

電気工作の基礎



第1回

2014/5/21(水)

堀間 利彦

目次



☞ 第1日目(2013/7/16)

目に見えない電気の世界をイメージできることを目指します

- ☞ 電力システム送配電の概要
- ☞ 簡単な電気の基礎
- ☞ 算数レベルで理解できる交流理論
- ☞ 電力変換技術の概要
- ☞ 太陽光システムの普及状況と課題

☞ 第2日目(2013/7/XX)

太陽光発電システムの制御技術の肝を理解します

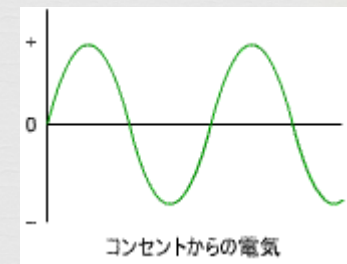
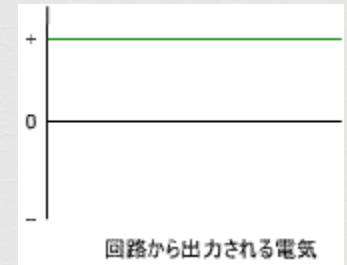
- ☞ 直流/交流変換技術
- ☞ 電力変換効率
- ☞ 系統電圧上昇
- ☞ 系統連系技術

電気の種類



直流と交流

- 直流：時間変化のない一定の電圧
 - 供給元：電池、PV、ACアダプタ出力等
 - 機器：電池で動く機器、ACアダプタで動く機器
- 交流：周期的にプラスとマイナスが切替る電圧
 - 供給元：商用電力(コンセント)
 - 機器：コンセントを挿して動く機器

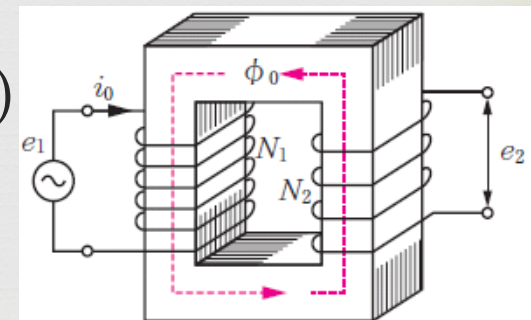
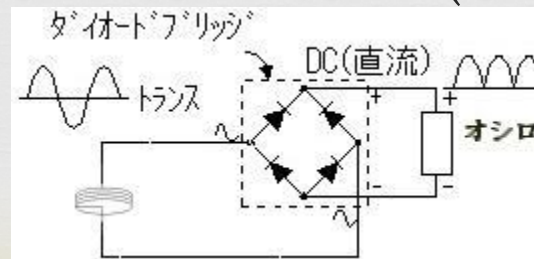


Q:エジソンとウェスチングハウスの争い

1880年代に電力事業を始めたエジソンは交流と直流、どちらを主張したか？

直流と交流の特徴

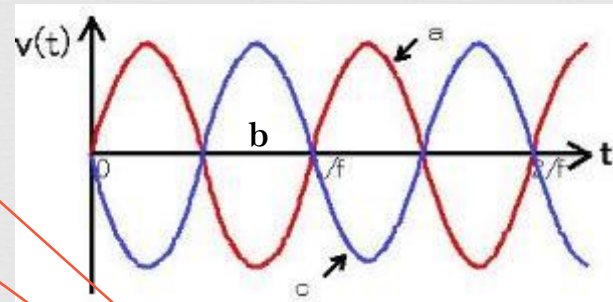
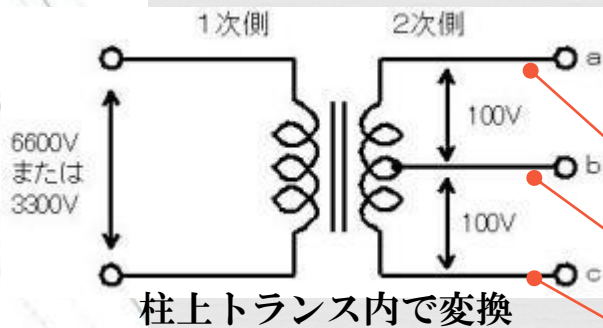
- 直流：直感的にわかる 交流：理解に数学的知識が必要
- 交流は電圧変換が容易：トランス(コイル)
- 交流→直流変換は容易：ダイオード(半導体)



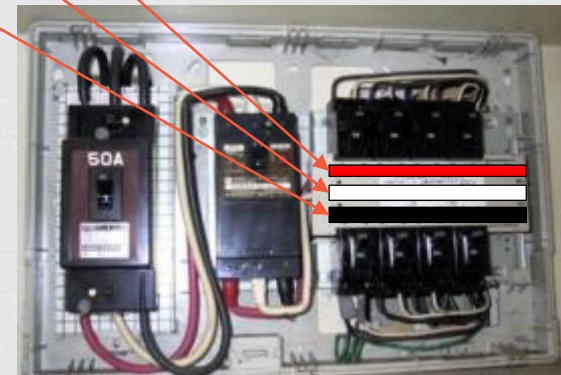
単相交流とは



- 1種類の位相(单相)の交流で一般家庭&小規模企業向け
- 配線方式により2線式と3線式がある
 - 2線式：2本の電線で100V交流を配線
 - 3線式：3本の電線で100V、200V交流を配線(最近はほぼこれ)



