

等価回路(リアクトル, 変圧器)と交流計算を学ぶ  
このあとやる誘導モータに応用していきますので是非  
基本形を覚えてください

## エネルギー変換工学

### 参考図書:



小山 純・樋口 剛(著)

定価 3,190 円 (本体 2,900 円+税)

A5判/196ページ

刊行日: 2008年01月20日

ISBN: 978-4-254-22907-3 C3354

[カートに入れる](#)

[ネット書店で購入する](#) amazon e-hon 紀伊國屋書店 honto  
Honya Club Rakutenブックス

[書店の店頭在庫を確認する](#) 紀伊國屋書店 旭屋倶楽部



- 先週は 電流と磁束の関係を勉強しました(コイル電流と磁束の関係がつかめたと思います)
- このインダクタンス=リアクトルがどんなところで使われるか, 送配電と電源回路を例にして学びます
- 送配電の個所ではついでに 力率について学びます
- 電源回路ではついでに, 昇降圧回路について学びます
  
- 次に変圧器の等価回路を学びます. 変圧器は1次側, 2次側があります  
2次側の電圧, 電流は巻き数比になりますが, 2次側の電流, 電圧を1次側に換算することで  
1次側電源からみたシステム全体の挙動を計算できるようにします.
  
- この等価回路の考え方を頭に入れておくことで, 今後の回転機(特に誘導機)の挙動を把握できるようになりますので頑張ってついてきて下さい

リアクトルって何のためにあって、どこでつかうの？  
等価回路は簡単なんだけど、奥深い製品です



<http://www.passivedevice.jp/1c-dc-reactor.html>

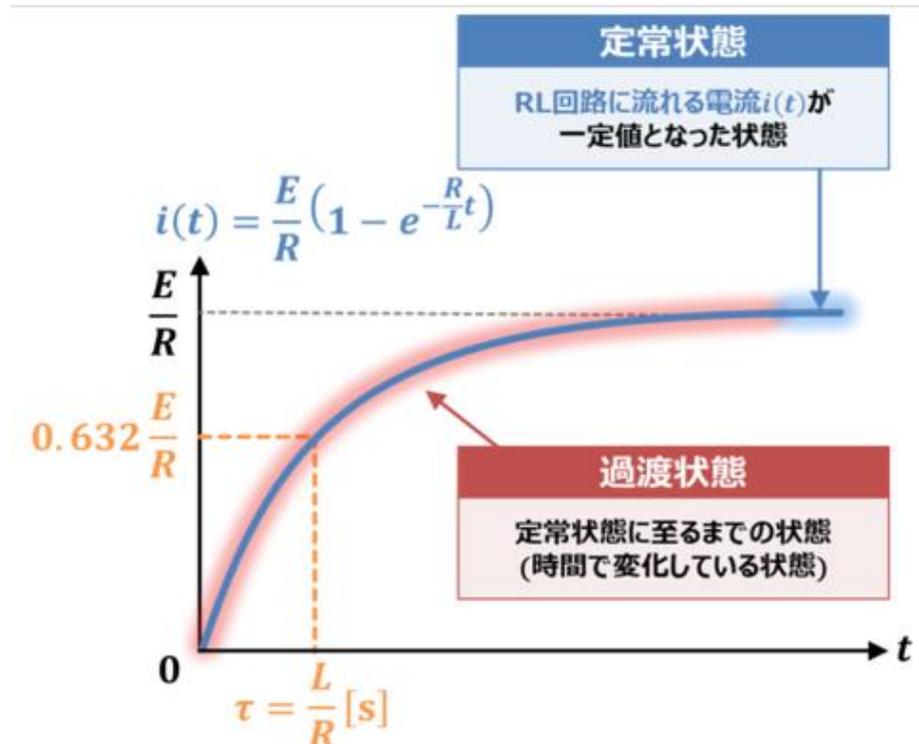
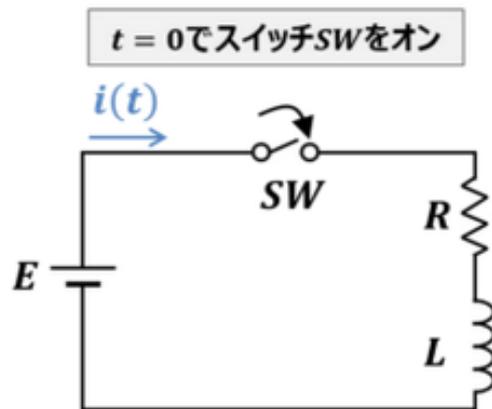
$Z = R + j\omega L$  R:抵抗,  $\omega$ ;周波数 L;インダクタンス

$j\omega L =$  高周波には大きな値, 直流では0  
ノイズ(=高周波)を減らすことができる

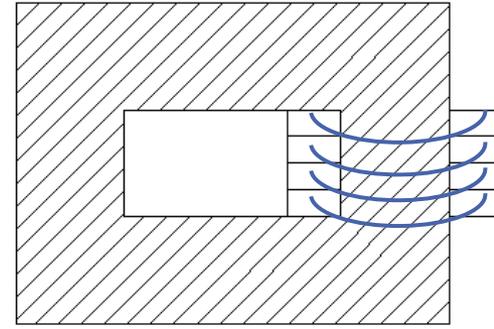
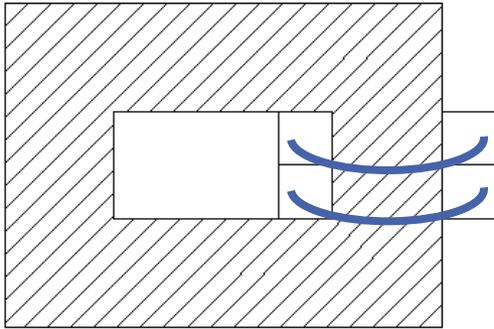
10ターンで  $R=1\Omega$ ,  $L=1\text{H}$  のリアクトルがあったとする 時定数 ( $L/R$ ) は1秒である

