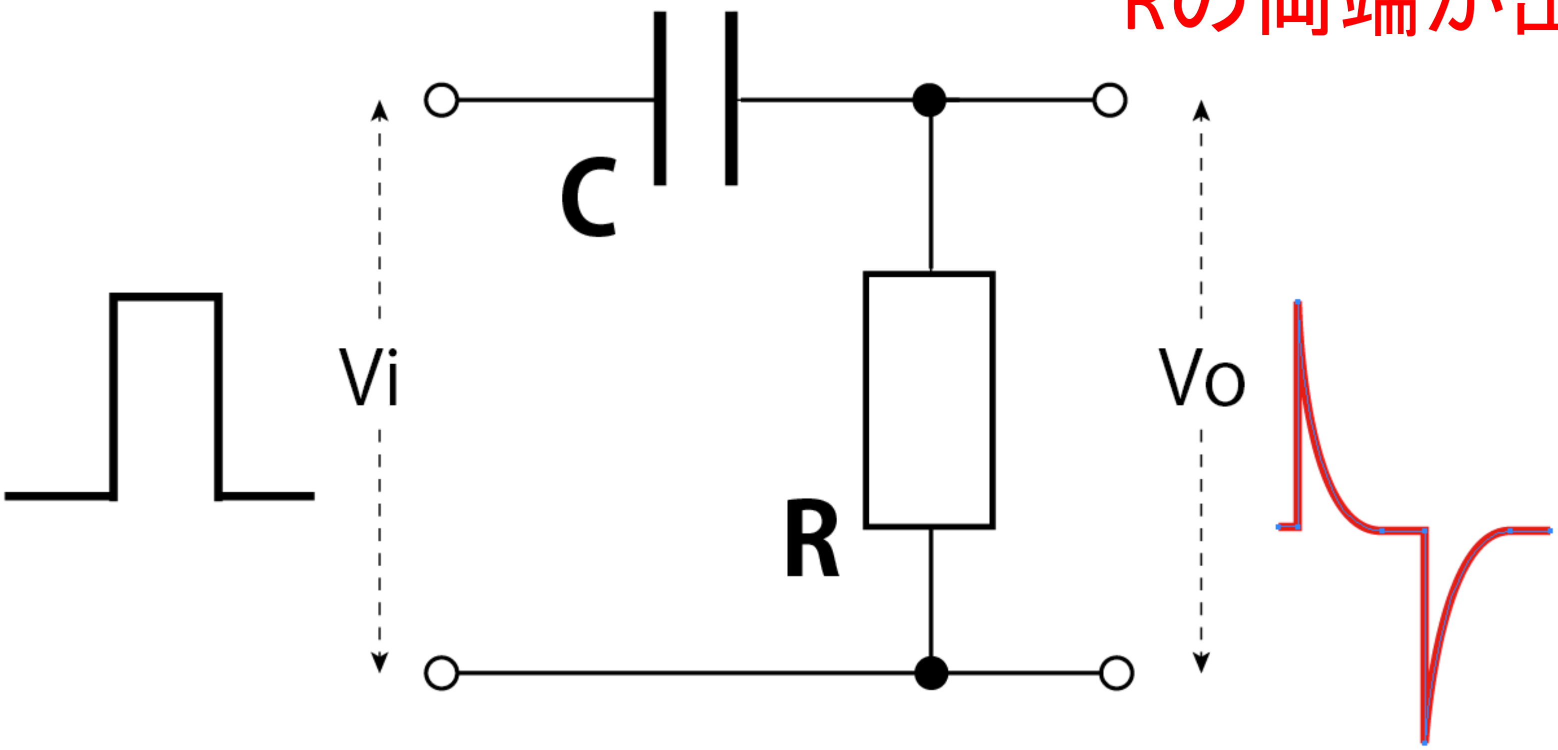
②今までとは逆向きの電流が流れる

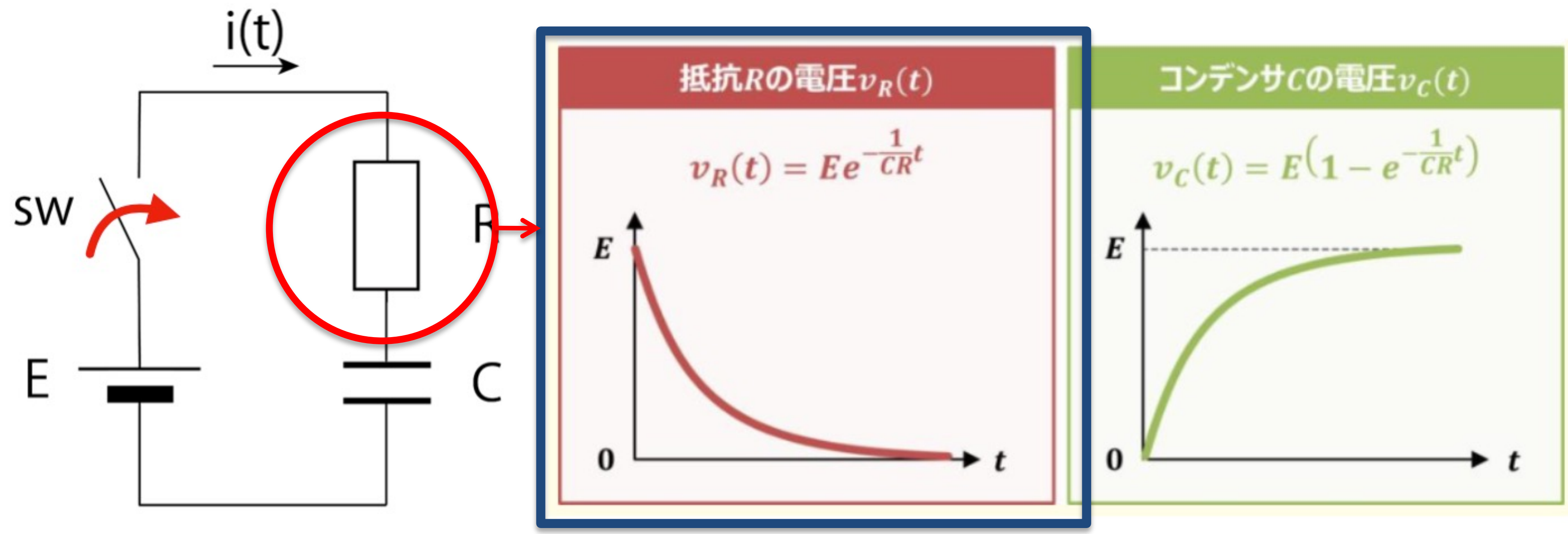


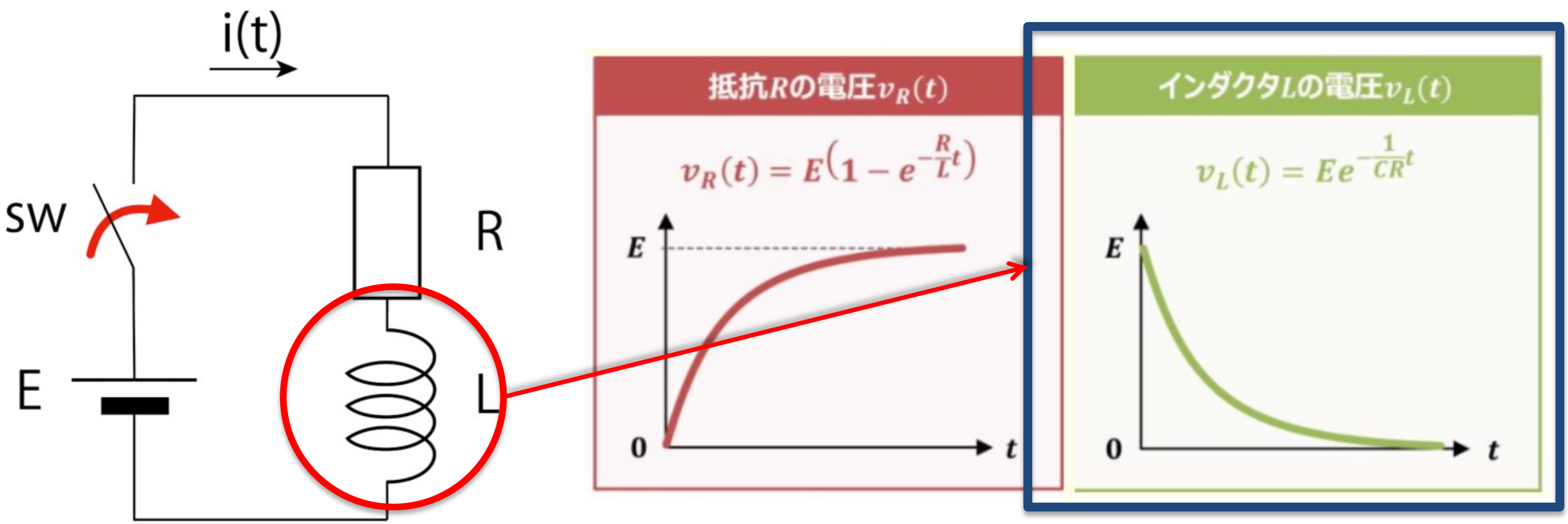


微分回路(CR):出力

Rの両端が出力

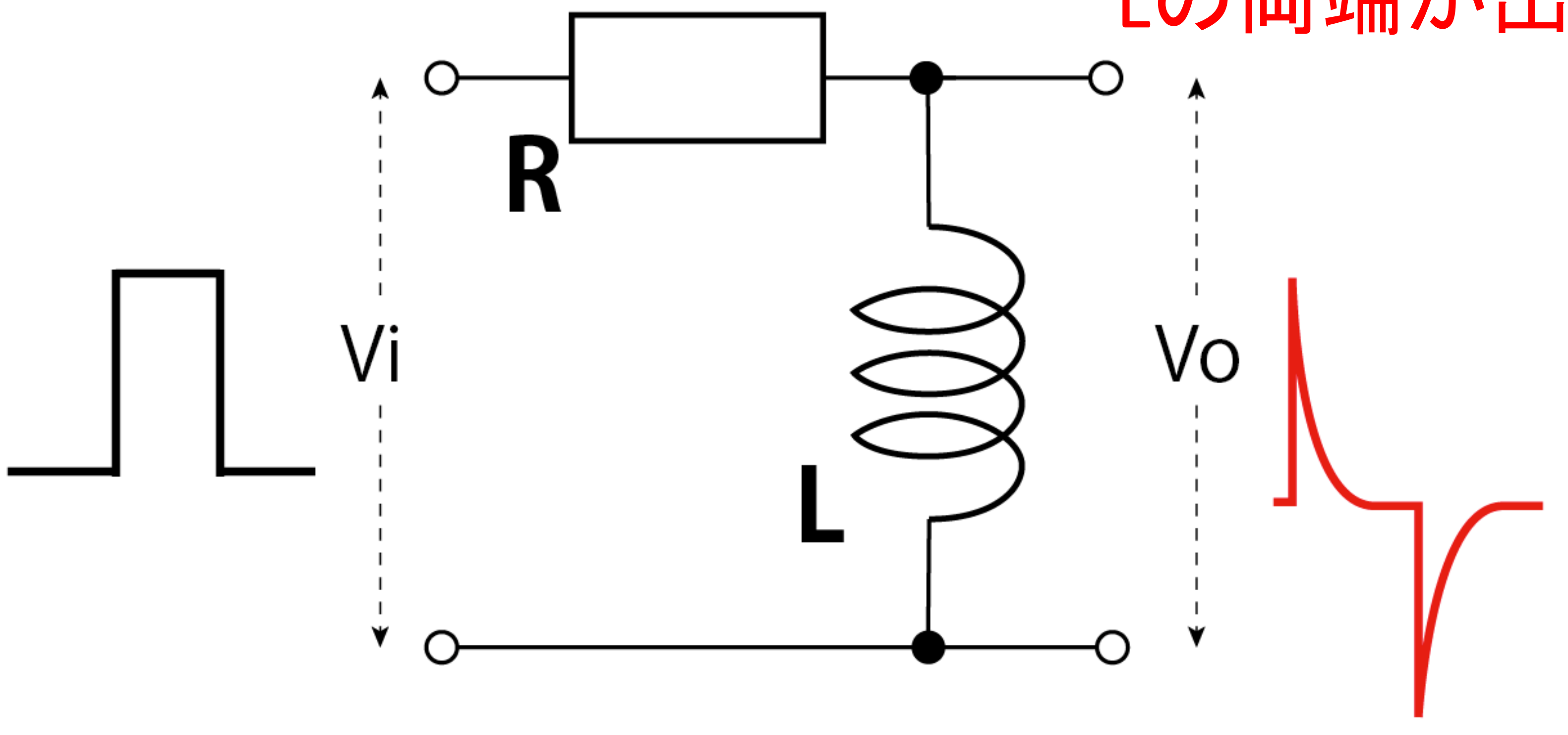



i(t)
SW
E
R
C
抵抗Rの電圧$v_R(t)$
$v_R(t) = Ee^{-\frac{1}{CR}t}$
E
0
t
コンデンサCの電圧$v_C(t)$
$v_C(t) = E\left(1 - e^{-\frac{1}{CR}t}\right)$
E
0
t