一般家庭の配電盤

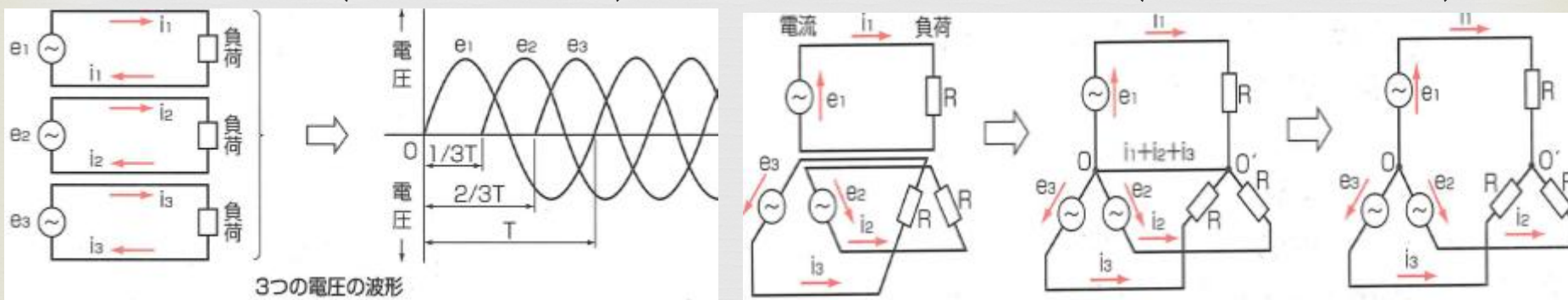


保護カバーの下に各線に
接続された金属プレート

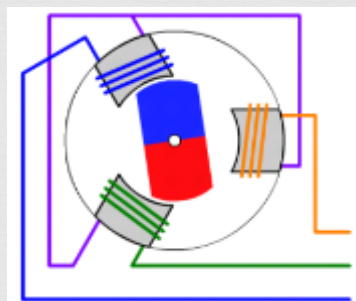
三相交流とは



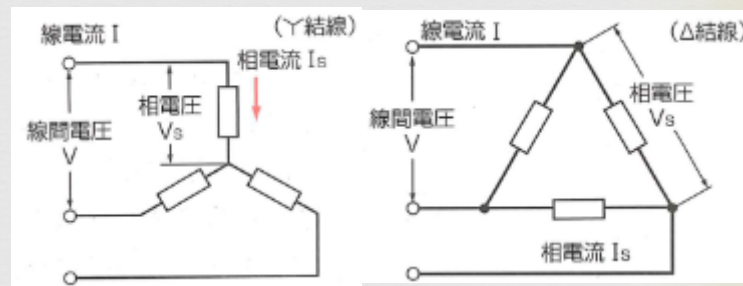
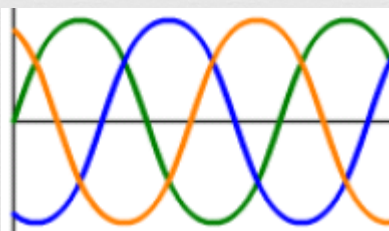
- ☞ 単相交流を1/3周期ずらし3つ組合せたもので大需要家向け
- ☞ 3本で3相(GND線不要)を送れるのがメリット(配線量、重量)



- ☞ 発電所で作られる電気、送電される電気は三相交流
- ☞ 三相交流モータはシンプル構造で大出力が可能



三相発電機の仕組みと発電電圧



Y結線とΔ結線

電柱も3本電線が基本

電気部品の種類



抵抗・コンデンサ(キャパシタ)・
コイル(インダクタ)・半導体・IC



動作をイメージできるようになることが大切

抵抗：どんなに完璧な結果でも文句言わずにいられない部長
物事を進めようとするやたら汗かくことになる



コンデンサ：気前よく何でも背負い込みそのうち溢れる主査
初めよく吸い込み、だんだん怪しくなり、最後は溢れる

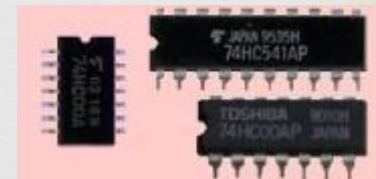


コイル：最初は拒否ベースでも納得したら今度は暴走する部下
初めは吸い込まず、徐々に吸い込み、止めても止まらない

半導体：何でも決めたがる仕切り屋課長
流れを止めたり変えたり戻したり



IC：ミッションを完璧にこなすプロジェクトチーム
決まった事は確実にやるが自ら考える柔軟性はない



これだけ覚えれば大丈夫



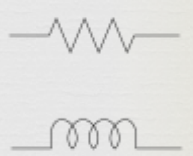
略号

- 電流：I 電圧：E 抵抗：R コンデンサ：C コイル：L
- ダイオード：D トランジスタ：Q

回路図記号

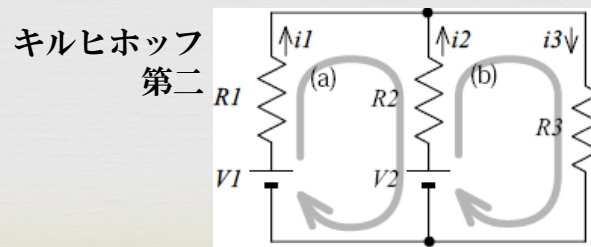
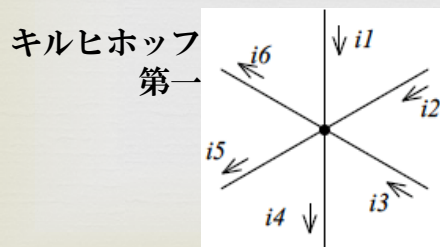
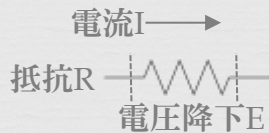
- 抵抗
- コンデンサ
- コイル
- ダイオード
- トランジスタ