ではコイルの総断面積は同じままで、これを100ターンにした(細い線に変えて10倍巻いた)場合はどうなるか

1. 時定数は長くなる
2. 時定数は短くなる
3. 時定数はかわらない



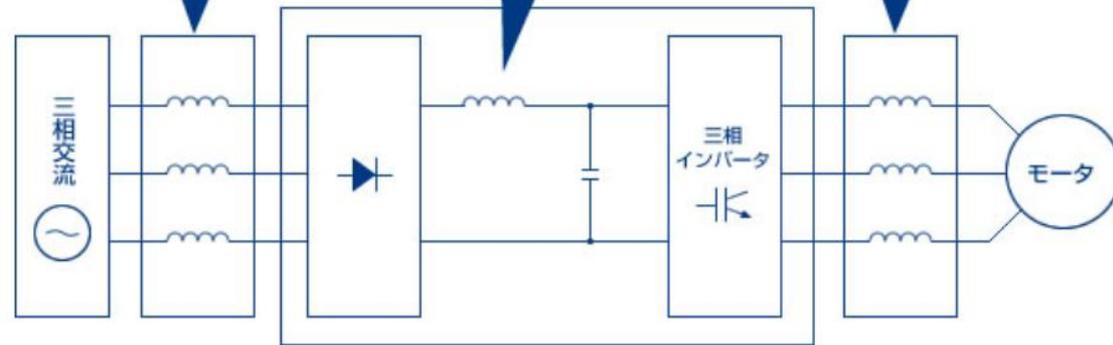
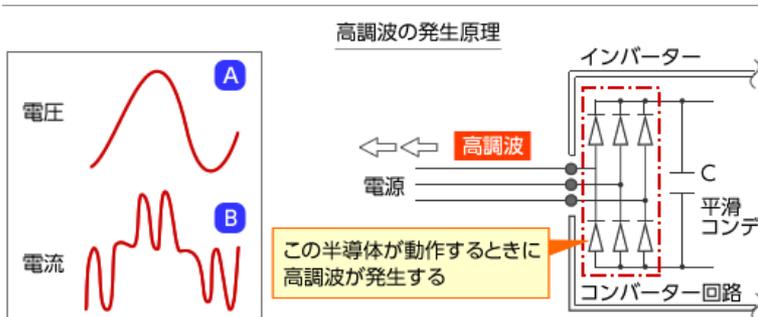
- 便利なので覚えて: ターン数の2乗比で, 抵抗もインダクタンスも変化します



R: ターン数2倍になると, コイル断面積が $1/2$ で長さが2倍なので抵抗は4倍

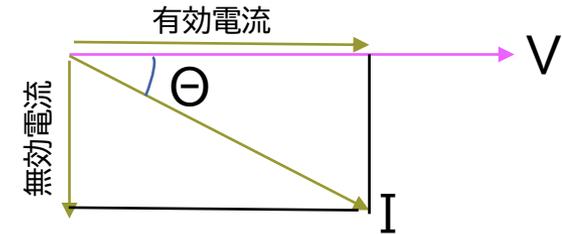
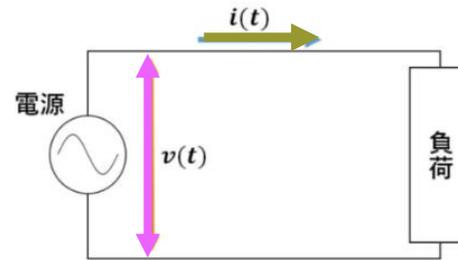
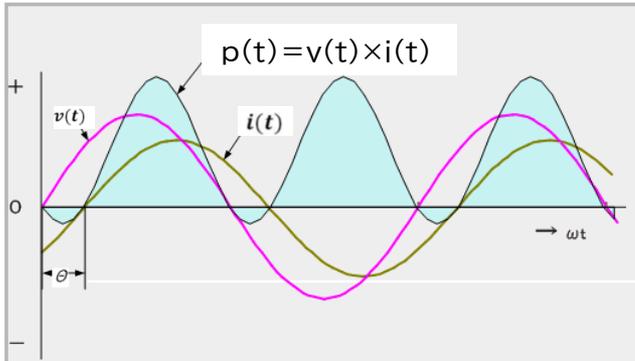
L: ターン数が2倍になると同じ電流で作る磁束が2倍で, 鎖交する磁束も2倍で4倍

鉄道、建設機械や工作機械などのモータードライブ用インバーター

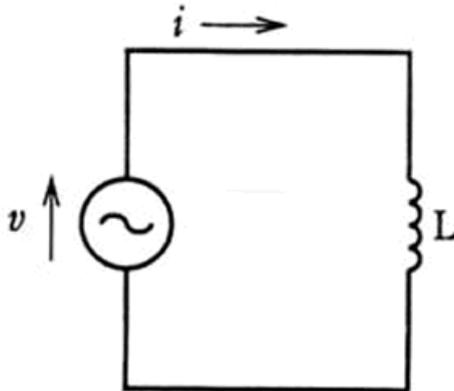


引用:<https://www.kitagawa-denki.co.jp/products/reactor/>

- 改善の前に そもそも力率って？
- 磁束を作ると電圧に対して電流が遅れる, 回路にLがはいると位相が遅れる
- 電圧と電流の内積が実際に取り出される電力になる.
- $P = V I \cos\theta$  で $\cos\theta$ を力率と呼ぶ,  $\theta$ は電圧と電流の位相差,



問題 下図のような回路の電流電圧波形は, ベクトルで書くと?, これってどんな機器?



## 問題1

$P = V I \cos\theta$  で  $\cos\theta$  を力率とよびます

力率が50%で100Aの電流が流れているとする

- ①有効電流は何Aか？
- ②無効電流は何Aあるか？

## 問題2

超伝導コイルに100Aの電流が流れてます。無効電流は何A？

# モータがあると力率が下がる？

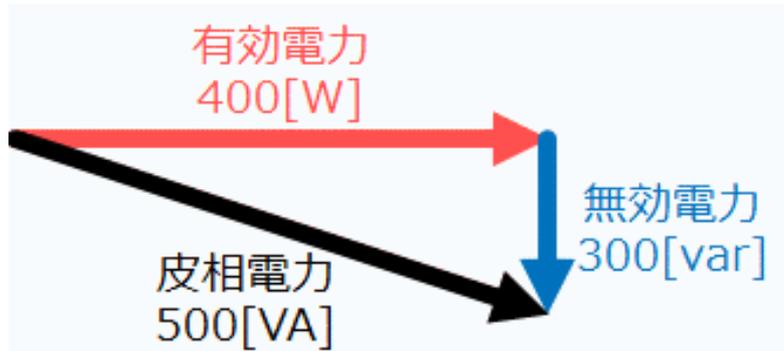
力率80%だと 電流の80%しか仕事しない  
 $P = V I \cos\theta$  力率の分だけ電流を多く流す必要があります  
 電源系統の変圧器の電線や遮断設備の容量が増えるので..