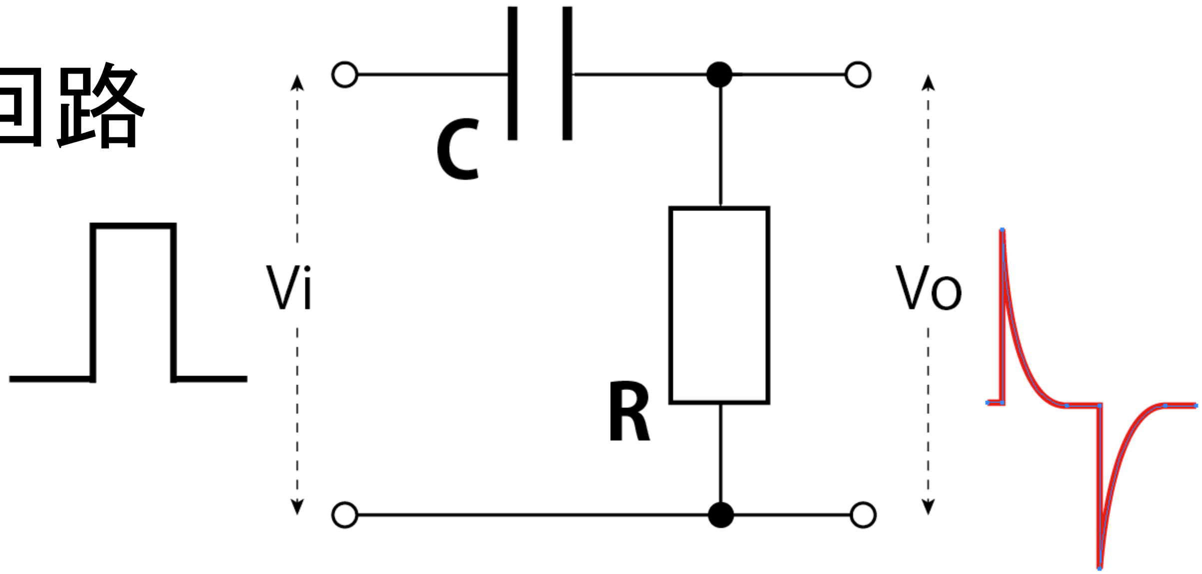

i(t)
SW
E
R
L
抵抗Rの電圧$v_R(t)$
$v_R(t) = E\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$
E
0
t
インダクタLの電圧$v_L(t)$
$v_L(t) = Ee^{-\frac{1}{CR}t}$
E
0
t

微分回路(RL)