古い表記



法則

- オームの法則： $E = IR$
- キルヒホッフの法則 第一： $\sum I = 0$ 第二： $\sum E = 0$
- フレミングの法則 左手：力磁電(右手なら電磁力)
- アンペアの右ねじの法則：磁界と電流の向き



直流回路と電気部品



⌘ 直流では抵抗で電力を消費する

・抵抗で消費する電力 $W_R = I \times V = I^2 \times R$ I:電流[A], V:電圧[V] R:抵抗[Ω]

⌘ コイルは短絡(導線)と同等で電力は消費しない

・コイルで消費する電力 $W_L = I \times V = 0$ ∵ V=0

⌘ コンデンサは開放(絶縁)と同等で電力は消費しない

・コンデンサで消費する電力 $W_C = I \times V = 0$ ∵ I=0

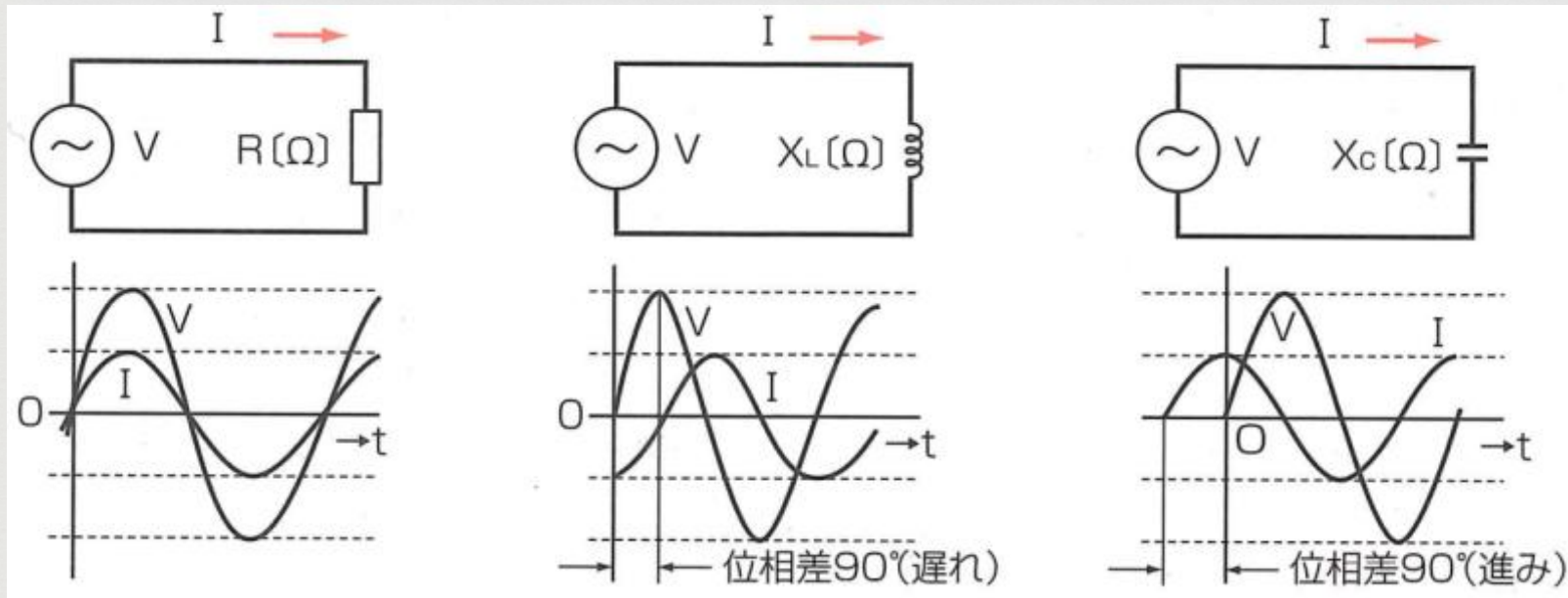
※実際の部品は内部抵抗成分を持ちその大きさに応じて電力を消費する

※電圧変化時(On/Off時等)には交流の性質が現れる

交流回路と電気部品



- 交流ではコイルとコンデンサは抵抗の性質(リアクタンス)を持つ
 - コイルのリアクタンス $X_L = 2\pi f \cdot L$ f :周波数[Hz], L :インダクタンス[H]
 - コンデンサのリアクタンス $X_C = 1/2\pi f \cdot C$ C :キャパシタンス[F]
- 交流ではコイルとコンデンサは電流位相に影響を及ぼす



抵抗の場合

コイルの場合

コンデンサの場合

交流回路の計算方法



- コイルとコンデンサのリアクタンスを利用して求める
- 抵抗(抵抗とリアクタンスの合成)をインピーダンスZという

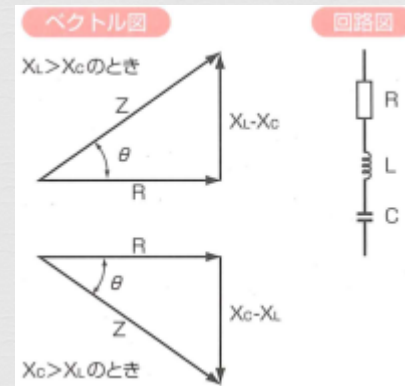
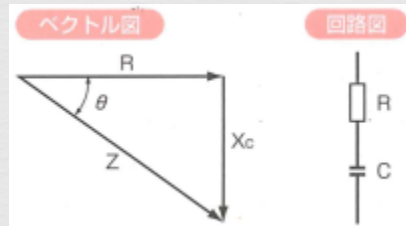
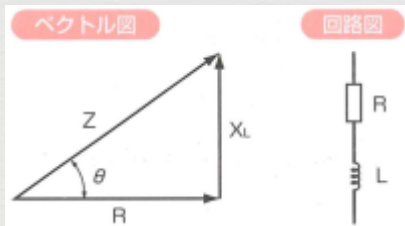
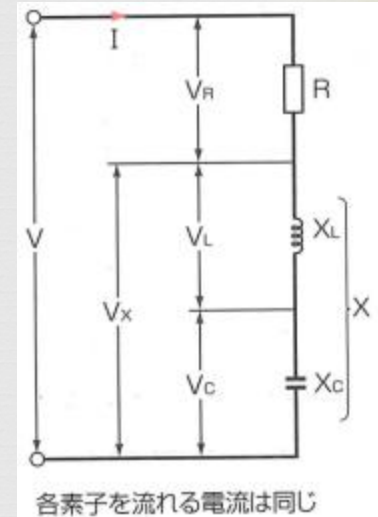
【直列接続】インピーダンスを求める