100/200/220/230V 50/60/60/60Hz

極数 [P]	出力 [kW]	わく番号	電圧 [V]	周波数 [Hz]	負荷特性									定格電流 [A]	定格回転速度 [min <sup>-1</sup> ]	最大トルク [%]	始動トルク [%]	始動電流 [A]	効率クラス [IEコード]
					50%負荷			75%負荷			100%負荷								
					電流 [A]	効率 [%]	力率 [%]	電流 [A]	効率 [%]	力率 [%]	電流 [A]	エネルギー消費効率 [%]	力率 [%]						
0.75	80M	200	50	2.12	80.8	63.3	2.57	82.9	76.3	3.12	82.8	83.8	3.2	2855	348	378	23.7	IE3	
		200	60	1.89	81.4	70.5	2.39	83.3	81.6	2.99	82.9	87.3	3.1	3430	327	312	20.8		
		220	60	1.92	80.4	63.7	2.33	83.3	76.1	2.82	83.8	83.2	2.9	3465	390	382	22.9		
		230	60	1.96	79.8	60.2	2.33	83.1	73.0	2.77	84.1	80.9	2.9	3470	423	419	24.0		
1.5	90L	200	50	3.76	89.3	64.5	4.70	90.0	76.8	5.80	89.4	83.5	6.0	2910	343	367	54.3	IE3	
		200	60	3.31	89.6	73.0	4.36	90.0	82.8	5.54	89.3	87.4	5.6	3495	305	286	46.7		
		220	60	3.35	89.2	65.8	4.21	90.4	77.5	5.21	90.2	83.8	5.4	3515	368	348	52.1		
		230	60	3.42	88.9	61.9	4.20	90.4	74.4	5.11	90.4	81.5	5.3	3520	400	382	54.9		
2.2	90L	200	50	5.13	90.4	68.5	6.58	90.5	79.9	8.28	89.5	85.7	8.4	2895	316	379	78.0	IE3	
		200	60	4.57	90.7	76.5	6.16	90.6	85.3	7.95	89.6	89.2	8.2	3480	280	291	65.0		
		220	60	4.56	90.7	69.7	5.89	91.2	80.7	7.40	90.8	85.9	7.6	3505	337	354	72.8		
		230	60	4.62	90.5	66.0	5.83	91.4	77.8	7.21	91.1	84.1	7.4	3515	367	388	76.8		
3.7	112M	200	50	7.65	90.9	76.9	10.3	90.9	85.8	13.2	89.9	89.9	13.4	2905	315	290	120	IE3	
		200	60	7.12	90.9	82.7	9.88	90.8	89.3	13.0	89.8	91.7	13.2	3490	280	231	100		
		220	60	6.91	90.8	77.4	8.77	91.4	86.0	11.9	90.9	89.8	12.2	3515	338	282	111		
		230	60	6.89	90.7	74.4	9.07	91.5	84.0	11.5	91.3	88.6	11.8	3515	368	309	117		
5.5	132S	200	50	12.2	91.0	71.9	15.9	91.5	81.9	20.1	91.2	86.8	20.6	2940	325	244	177	IE3	
		200	60	10.9	90.6	80.4	15.0	91.3	87.2	19.4	90.9	90.1	19.8	3525	285	234	165		
		220	60	10.7	90.2	74.5	14.2	91.5	83.5	18.0	91.5	87.6	18.4	3540	343	284	185		
		230	60	10.8	89.9	70.7	14.0	91.5	80.9	17.5	91.7	85.9	18	3545	373	311	195		

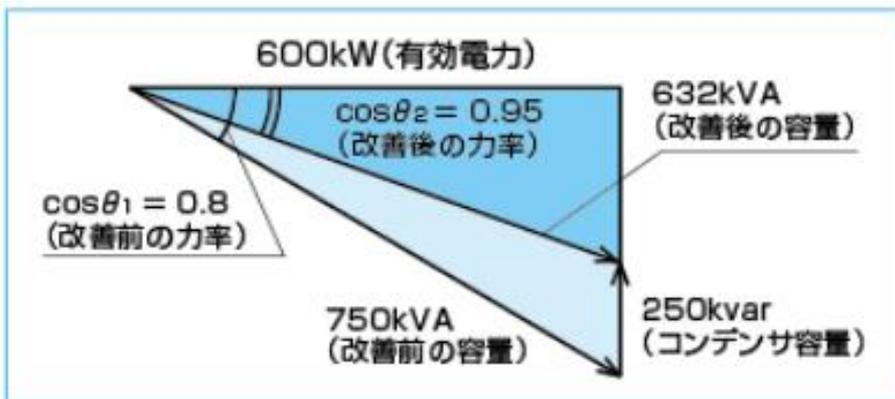
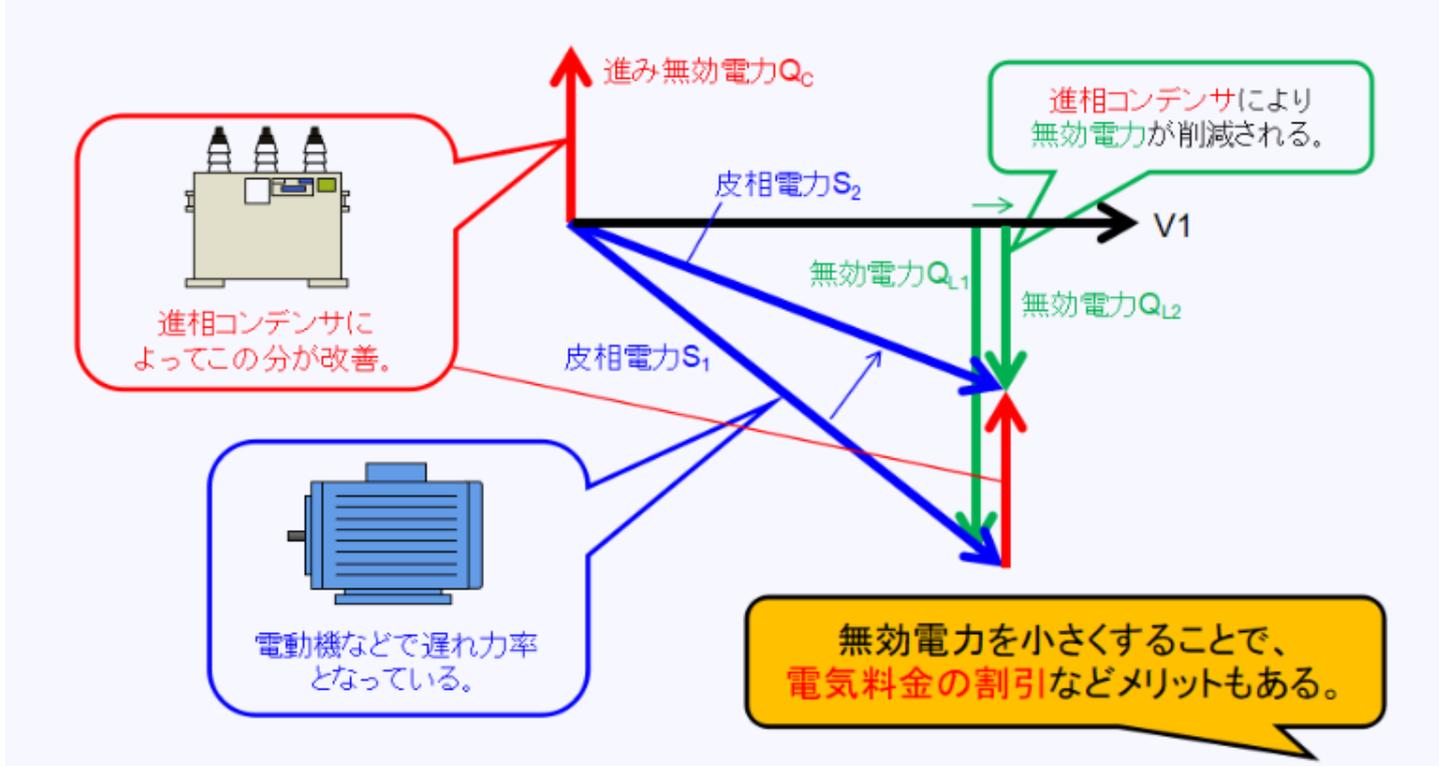
三菱モータ カタログより