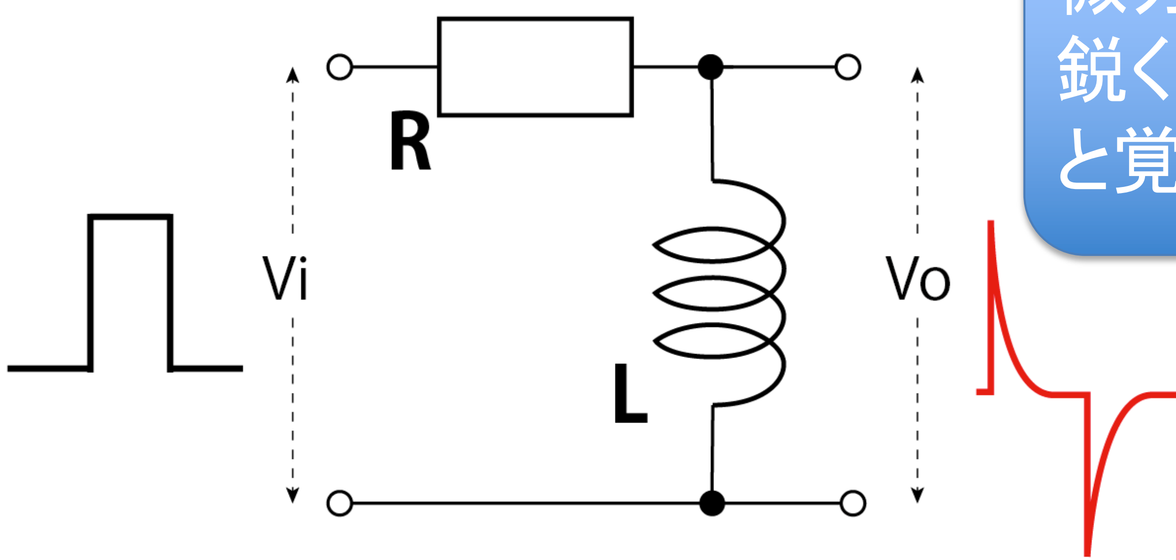
Lの両端が出力



微分回路



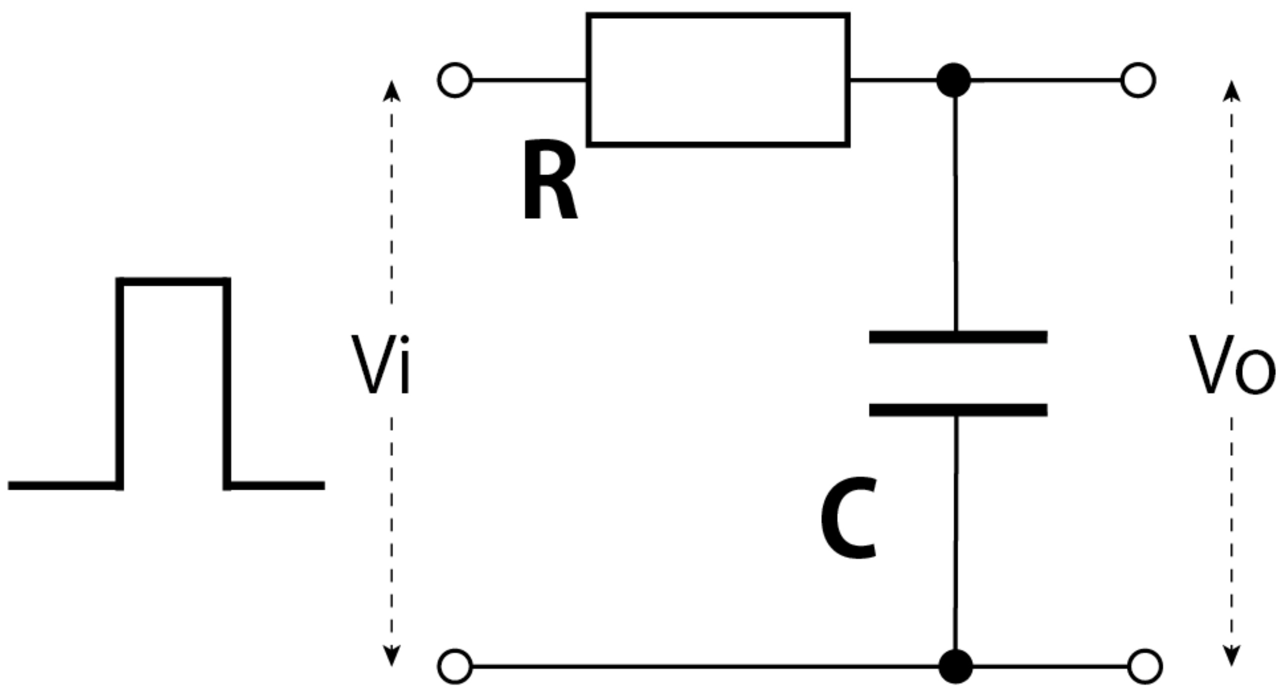
同じ動作をする（微分回路）



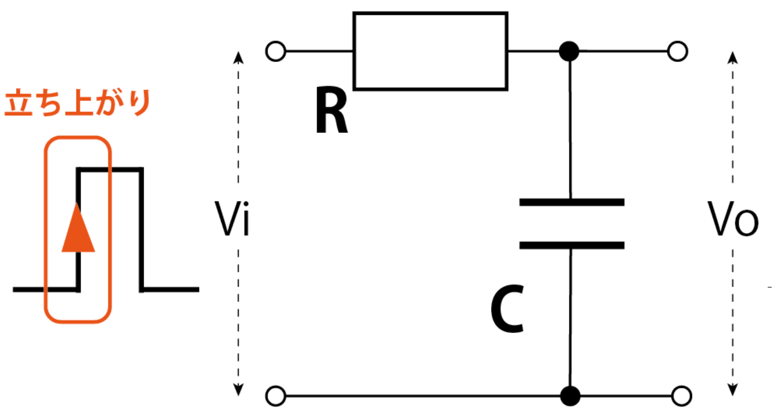
微分の波形は鋭く尖っていると覚える

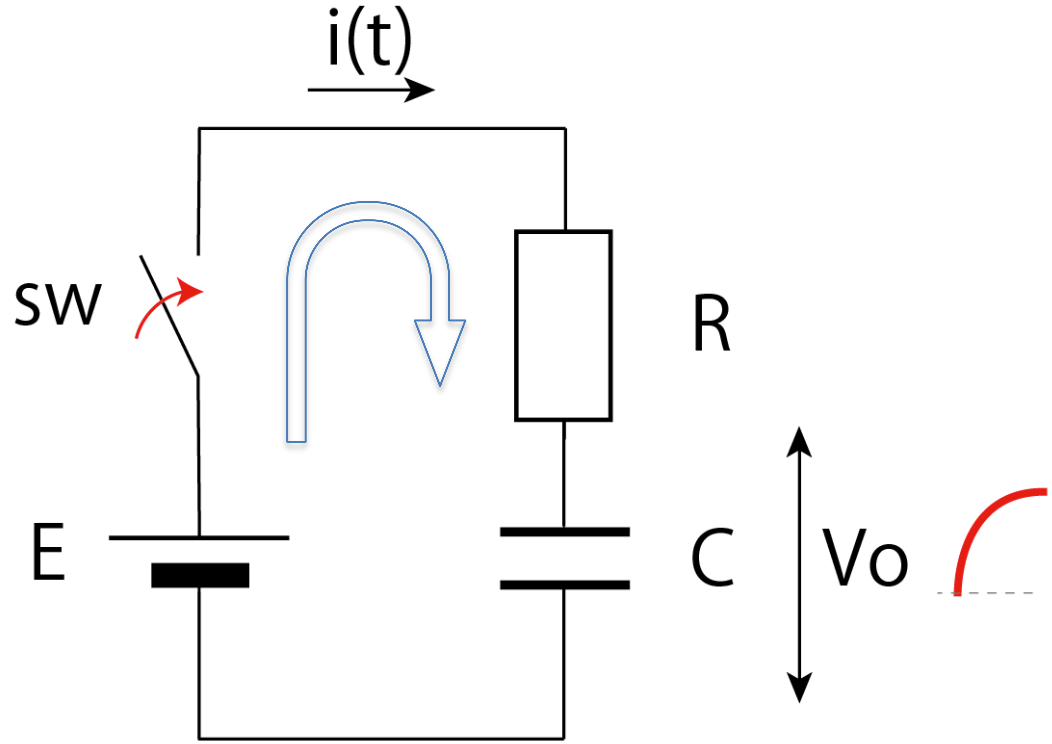
C（またはL）とRの位置を入れ替え、CをL（LをC）に取り替える

積分回路（RC）

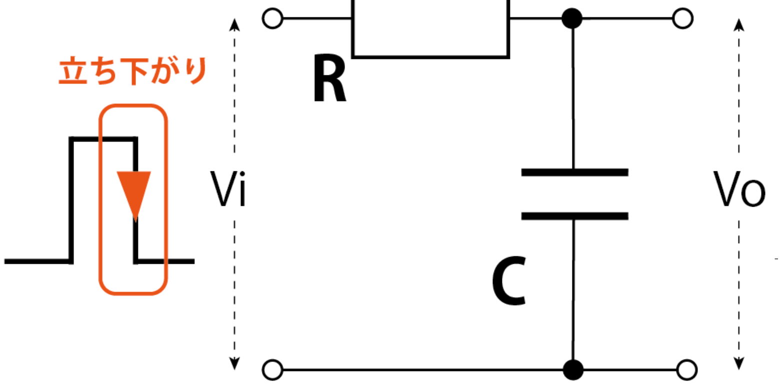


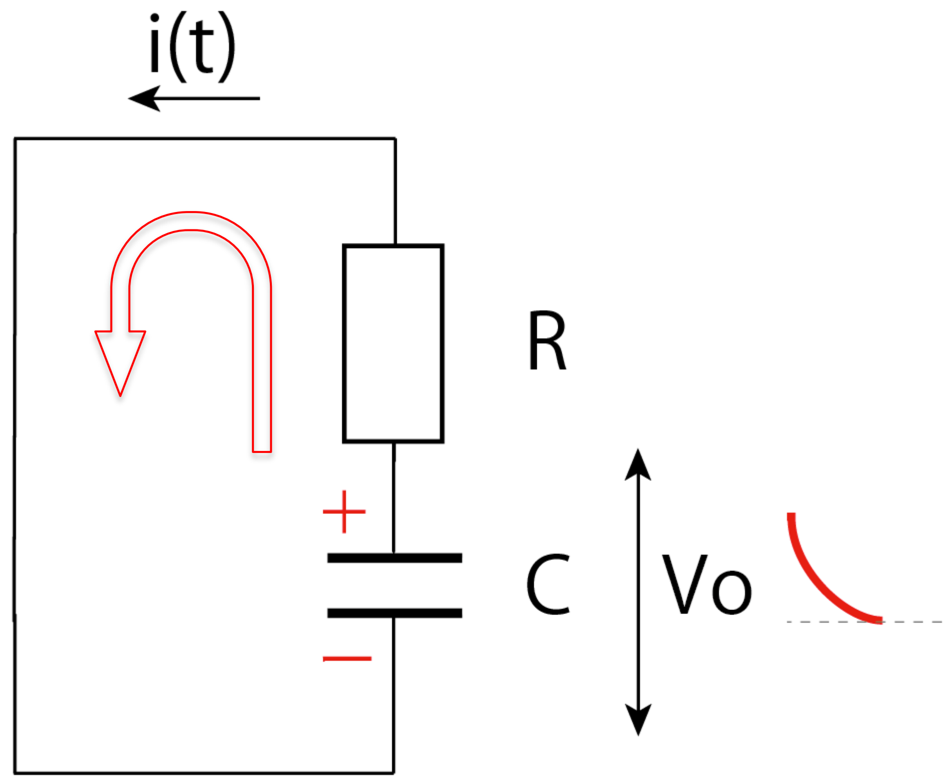
RC積分回路：パルス立ち上がり部の動作





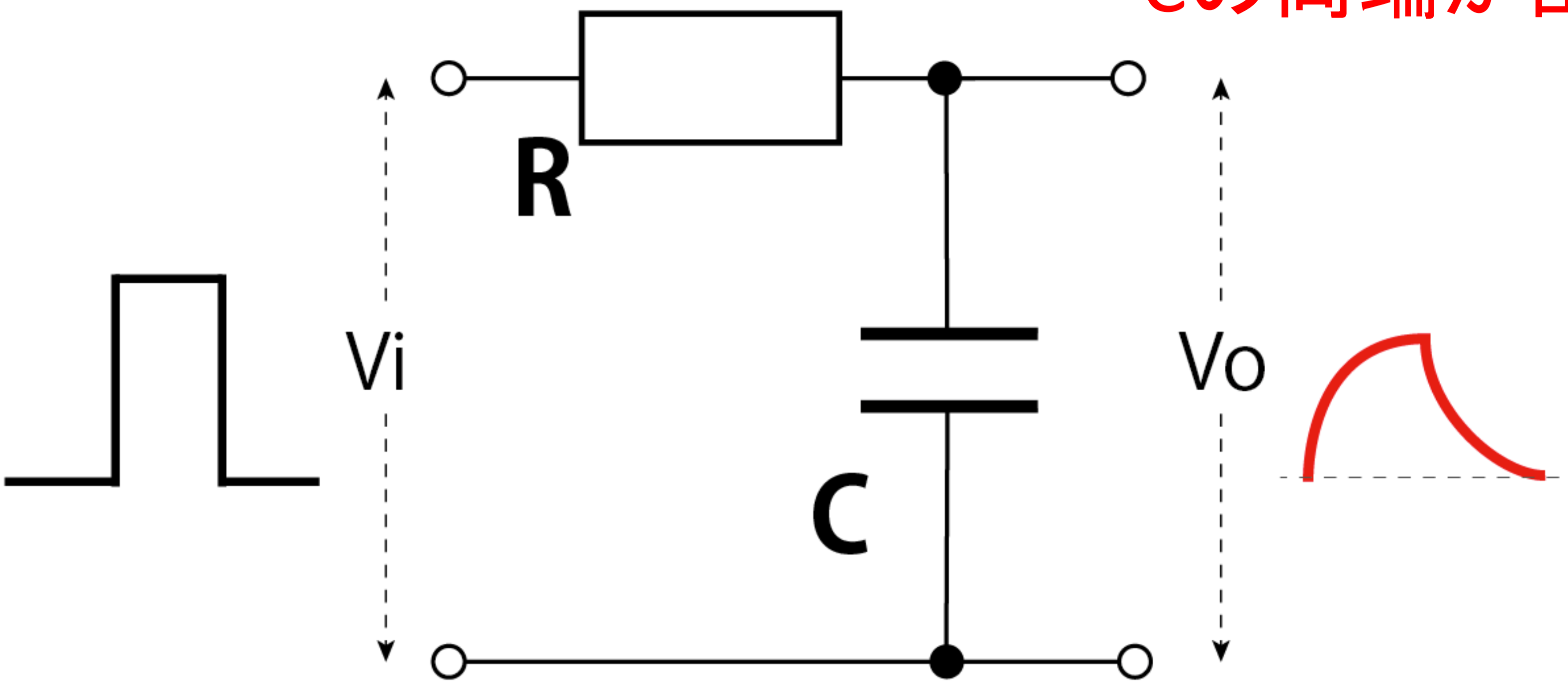
RC積分回路：パルス立ち下がり部の動作

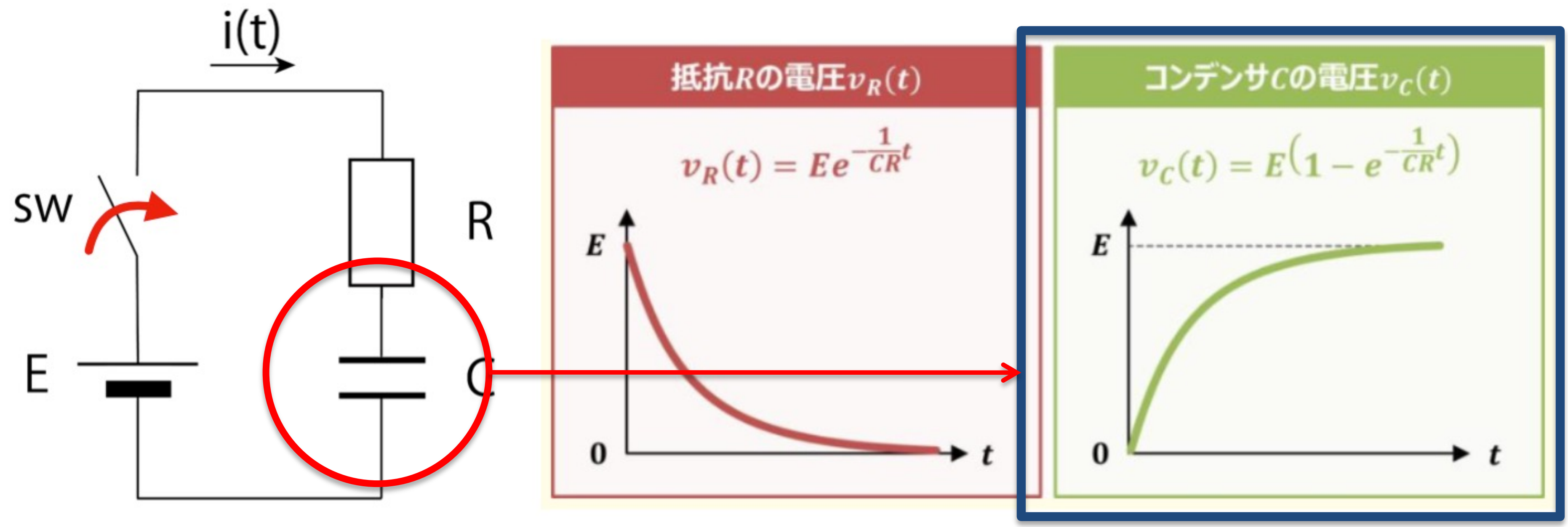