- 抵抗とコイル
- 抵抗とコンデンサ
- 抵抗とコイルとコンデンサ

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} [\Omega]$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} [\Omega]$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} [\Omega]$$



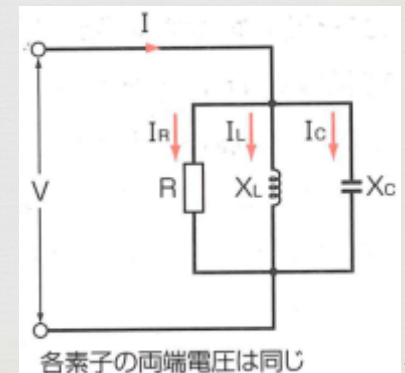
【並列接続】電流値を求める

- 抵抗とコイル
- 抵抗とコンデンサ
- 抵抗とコイルとコンデンサ

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} [A]$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} [A]$$

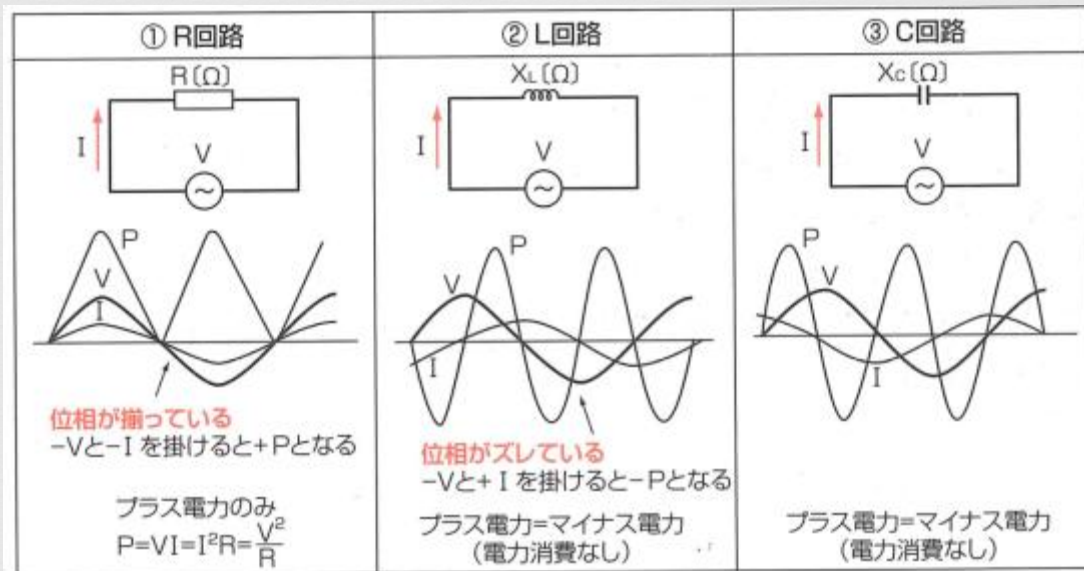
$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} [A]$$



交流回路の電力と力率

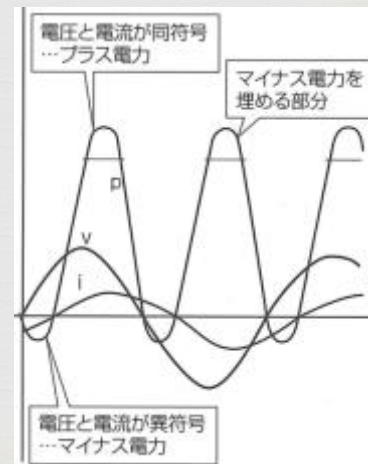
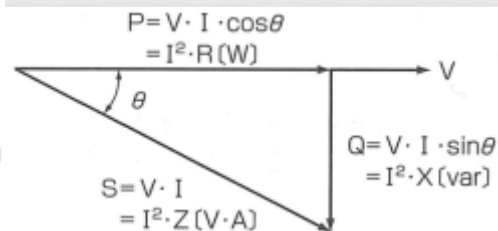
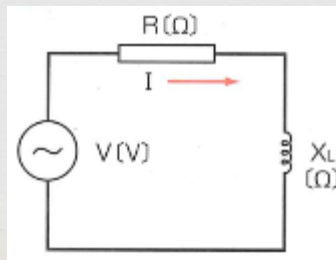


コイルだけ、コンデンサだけの回路では電力は消費しない



電力計算方法と力率

インピーダンスZで求まる θ が電流と電圧の位相差となる
 皮相電力 $S=V \cdot I$ 有効電力 $P=V \cdot I \cdot \cos\theta$ 無効電力 $Q=V \cdot I \cdot \sin\theta$
 有効=皮相×力率 $\cos\theta$