<https://dl.mitsubishielectric.co.jp/dl/fa/document/catalog/i.motor/l001040/l01040.pdf>



名前	単位	意味
有効電力 P	W(ワット)	実際に仕事する力(モーター回す、照明つけるなど)
無効電力 Q	var(ヴァール)	エネルギーを一時的に溜めたり戻したりするだけ(主にコイルやコンデンサ)
皮相電力 S	VA(ボルトアンペア or ブイエー)	電源が供給してる“見かけ上”の電力(PとQを掛け合わせたもの)

# 対策として進相コンデンサを入れます

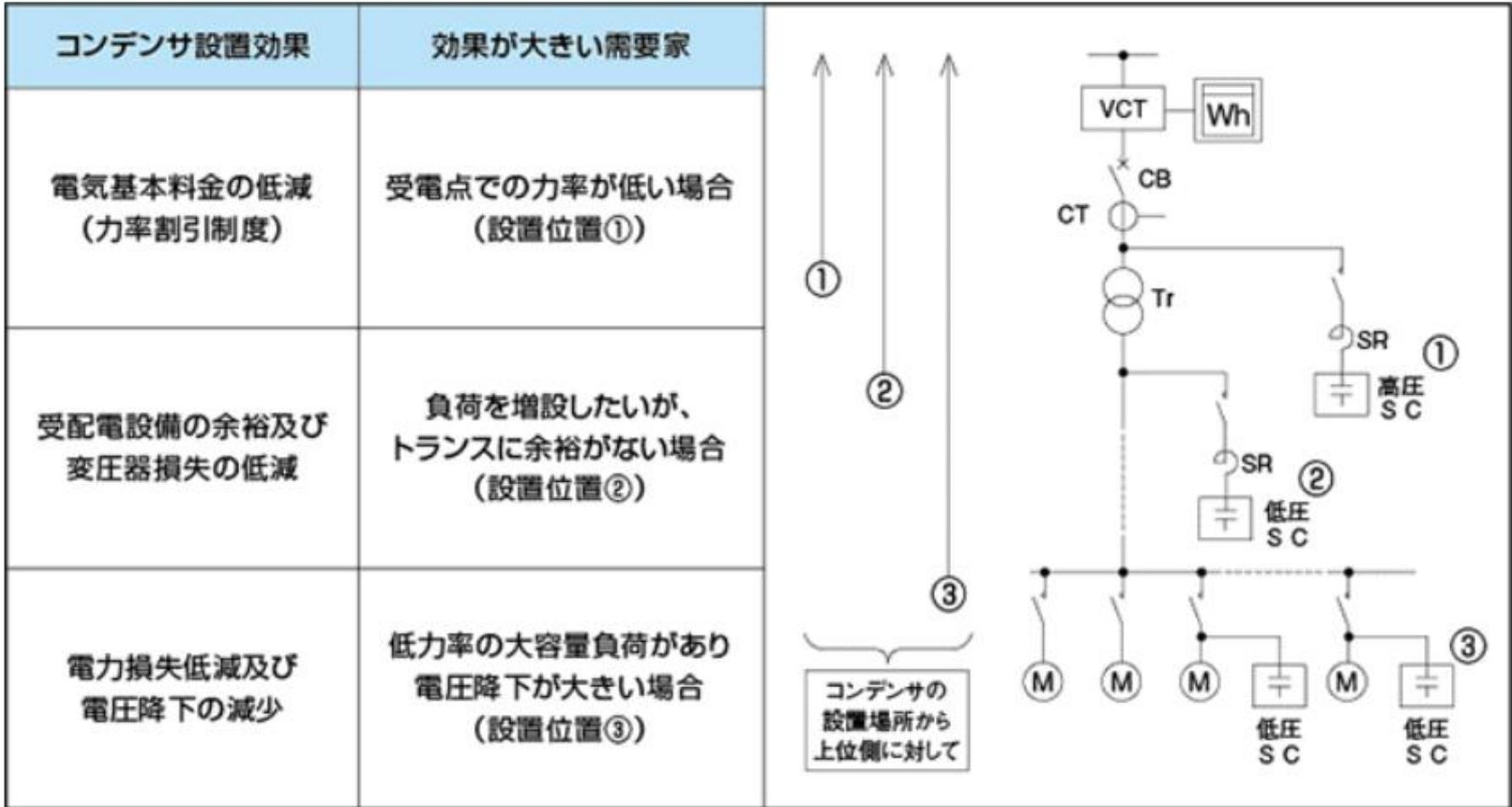


varからコンデンサ容量Fへの変換

$$Q_c = IV \quad I = \frac{V}{Z} \quad Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$$Q_C = V^2 \cdot 2\pi f C$$