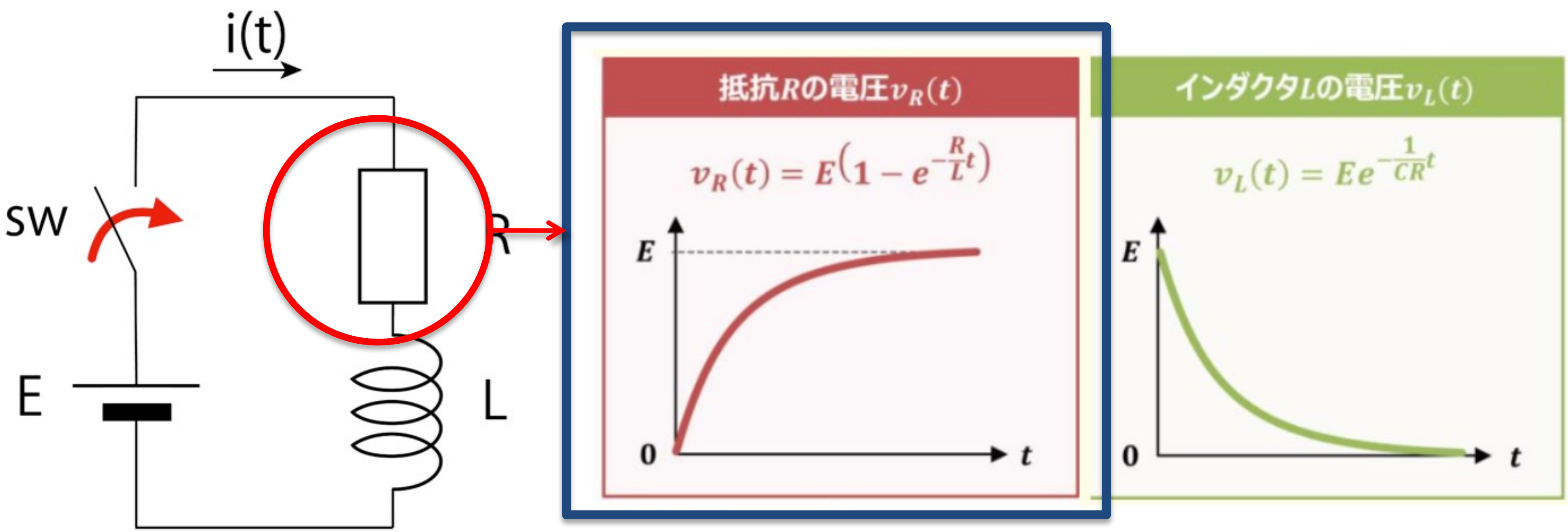


積分回路(RC):出力

Cの両端が出力

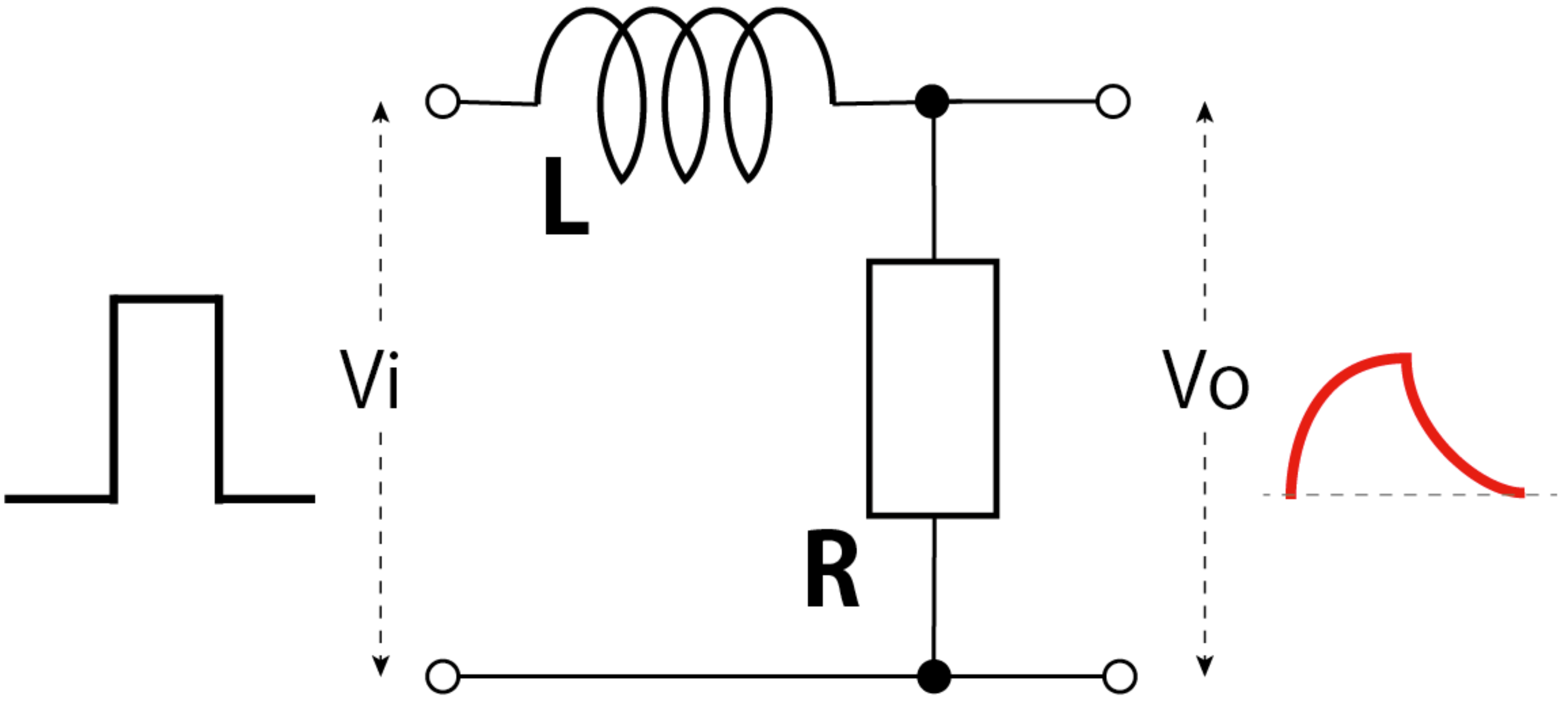



i(t)
SW
R
E
C
抵抗Rの電圧$v_R(t)$
$v_R(t) = Ee^{-\frac{1}{CR}t}$
E
0
t
コンデンサCの電圧$v_C(t)$
$v_C(t) = E\left(1 - e^{-\frac{1}{CR}t}\right)$
E
0
t

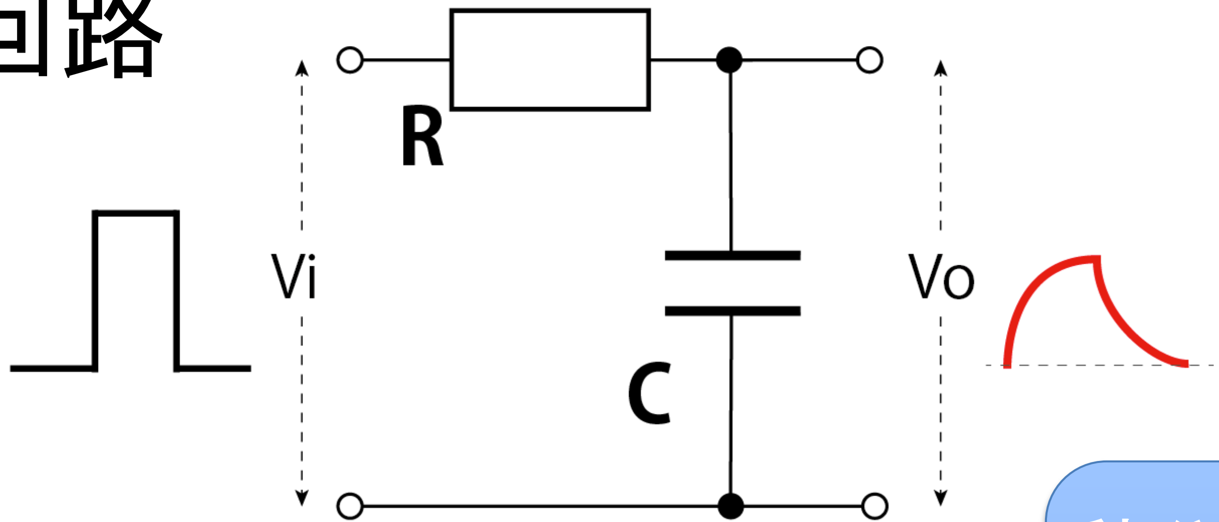

i(t)
SW
R
E
L
抵抗Rの電圧$v_R(t)$
$v_R(t) = E\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$
E
0
t
インダクタLの電圧$v_L(t)$
$v_L(t) = Ee^{-\frac{1}{CR}t}$
E
0
t