交流から直流への変換



- 国内の送配電は交流
- 電圧変換が容易：トランス(変圧器)
- 直流変換が容易：ダイオードブリッジ

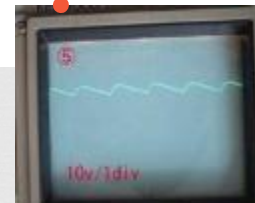
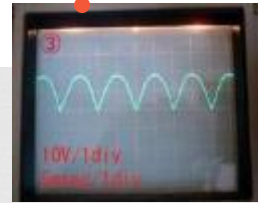
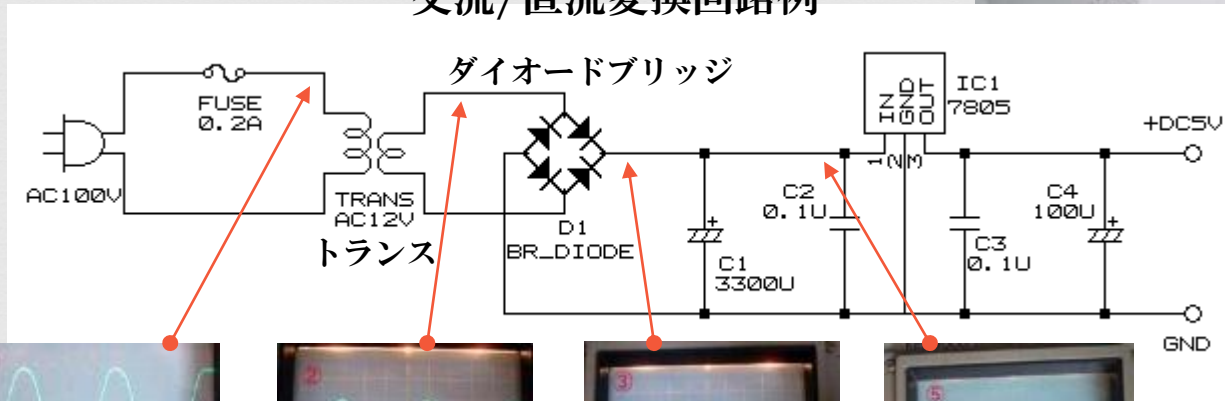
トランスの例