# 進相コンデンサを入れる場所で狙いが違います

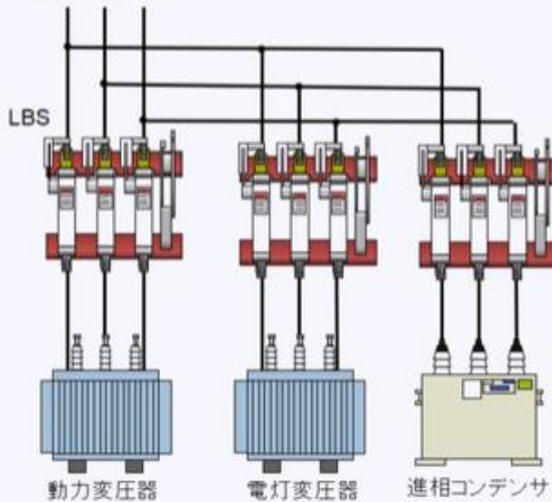


# リアクトルの用途(突入電流の抑制, 高調波ひずみの低減)

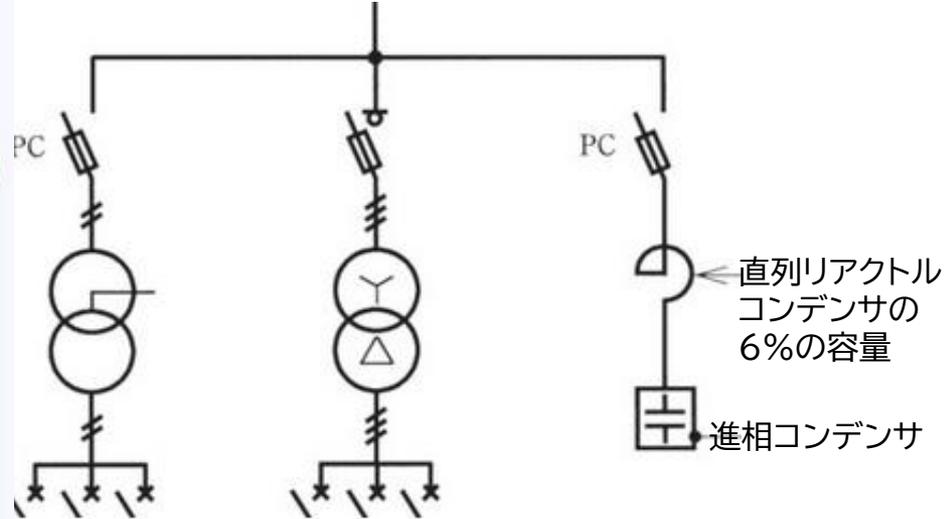
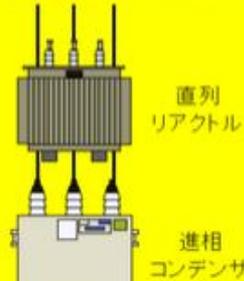
## 高圧進相コンデンサについて

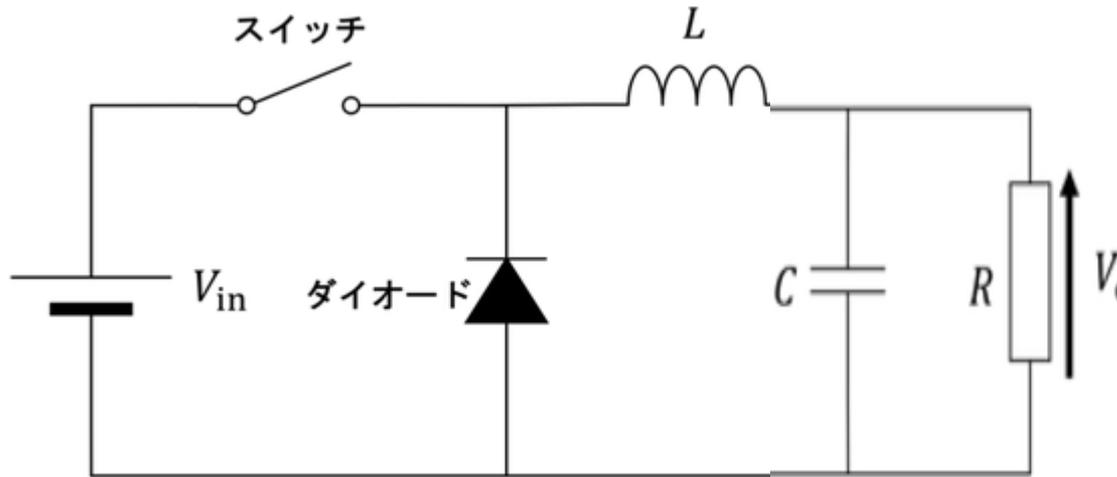
高圧進相コンデンサとは、需要家の高圧受電設備に設置し、力率を改善するために使用される電気機器。

6.6kV電源など



変圧器など負荷と並列に接続して使用する。基本的にはさらに直列リアクトルと併用。

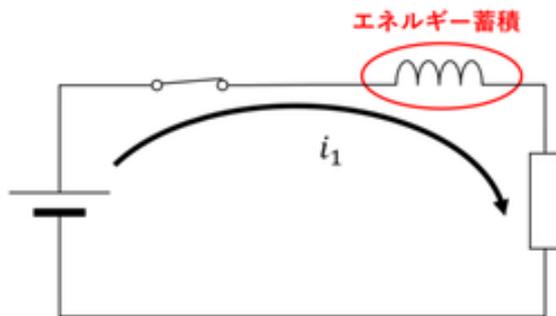




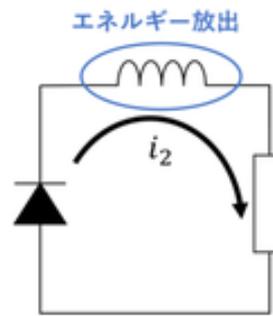
$$V_{out} = V_{in} \cdot D$$

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T}$$

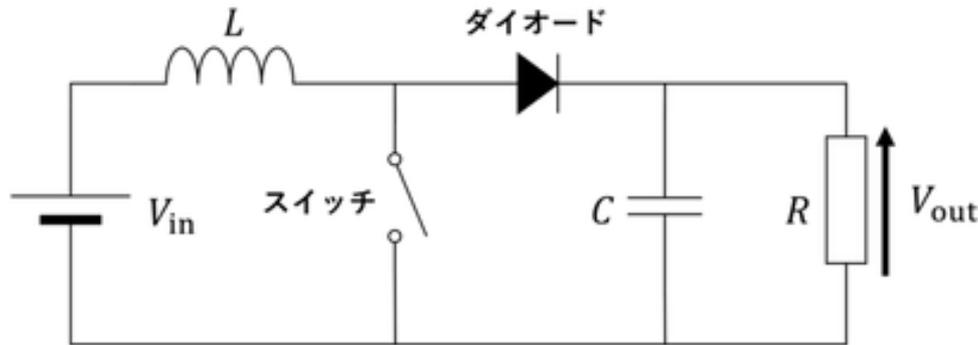
スイッチON



スイッチOFF



$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{T_{on}}{T}$$



ONの時

$$\Delta I_{\text{on}} = \frac{V_{\text{in}}}{L} \cdot T_{\text{on}}$$

OFFの時

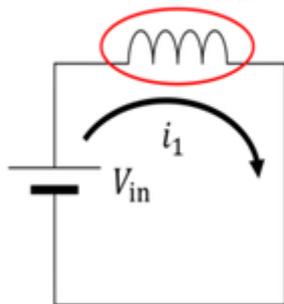
$$\Delta I_{\text{off}} = \frac{V_{\text{out}} - V_{\text{in}}}{L} \cdot T_{\text{off}}$$

$\Delta I_{\text{on}} = \Delta I_{\text{off}}$  から

$$V_{\text{out}} = \frac{V_{\text{in}}(T_{\text{on}} + T_{\text{off}})}{T_{\text{off}}}$$