積分回路（LR）

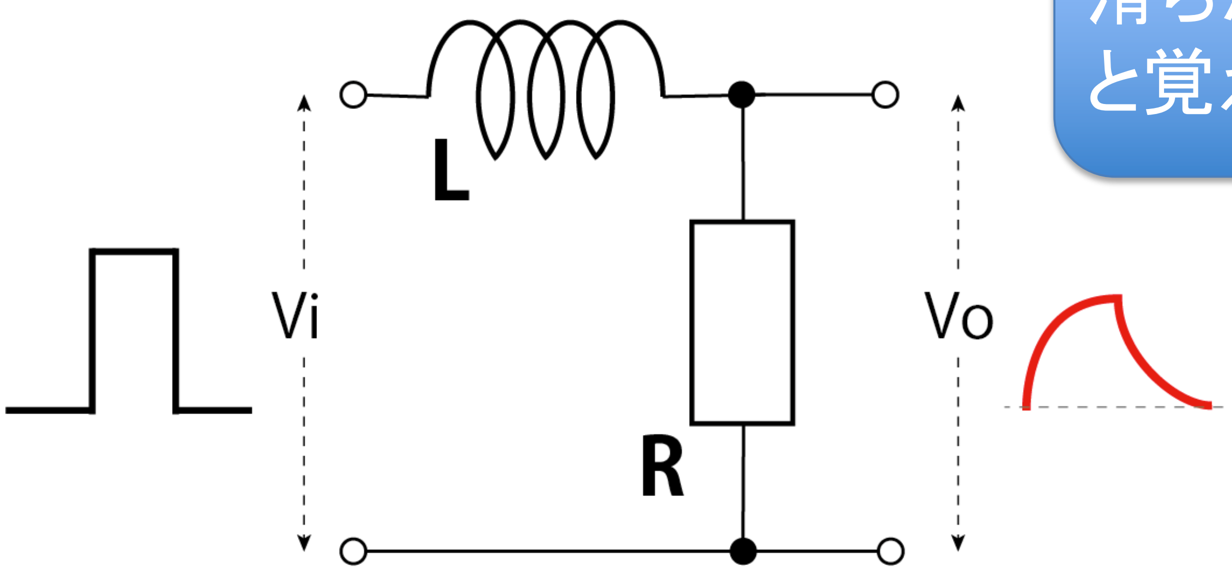
Rの両端が出力



積分回路



同じ動作をする（積分回路）

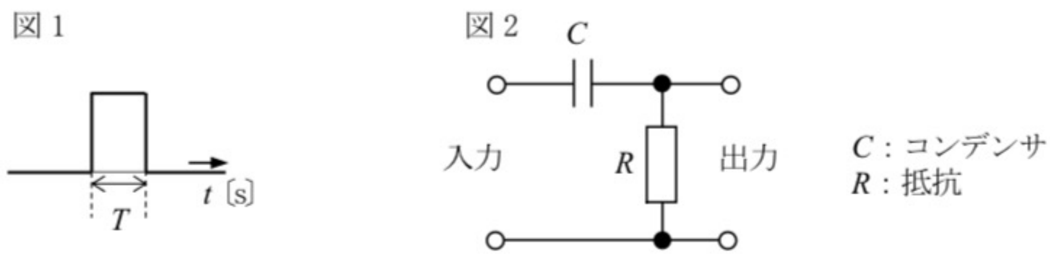


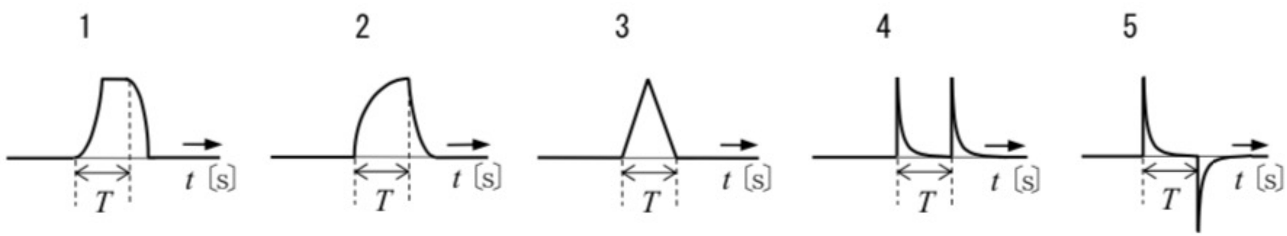
積分の波形は滑らかな波と覚える

C（またはL）とRの位置を入れ替え、CをL（LをC）に取り替える

令和1年8月A-8

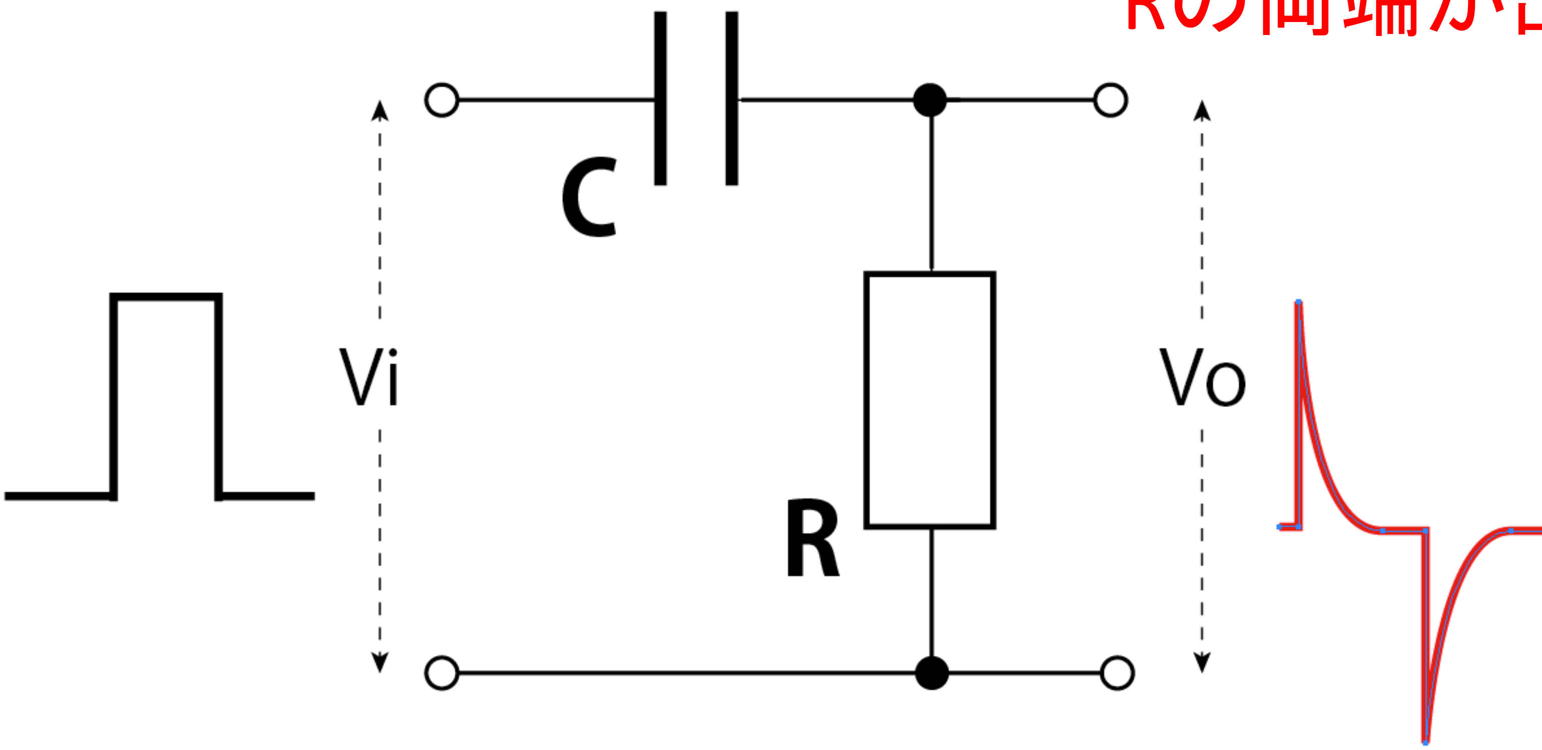
A－8　図１に示すパルス幅 T〔s〕の方形波電圧を、図２に示す微分回路の入力に加えたとき、出力に現れる電圧波形として、最も近いものを下の番号から選べ。ただし、t は時間を示し、回路の時定数 CR は T より十分小さいものとする。





微分回路（CR）：出力

Rの両端が出力



令和3年12月A-9

A－9　次の記述は、図１に示す回路について述べたものである。［　　］内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

図１に示す回路は［ A ］回路とも呼ばれ、入力端子に図２の（ａ）に示す幅 T の方形波電圧を加えたとき、出力端子に現れる電圧波形は図２の［ B ］である。この回路と同様の出力波形が得られるのは、図３の［ C ］の回路である。ただし、t は時間を示し、各回路の時定数は T より十分小さいものとする。

	A	B	C
1	微分	（ｃ）	（ｄ）
2	微分	（ｂ）	（ｄ）
3	積分	（ｂ）	（ｅ）
4	積分	（ｃ）	（ｅ）
5	積分	（ｃ）	（ｄ）

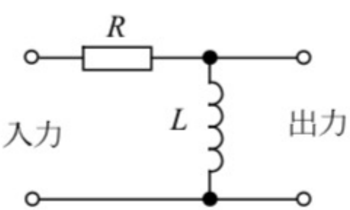


図１

R：抵抗
L：コイル
C：コンデンサ

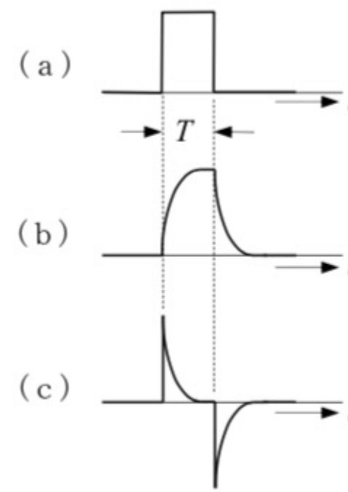


図２

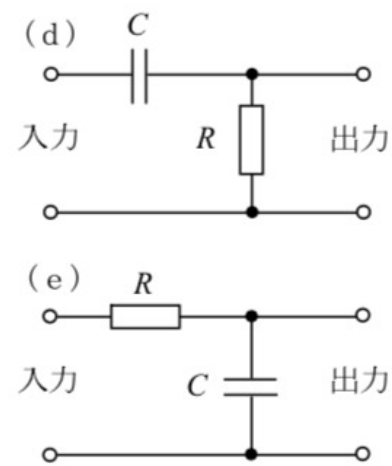
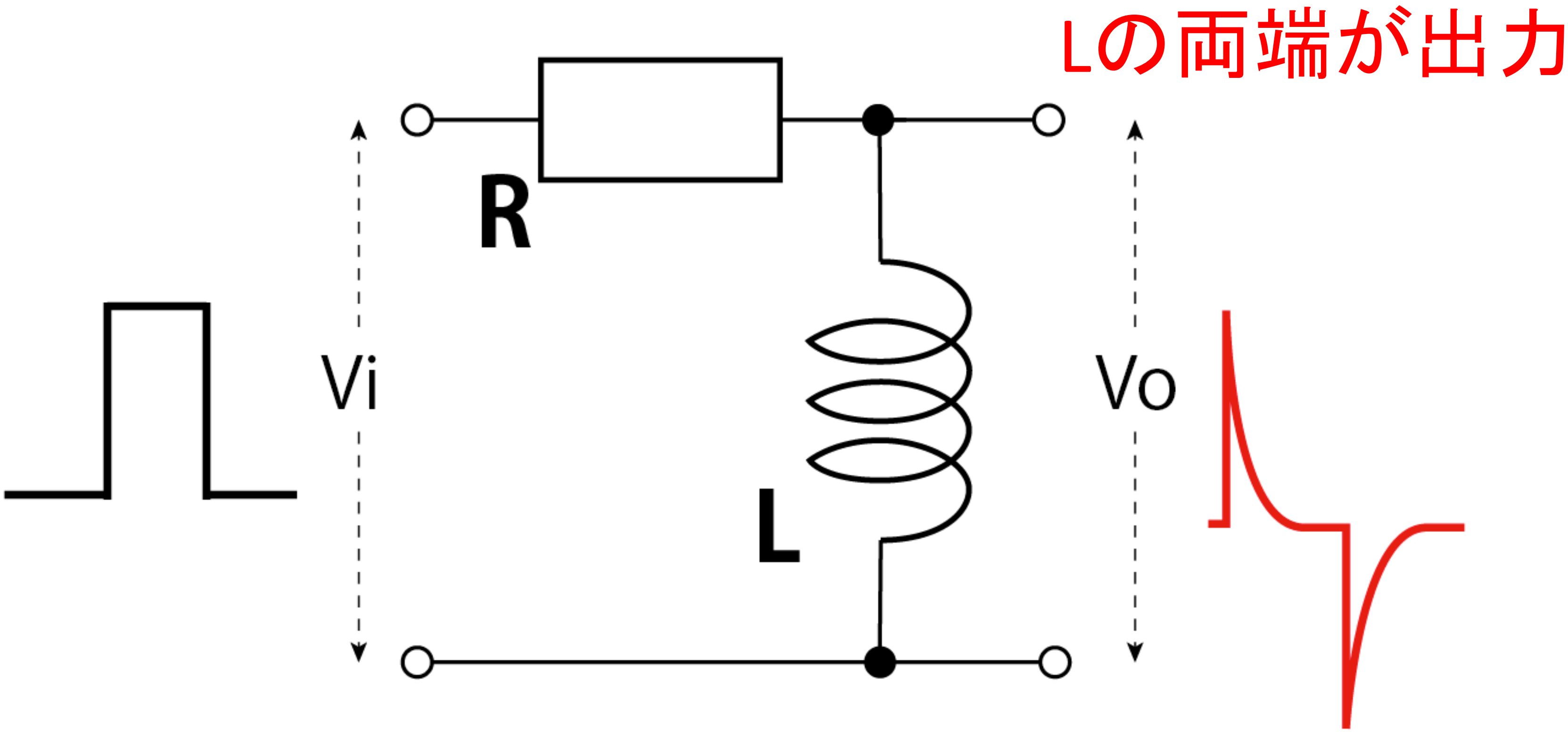
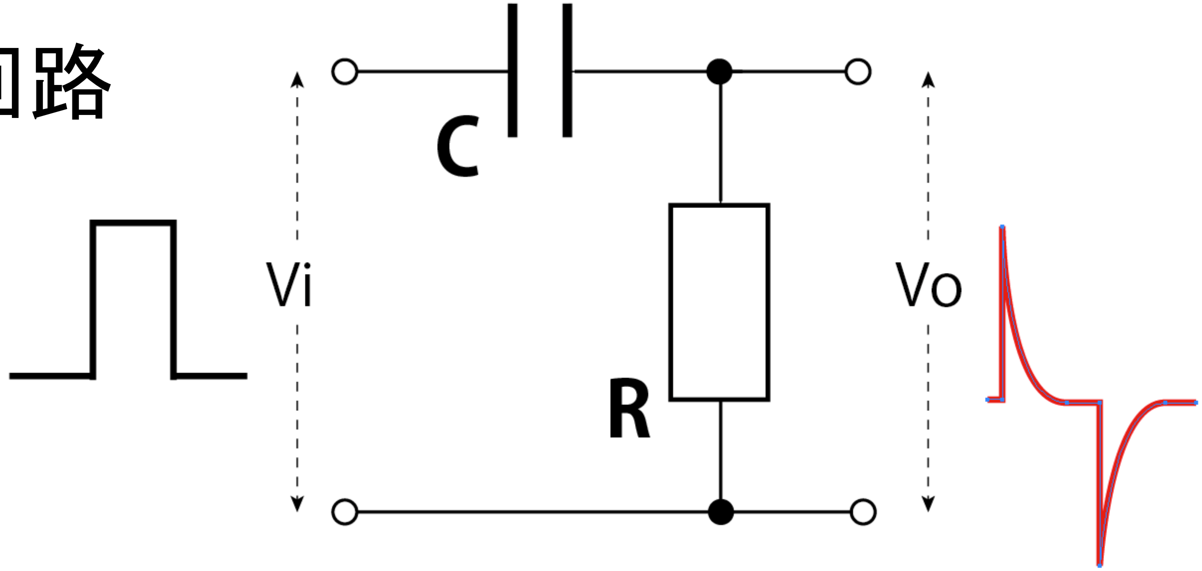