ダイオードブリッジの例



交流/直流変換回路例



C1が小さいとき



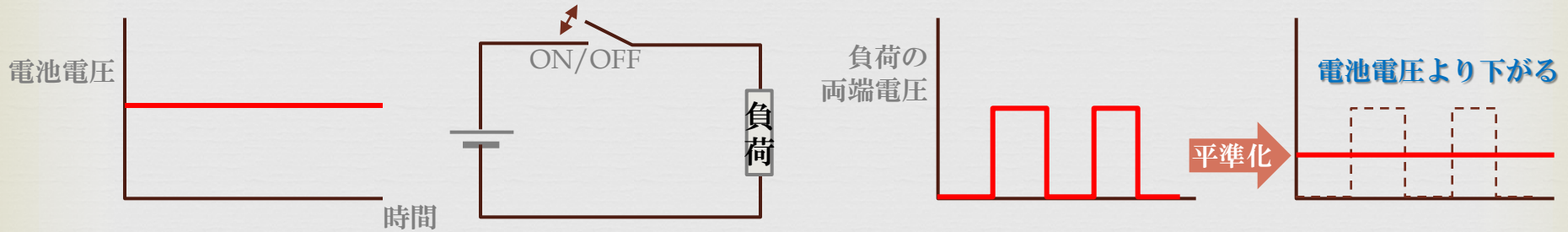
C1が大きいとき

直流電力変換の基本



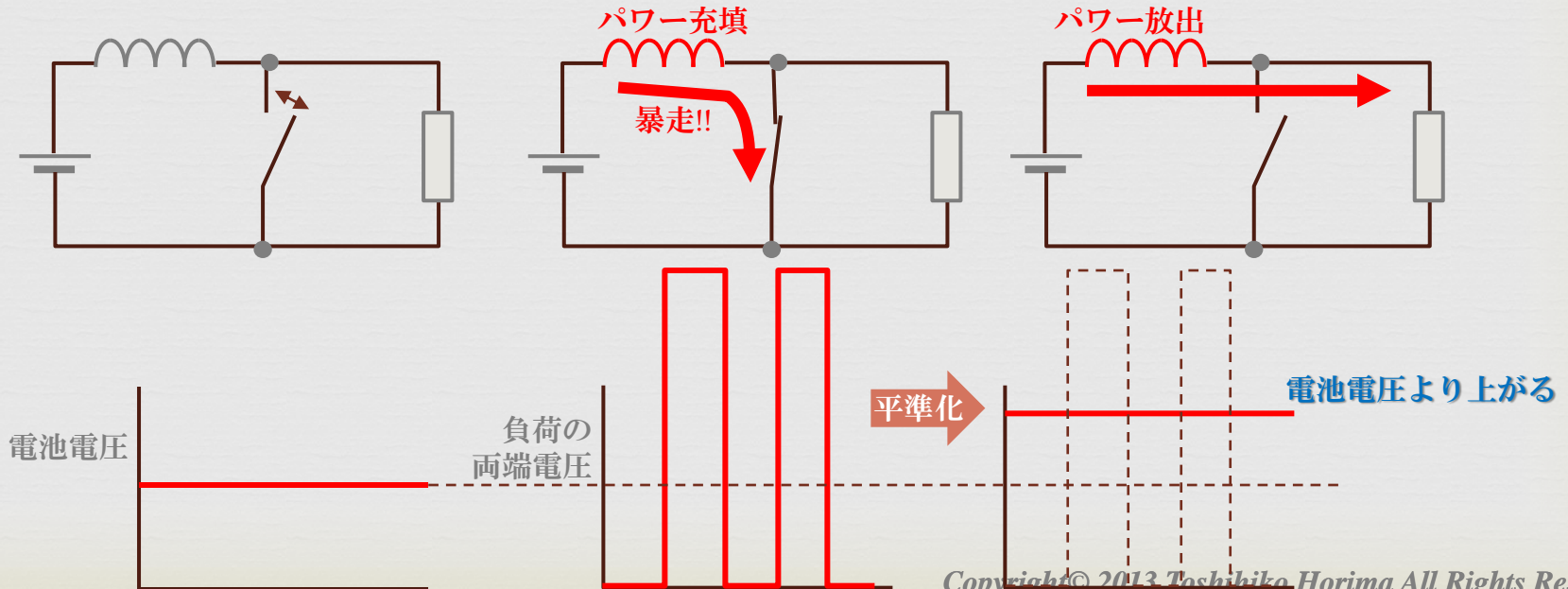
チョッパ回路

直流の電気を切り刻んで平準化する



電圧を下げるのは分かる気がするけど、上げることってできる？

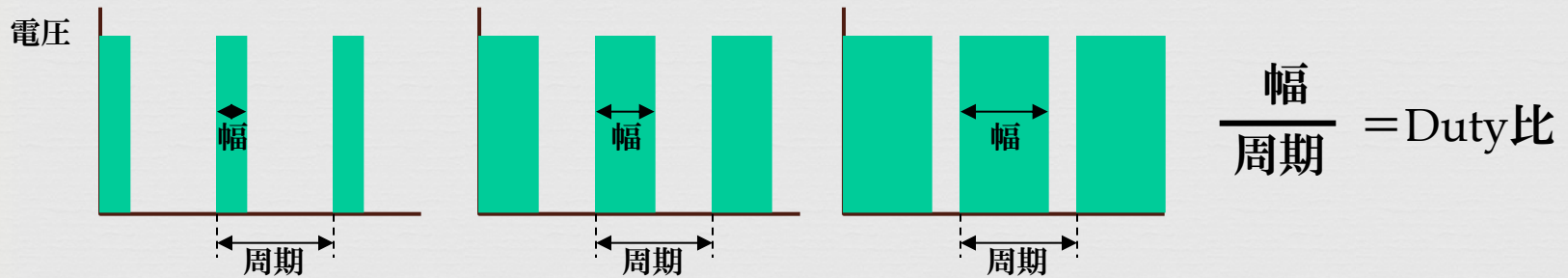
コイルあえて暴走させるんです



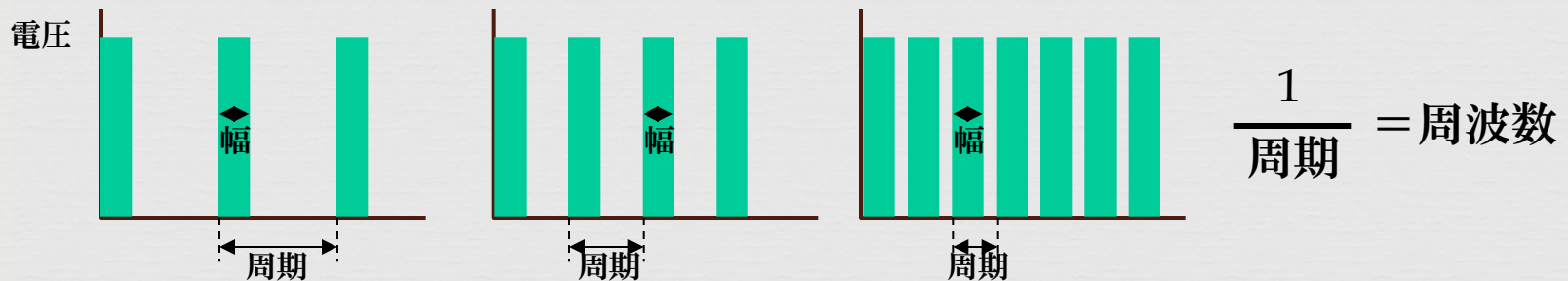
出力電力制御の方法



∞ パルス幅変調：PWM(Pulse Width Modulation)
Duty比を変えることで出力を変化させる



∞ パルス周波数変調：PFM(Pulse Frequency Modulation)
周波数を変えることで出力を変化させる

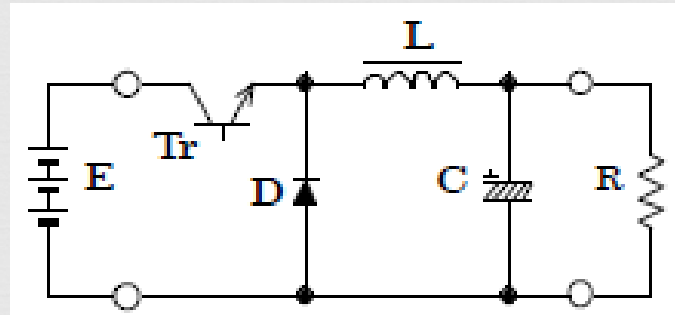


PFMは低負荷時に効率良、PWMは重負荷時に効率良
電力制御用CPUにはPWM機能が組込まれている

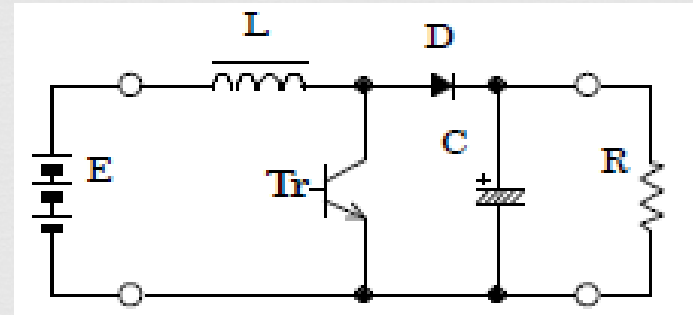
DC-DCコンバータの基本構成



具体的にはどんな部品で回路が構成されるか



降压回路



昇压回路

トランジスタ(Tr)はスイッチングを担う

Q:Trのベース端子がつながっていないのは??