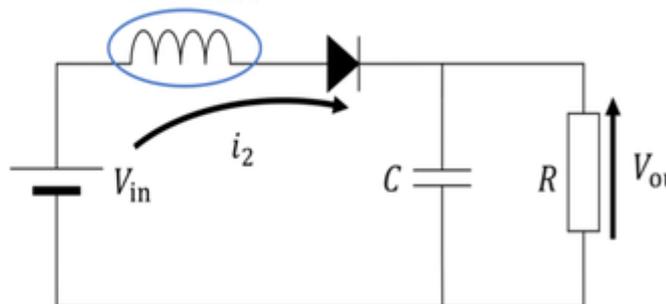
スイッチON

エネルギー蓄積



スイッチOFF

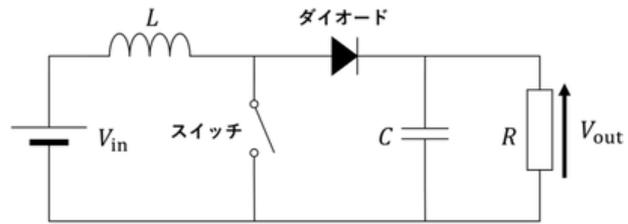
エネルギー放出



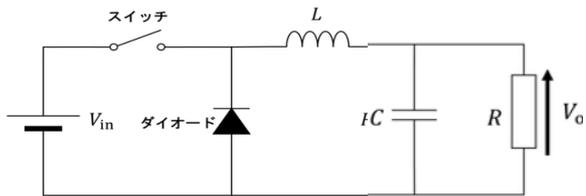
$D = \frac{T_{\text{on}}}{T}$  でデューティDを定義

$T_{\text{off}} = T - T_{\text{on}} = T(1 - D)$  より

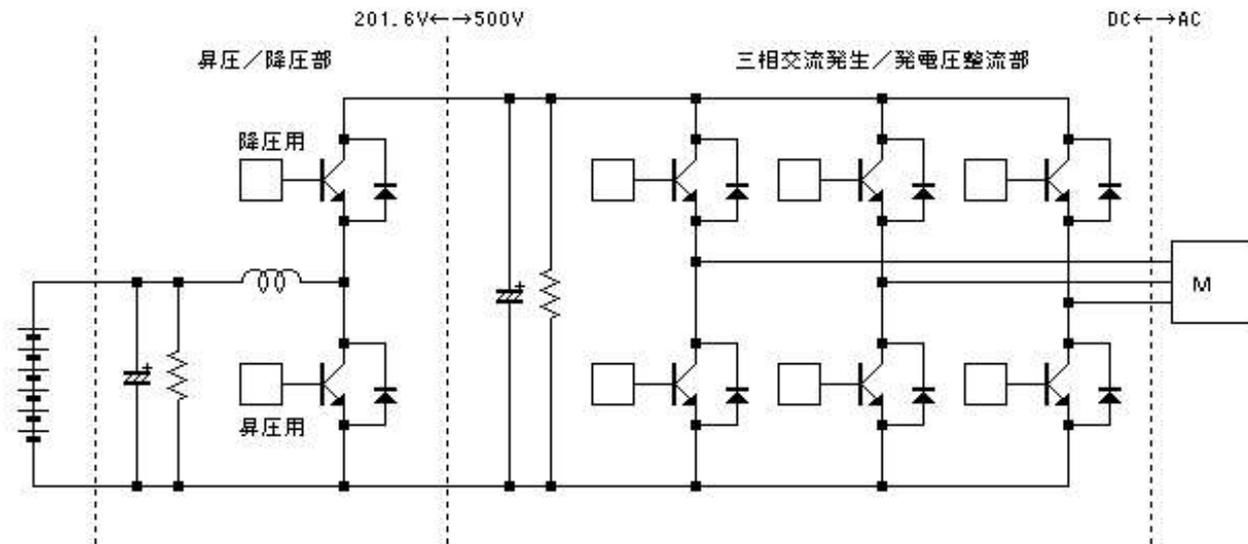
$$V_{\text{out}} = \frac{V_{\text{in}}}{1 - D}$$



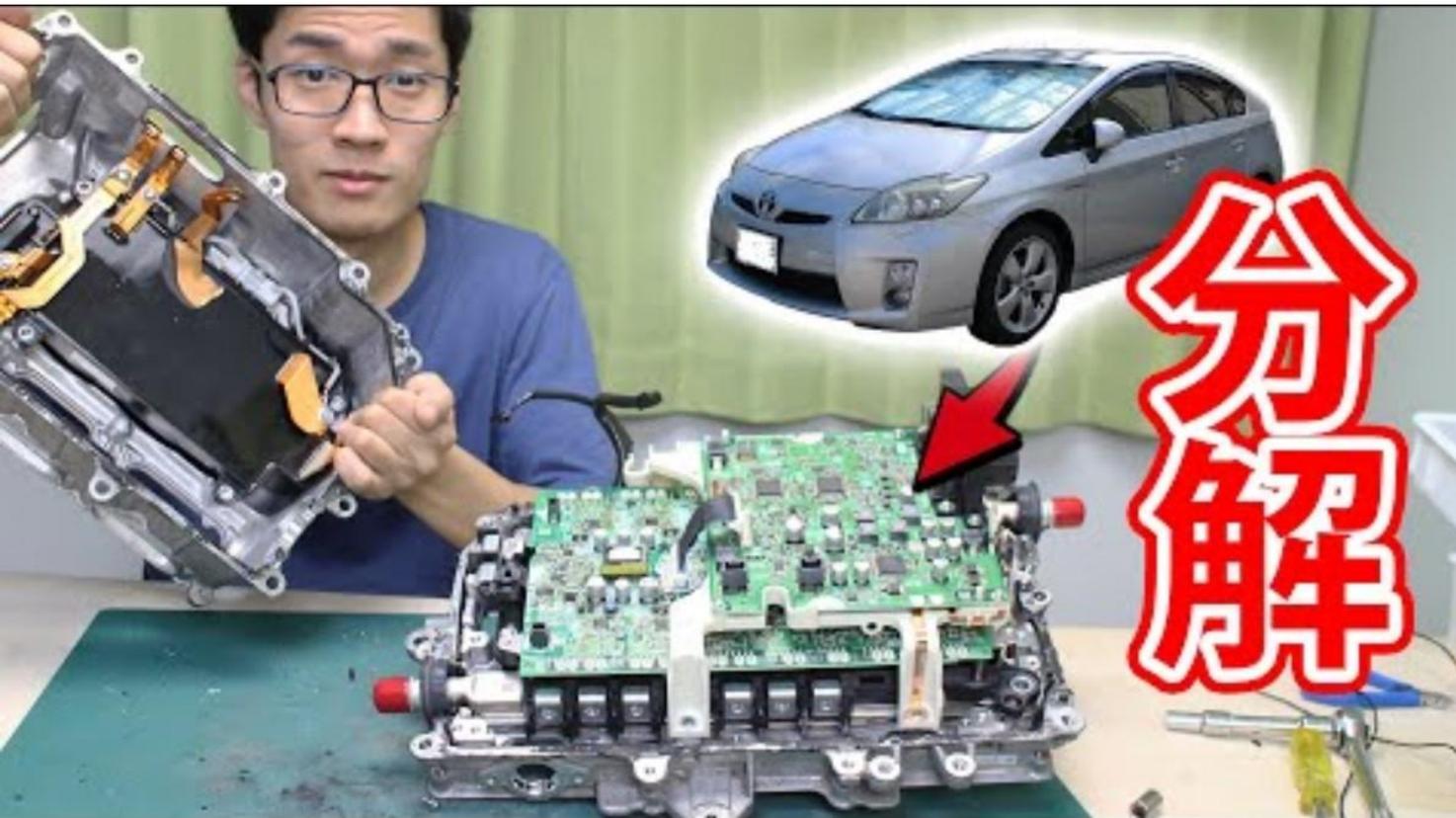
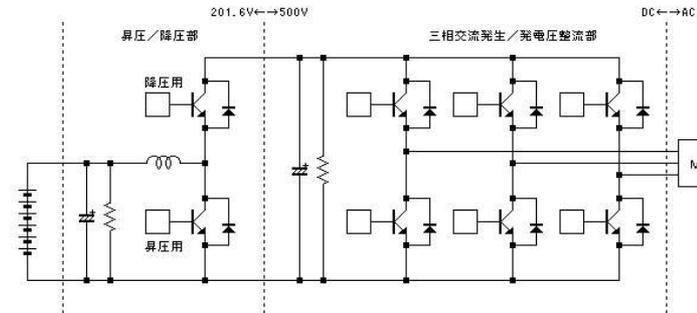
昇圧