図３

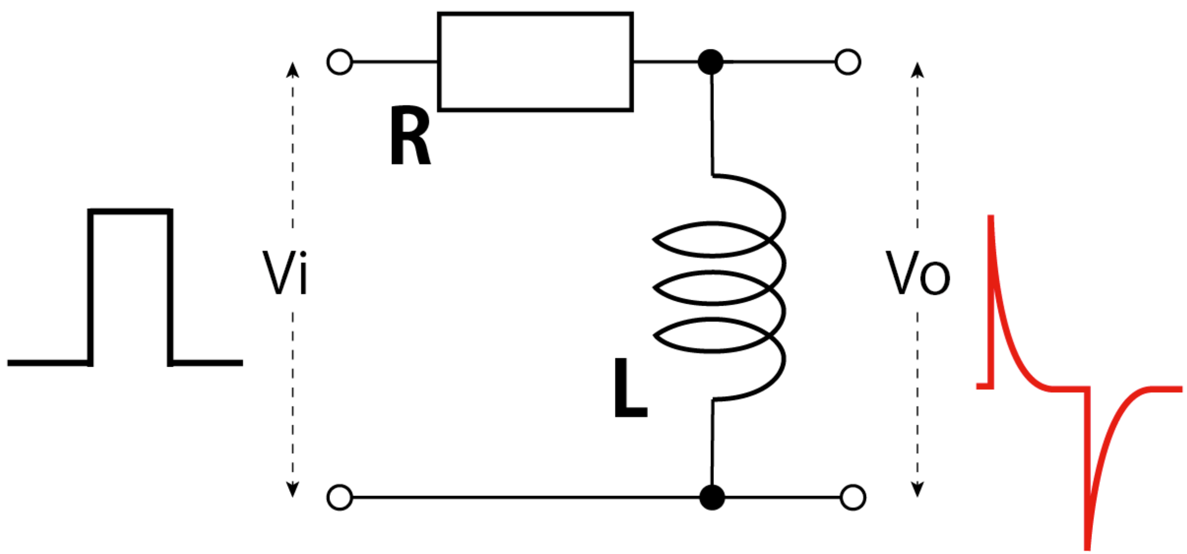
微分回路(RL)



微分回路

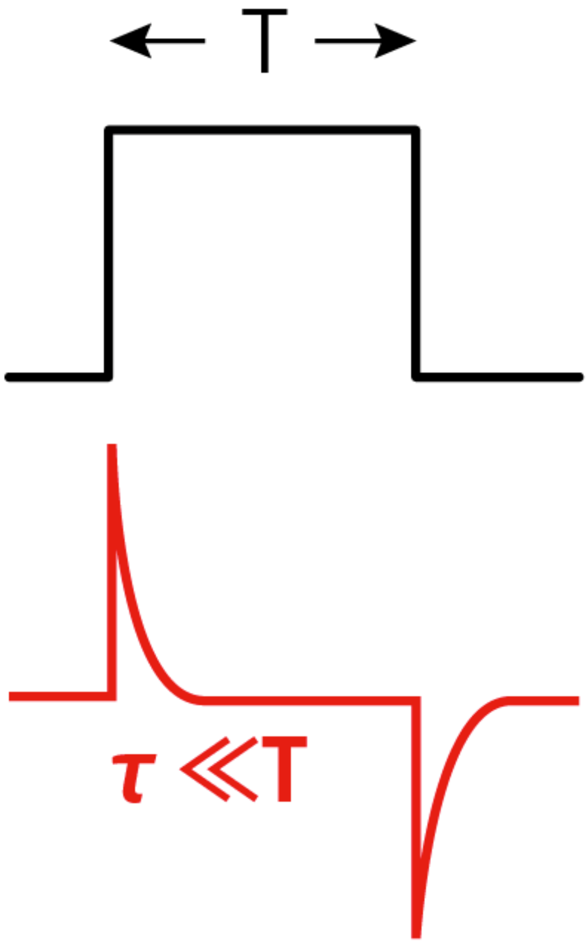


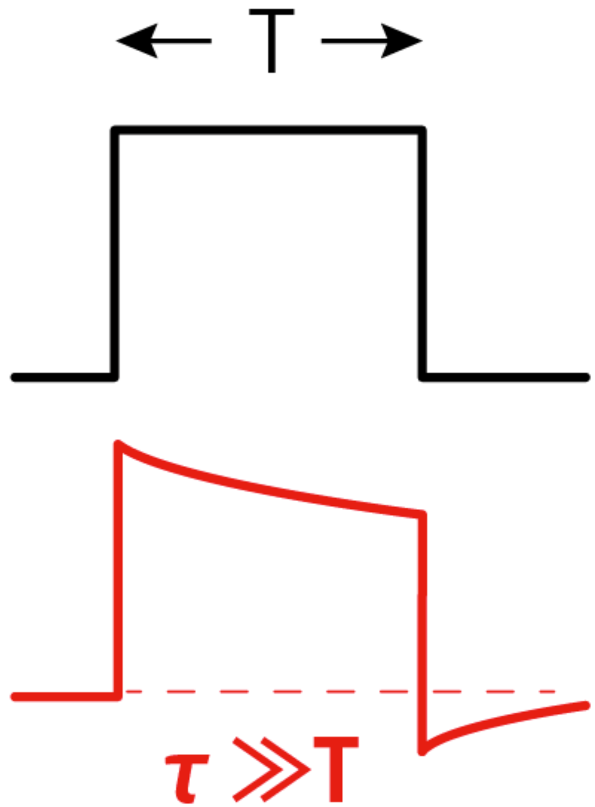
同じ動作をする（微分回路）

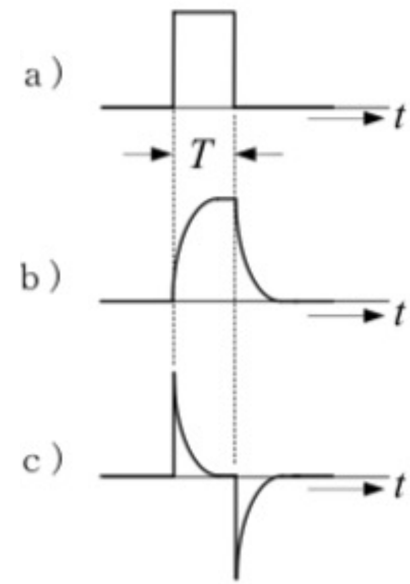


Tと時定数の関係

「各回路の時定数はTより十分小さい」の意味







同じ問題（平成29年8月A-8）

A－8 次の記述は、図1に示す回路について述べたものである。[　　] 内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

図1に示す回路は [A] 回路とも呼ばれ、入力端子に図2の(a)に示す幅 T の方形波電圧を加えたとき、出力端子に現れる電圧波形は図2の [B] である。この回路と同様の出力波形が得られるのは、図2の [C] の回路である。ただし、t は時間を示し、各回路の時定数は T より十分小さいものとする。また、図中の R は抵抗を表す。

	A	B	C
1	微分	(b)	(d)
2	微分	(c)	(d)
3	微分	(c)	(e)
4	積分	(b)	(e)
5	積分	(c)	(d)

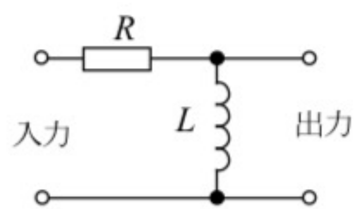


図1　L：コイル

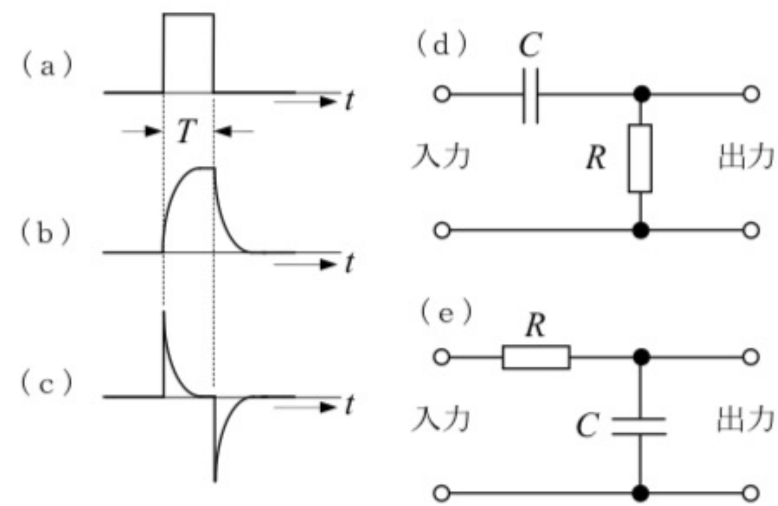


図2　C：コンデンサ

平成30年4月A-9

A - 9 次の記述は、図１に示す回路について述べたものである。[　　] 内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

(1) 図１に示す回路の入力端子に、図２(a)に示す幅 T の矩形波電圧を加えたとき、出力端子に現れる電圧波形は、同図 [A] である。ただし、t は時間を示し、回路の時定数は T より小さいものとする。

(2) 図１の回路と等価な回路を抵抗とコイル L を用いて表せば、[B] の回路となる。

(3) 図１の回路は、時定数が T より十分大きいとき、[C] 回路とも呼ばれる。

	A	B	C
1	(c)	図３	微分
2	(c)	図４	積分
3	(b)	図４	積分
4	(b)	図３	積分
5	(b)	図４	微分

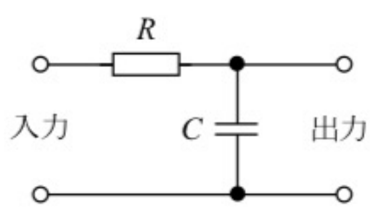
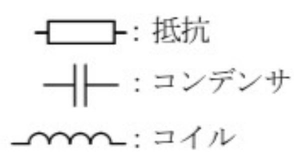