A:制御回路につながっている

電気の流れでないため省略されている

トランジスタは
小容量はMOSFET
大容量はIGBT

制御回路とは・・・

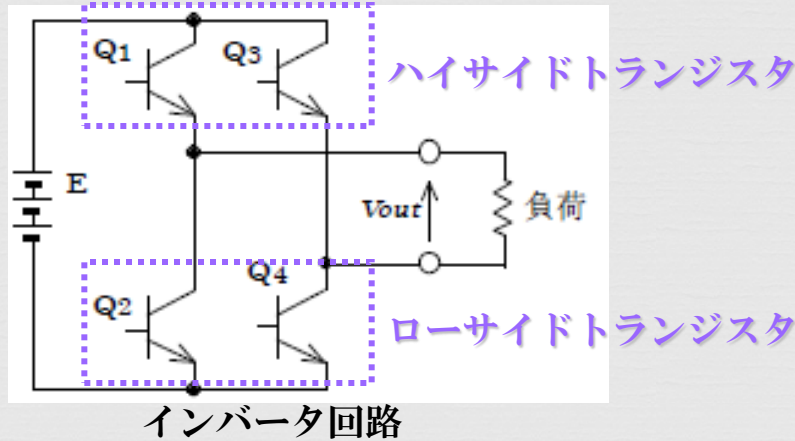
電圧電流測定回路とCPUとTrドライブ回路で構成される

(以前はディスクリート部品で構成していたが電力制御用CPUが開発されそれを利用することで部品点数が1/3程度に減らせるようになった)

DC-ACインバータの基本構成



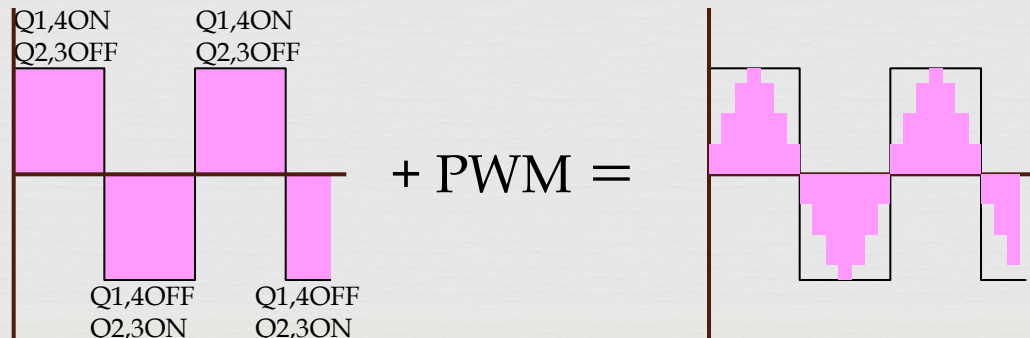
具体的にはどんな部品で回路が構成されるか



最近の流行は
トランスレス
高効率だが高圧回路と非絶縁で危険

4つのトランジスタでスイッチングを担う

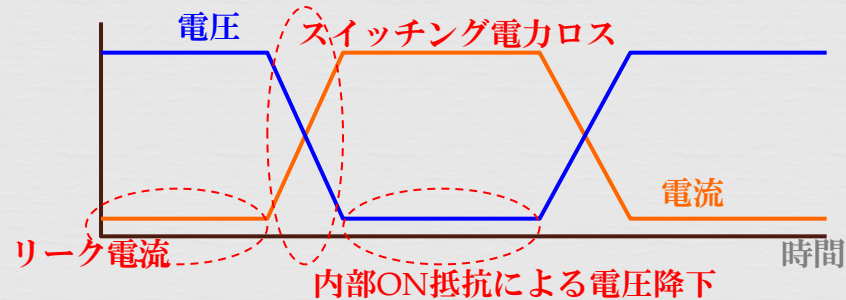
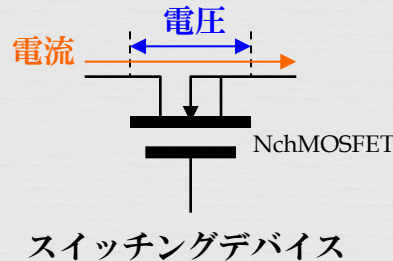
Q1+Q4とQ2+Q3の対で制御する



電力変換効率とは？



- 電力変換する際に無駄になる電力が少ないこと
- スイッチング時間、内部抵抗、リーク電流が全て0なら論理的ロスはないが、現実的には不可能で、材料の物理、化学的性質に依存



$$\text{電力} W = \text{電流} I \times \text{電圧} E$$

電流か電圧が0なら電力ロスは0になるのだが・・・

ロスした電力は熱になる 効率90%なら10%が熱になって損失する
発熱量は、ここから算出ができる

- 話題のSiC(炭化ケイ素)やGaN(窒化ガリウム)はスイッチング時間が短いこと、耐熱性が高いことから従来のSi(シリコン)より高効率になることが期待されている

スイッチデバイスの仕様例(シリコン)