降圧



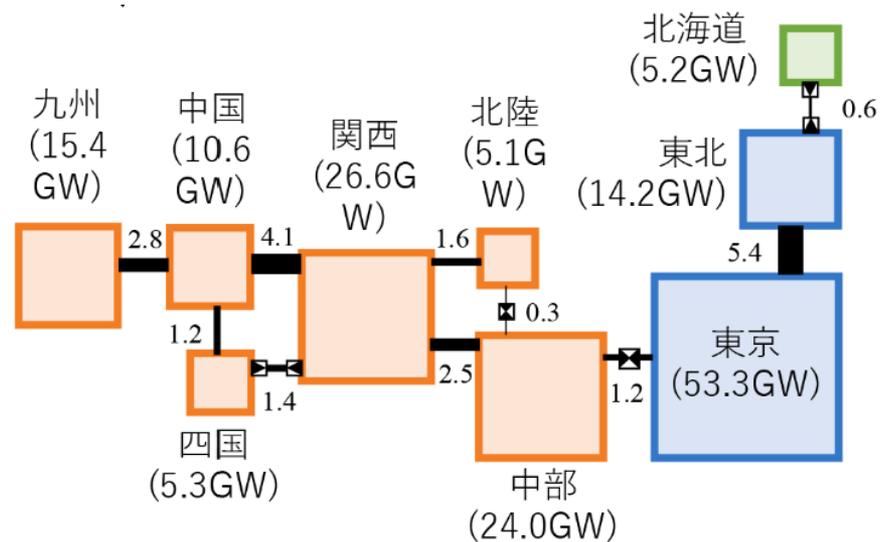
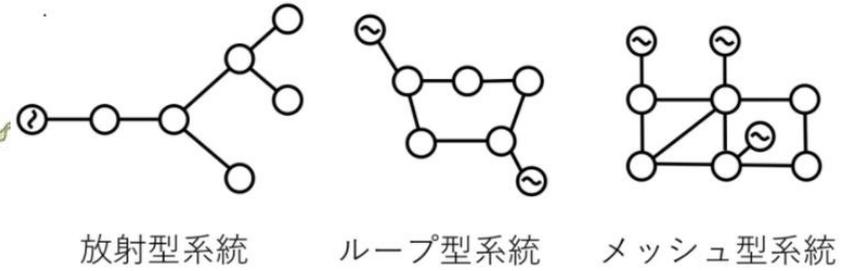
# “イチケン”さんで検索して のYoutube見てみましょう



フールを未然に防止することが可能になりました。

## ●全国基幹連系系統 (2014年7 月末現在)

- 50万V送電線
- 15.4~27.5万V送電線
- ..... 直流連系線
- 主要変電所、開閉所
- 周波数変換所 (F.C.)
- 交直変換所





## 世界の再生可能エネルギーと電力システム 全 集 📖 ペーパーバック - 2021/2/12

安田 陽 (著)

3.9 ★★★★☆ 34個の評価

[すべての形式と版を表示](#)

はじめての本の購入で10%ポイントプレゼント 👉 エントリーはこちら

この本は、「世界の再生可能エネルギーと電力システム」シリーズの全5巻、「風力発電編(第2版)」、「電力システム編」、「経済・政策編」、「系統連系編」、「電力市場編」を1冊にまとめた全集です。

本シリーズでは、再生可能エネルギーと電力システムの状況、将来予測、コストと便益、社会受容性と電力に関する情報(停電やコスト、将来計画など)、電力市場の仕組みなどについて、図表を豊富に用いて比較分析しています。

再生可能エネルギーと電力システムをめぐる世界と日本国内の状況の違い、その状況の違いを生みだしている誤った認識とあるべき姿について、しっかりと科学的に論じています。「2050年カーボンニュートラル」という国家目標を担う再生可能エネルギー、そしてそれに関わる電力システムについて網羅的に理解するのに最適の1冊です。

🗨️ [この商品に関する問題を報告する](#)

画像にマウスを合わせると拡大されます



本の長さ      言語      出版社      発売日

**30日間無料体験**  
この注文でお急ぎ便、お届け日時指定便を無料体験 [Amazonプライム無料体験について](#)

Kindle版(電子書籍)  
**¥0** kindleunlimited  
または¥2,200(22pt)  
で購入

ペーパーバック  
**¥5,500** (55pt)

その他の中古品と新品 ¥4,719から ▼

配達

受取スポット

**新品:** ¥5,500 税込 👉

ポイント: 55pt (1%) [詳細はこちら](#)