図１



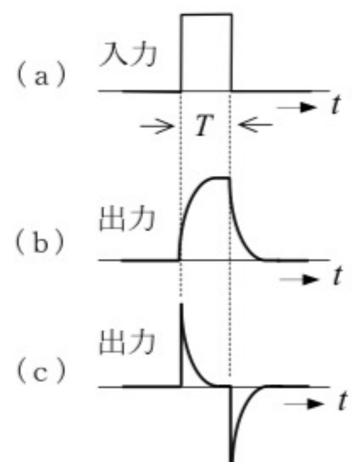


図２

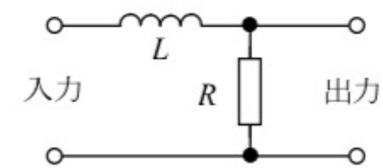


図３

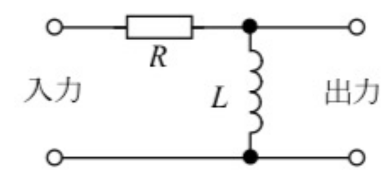
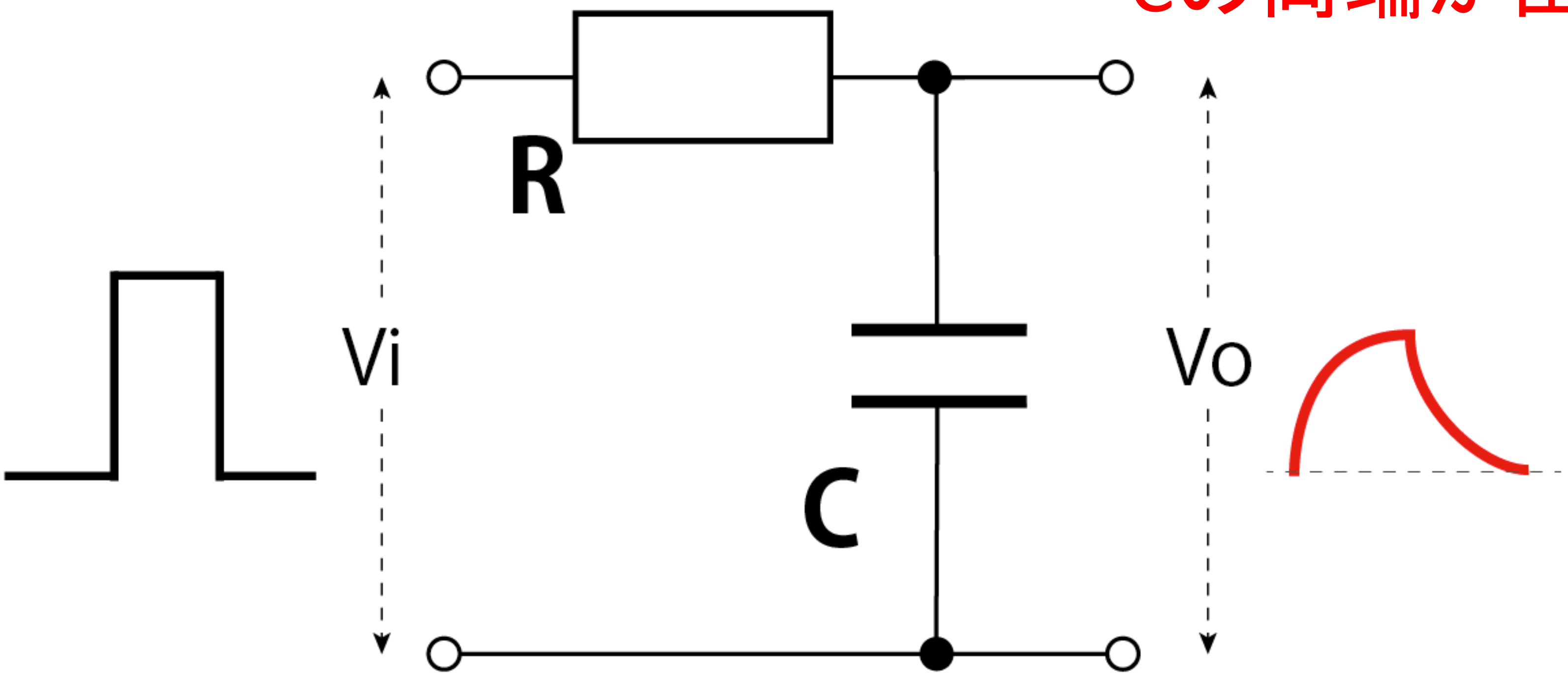
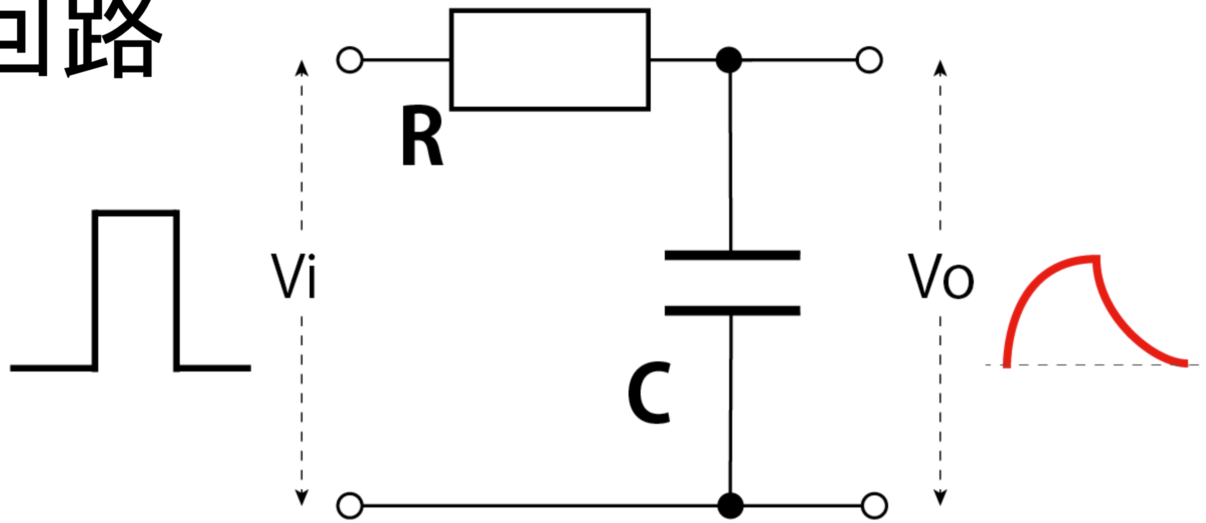