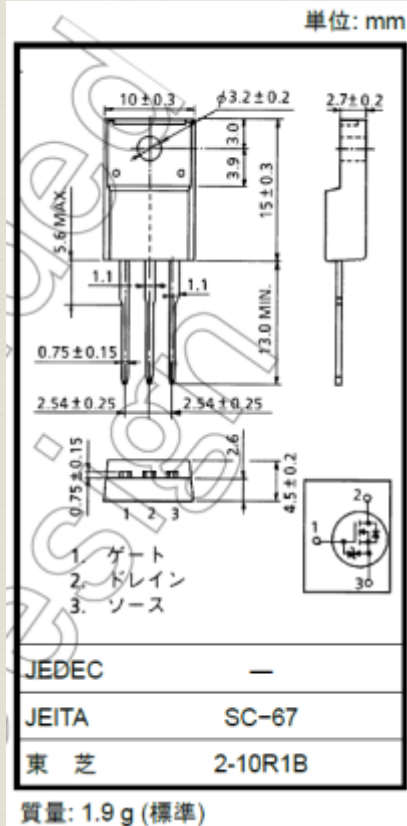


100V/20AのMosFET(東芝2SK2391)の主な仕様を示す

ばら売り¥200程度

項目	記号	定格	単位	
ドレイン・ソース間電圧	V_{DSS}	100	V	
ドレイン・ゲート間電圧 ($R_{GS}=20k\Omega$)	V_{DGR}	100	V	
ゲート・ソース間電圧	V_{GSS}	± 20	V	
ドレイン電流	DC (注1)	I_D	20	A
	パルス (注1)	I_{DP}	80	A

項目	記号	測定条件	最小	標準	最大	単位
ゲート漏れ電流	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 16V, V_{DS} = 0V$	—	—	± 10	μA
ドレインしゃ断電流	I_{DSS}	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$	—	—	100	μA
ドレイン・ソース間降伏電圧	$V(BR)_{DSS}$	$I_D = 10mA, V_{GS} = 0V$	100	—	—	V
ゲートしきい値電圧	V_{th}	$V_{DS} = 10V, I_D = 1mA$	0.8	—	2.0	V
ドレイン・ソース間オン抵抗	$R_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 4V, I_D = 10A$	—	0.09	0.13	Ω
		$V_{GS} = 10V, I_D = 10A$	—	0.068	0.085	
順方向伝達アドミタンス	$ Y_{fs} $	$V_{DS} = 10V, I_D = 10A$	8	16	—	S
入力容量	C_{iss}	$V_{DS} = 10V, V_{GS} = 0V, f = 1MHz$	—	1100	—	pF
帰還容量	C_{rss}		—	180	—	
出力容量	C_{oss}		—	400	—	
スイッチング時間	上昇時間	t_r		—	20	ns
	ターンオン時間	t_{on}		—	30	
	下降時間	t_f		—	50	
	ターンオフ時間	t_{off}		—	140	



スイッチデバイスの仕様例(SiC)



1200V/35AのSiC MosFET(FC SCT2080KE)の主な仕様

ばら売り¥3000程度

●絶対最大定格 ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Value	Unit
ドレイン・ソース間電圧	V_{DS}	1200	V
ドレイン電流 (直流)	$T_c = 25^\circ\text{C}$ I_D ¹	35	A
	$T_c = 100^\circ\text{C}$ I_D ¹¹	22	A
ドレイン電流 (パルス)	$I_{D,pulse}$ ²	80	A

ドレイン遮断電流	I_{DSS}	$V_{DS} = 1200\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 150^\circ\text{C}$	-	1 2	10 -	μA
ゲート漏れ電流	I_{GSS+}	$V_{GS} = +22\text{V}, V_{DS} = 0\text{V}$	-	-	100	nA
ゲート漏れ電流	I_{GSS-}	$V_{GS} = -6\text{V}, V_{DS} = 0\text{V}$	-	-	-100	nA
ゲートしきい値電圧	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 4.4\text{mA}$	1.6	-	4.0	V
ドレイン・ソース間オン抵抗	$R_{DS(on)}$ ³	$V_{GS} = 18\text{V}, I_D = 10\text{A}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	-	80 125	117 -	$\text{m}\Omega$
ゲート抵抗	R_G	$f = 1\text{MHz}, \text{open drain}$	-	6.3	-	Ω

漏れ電流

ON抵抗

	Symbol	Conditions	Values			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
有効出力容量 (エネルギー)	$C_{o(er)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ $V_{DS} = 0\text{V} \sim 500\text{V}$	-	116	-	pF
ターンオン遅延時間	$t_{d(on)}$ ³	$V_{DD} = 400\text{V}, V_{GS} = 18\text{V}$	-	35	-	ns
上昇時間		$I_D = 10\text{A}$	-	36	-	
ターンオフ遅延時間	$t_{d(off)}$ ³	$R_L = 40\Omega$	-	76	-	
下降時間	t_f ³	$R_G = 0\Omega$	-	22	-	

立上り/下り時間

その他に考えるべき事



- ☞ PVシステムの設計では他にも考慮する重要事項がある
 - ☞ 部品や配線の定格
 - ☞ 定格に見合うよう適切に使用しないと部品の故障や破壊、最悪、発熱から火災事故を引き起す可能性がある。
 - ☞ 熱
 - ☞ スイッチングデバイス、ダイオード、コイル(インダクタ)が熱を発生し、部品(特にコンデンサ)の劣化を早めるため、適切な廃熱処理が必要。
 - ☞ ノイズ
 - ☞ スイッチングの効率を上げると高周波ノイズが発生し誤動作や電波障害を引き起すため、ノイズ軽減策が必須。
 - ☞ 故障
 - ☞ パワコンの寿命を決めるのはアルミ電解コンデンサ(ケミコン)と電動ファン。特にケミコンは温度が10度上がると寿命が半減。廃熱処理とファンレスが長寿命化の肝。