図４

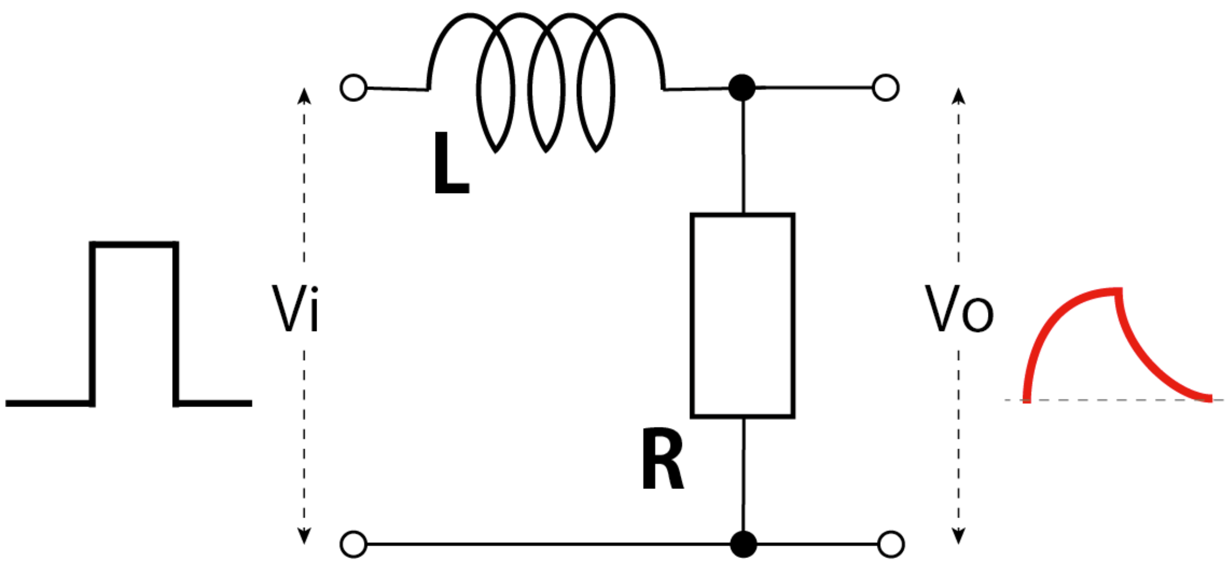
積分回路(RC):出力



積分回路

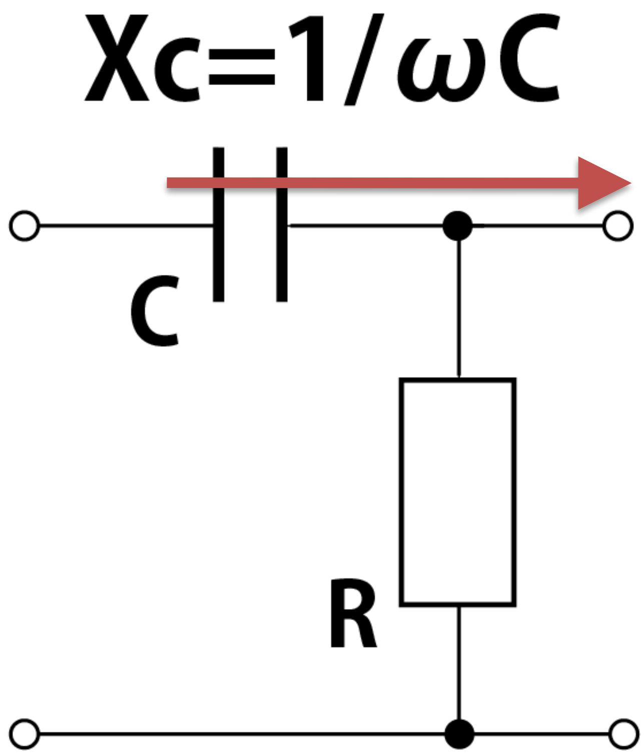


同じ動作をする（積分回路）



【付録】
HPF・LPF
RC・LC回路による一次フィルタ

微分回路=ハイパスフィルタ

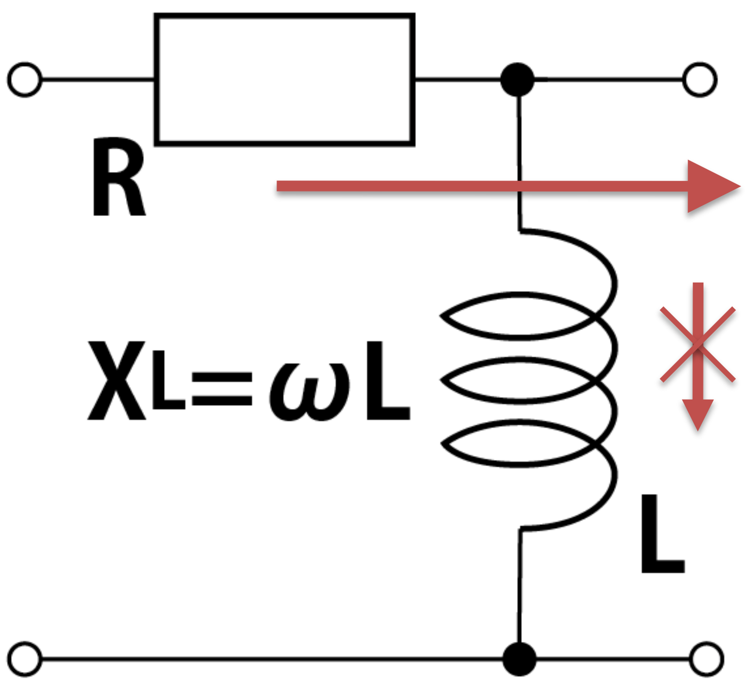


コンデンサのリアクタンス（交流抵抗）Xc=1/ωCであるから、周波数（ω）が高いとXcは小さくなり、周波数（ω）が低いとXcは大きくなる。

周波数が高い成分は通過し、低い成分は通過しない

・・・ハイパスフィルタ

微分回路=ハイパスフィルタ

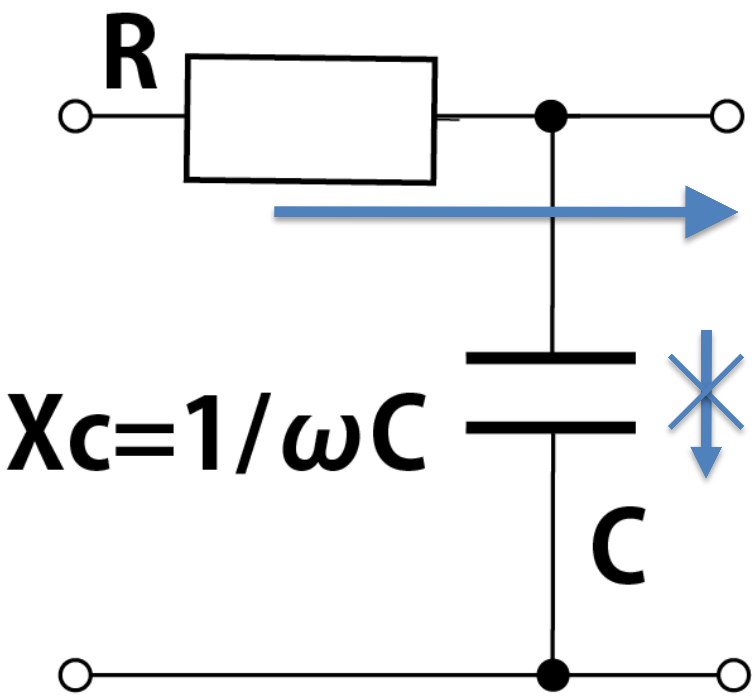


コイルのリアクタンス(交流抵抗)$X_L=\omega L$であるから、周波数(ω)が高いとX_Lは大きくなり、周波数(ω)が低いとX_Lは小さくなる。

周波数が高い成分はコイルを通過せず出力へ、低い成分は通過しアースに流れる。

・・・ハイパスフィルタ

積分回路=ローパスフィルタ

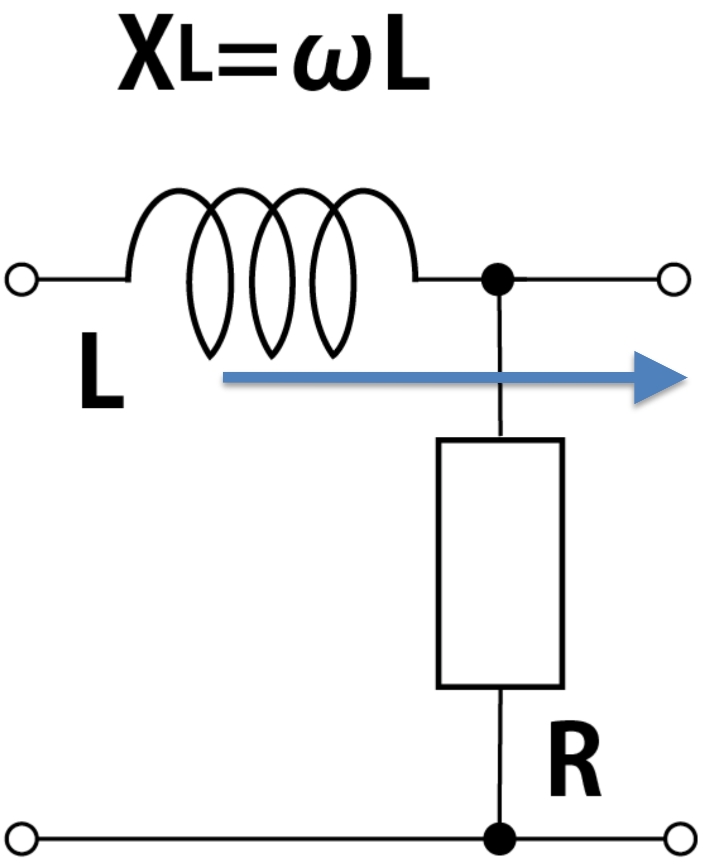


コンデンサのリアクタンス(交流抵抗)Xc=1/ωCであるから、周波数(ω)が高いとXcは小さくなり、周波数(ω)が低いとXcは大きくなる。

周波数が高い成分はコンデンサを通過しアースへ、低い成分は通過せず出力へ。

・・ローパスフィルタ

積分回路=ローパスフィルタ

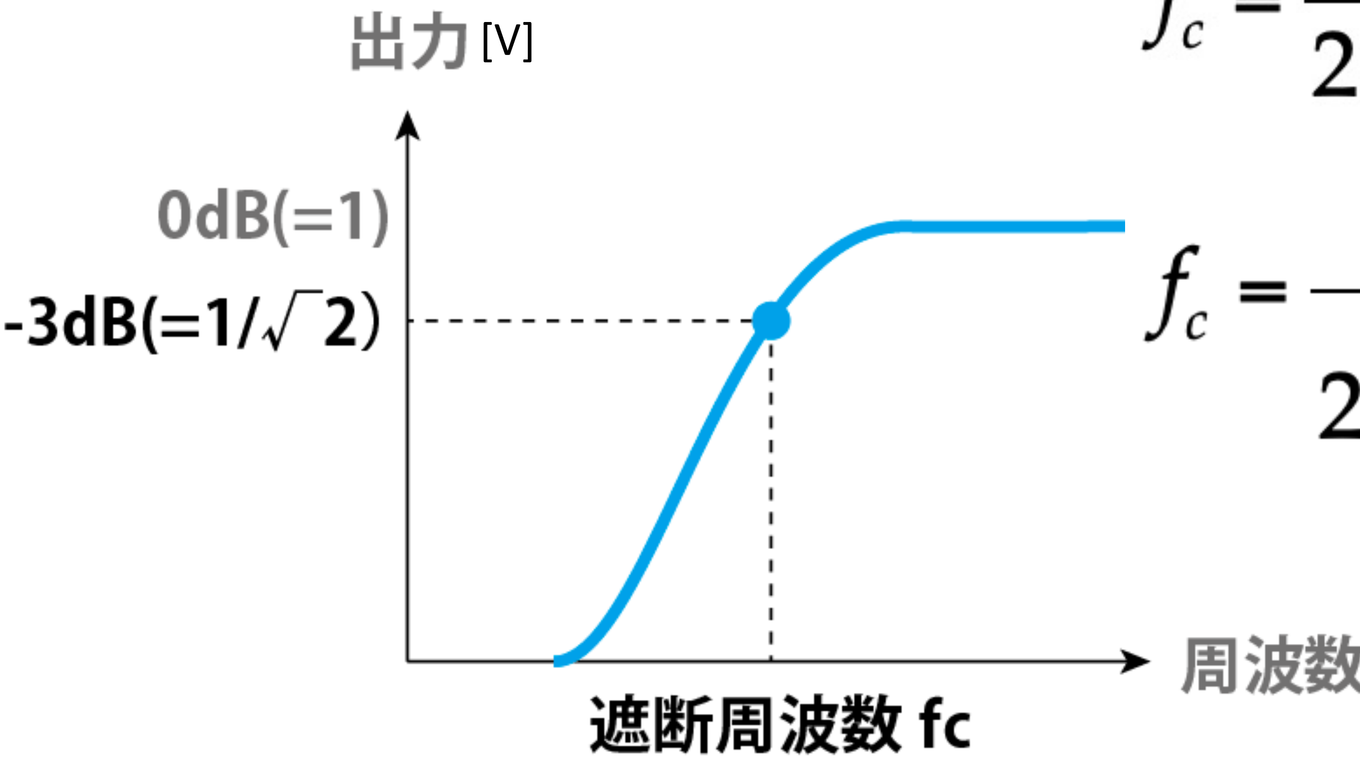


コイルのリアクタンス（交流抵抗）$X_L=\omega L$であるから、周波数（ω）が高いとX_Lは大きくなり、周波数（ω）が低いとX_Lは小さくなる。

周波数が高い成分はコイルを通過せず、低い成分は通過し出力へ。

・・・ローパスフィルタ

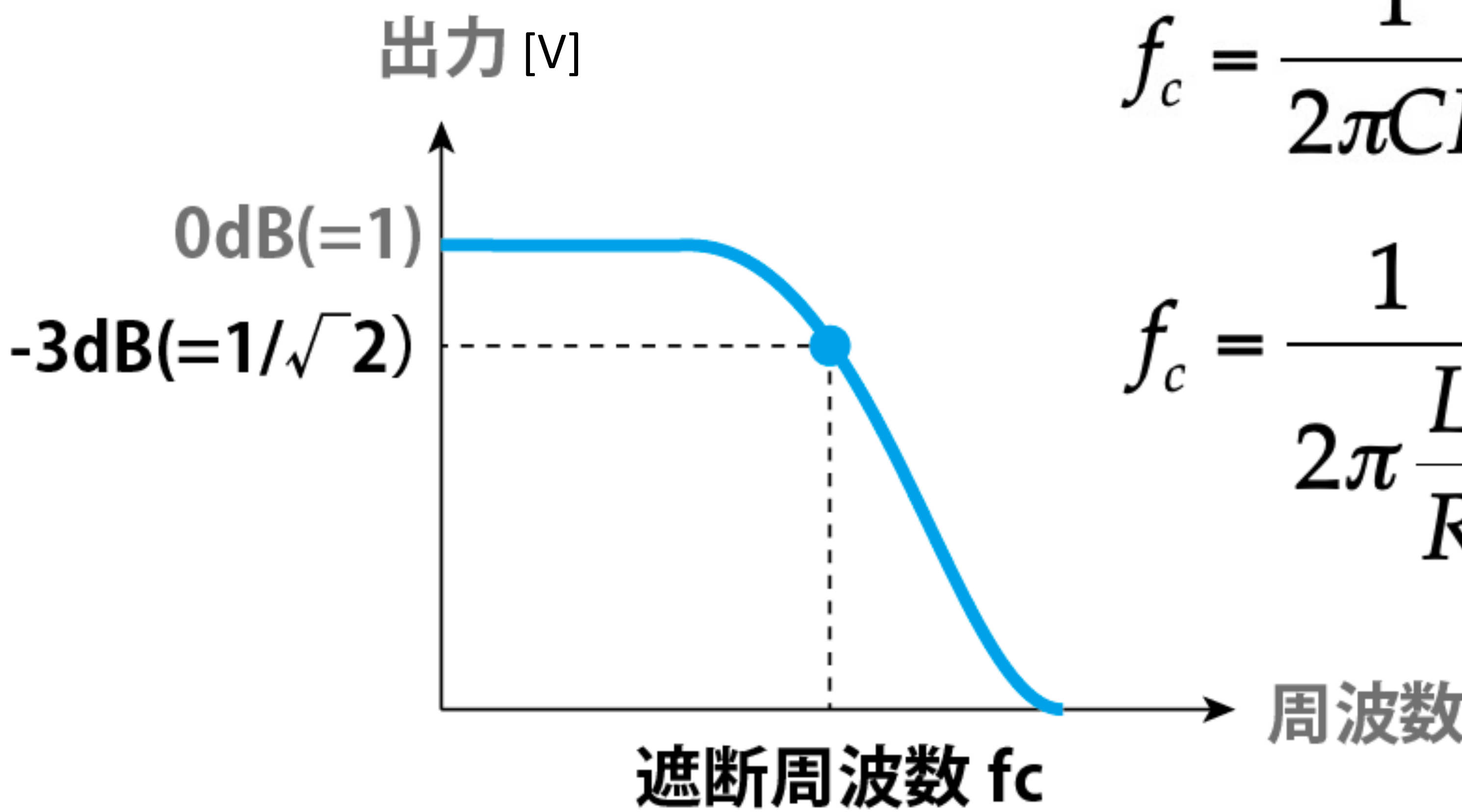
HPF：遮断（cutoff）周波数



$$f_c = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \frac{L}{R}} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

LPF遮断（cutoff）周波数



$$f_c = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \frac{L}{R}} = \frac{1}{2\pi\tau}$$