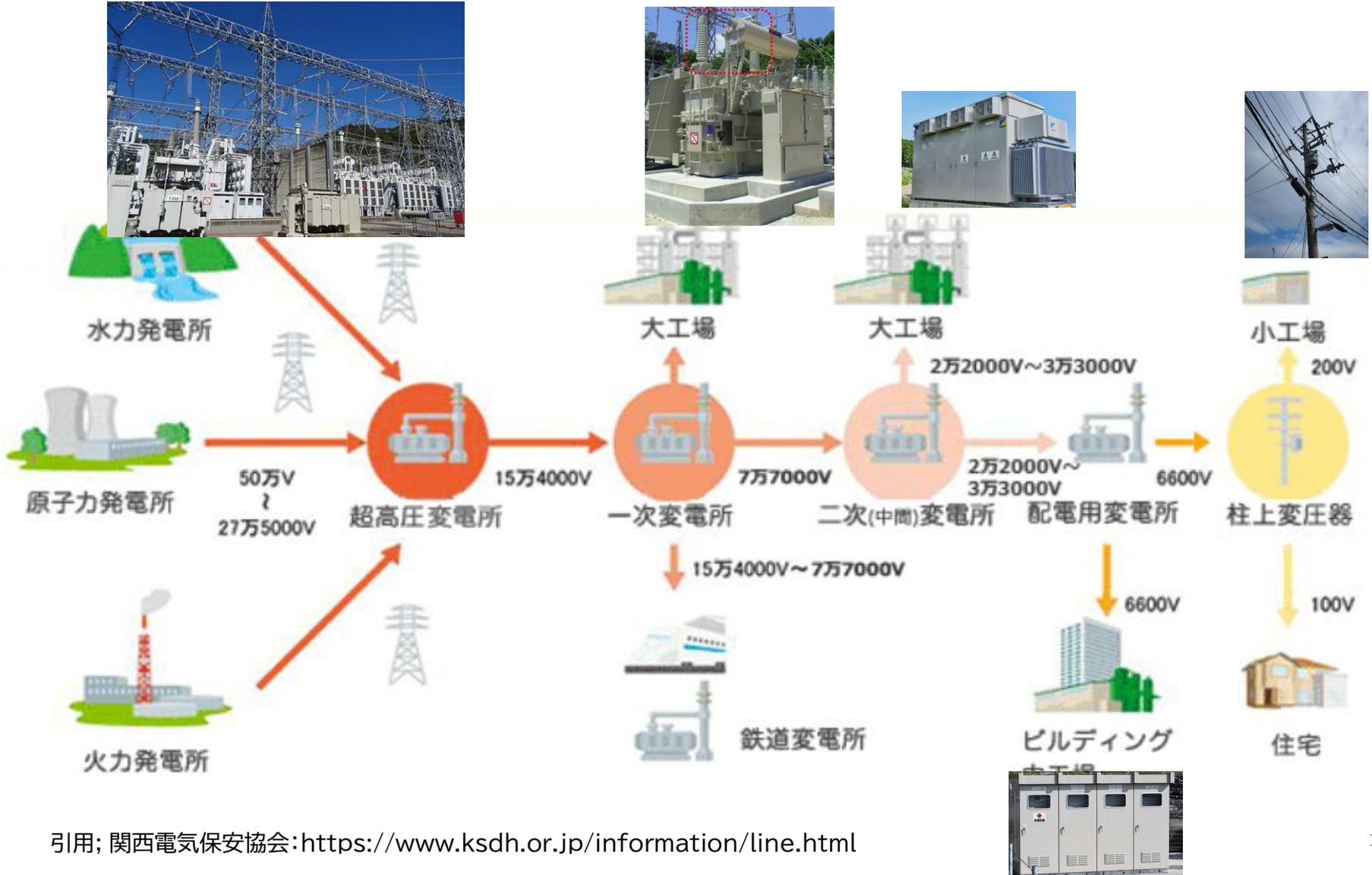
**無料配送** 4月29日 月曜日にお届け

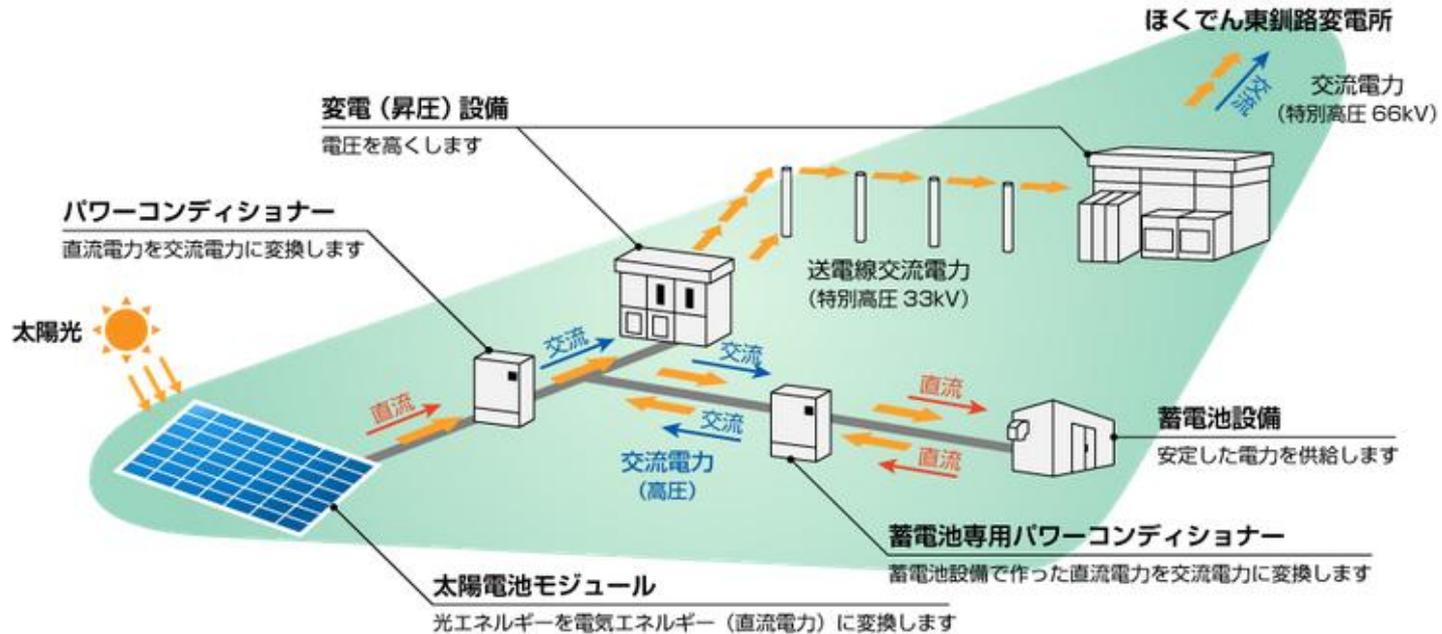
📍 お届け先岡山 700-0931-お届け先の更新

**在庫あり。** [在庫状況について](#)

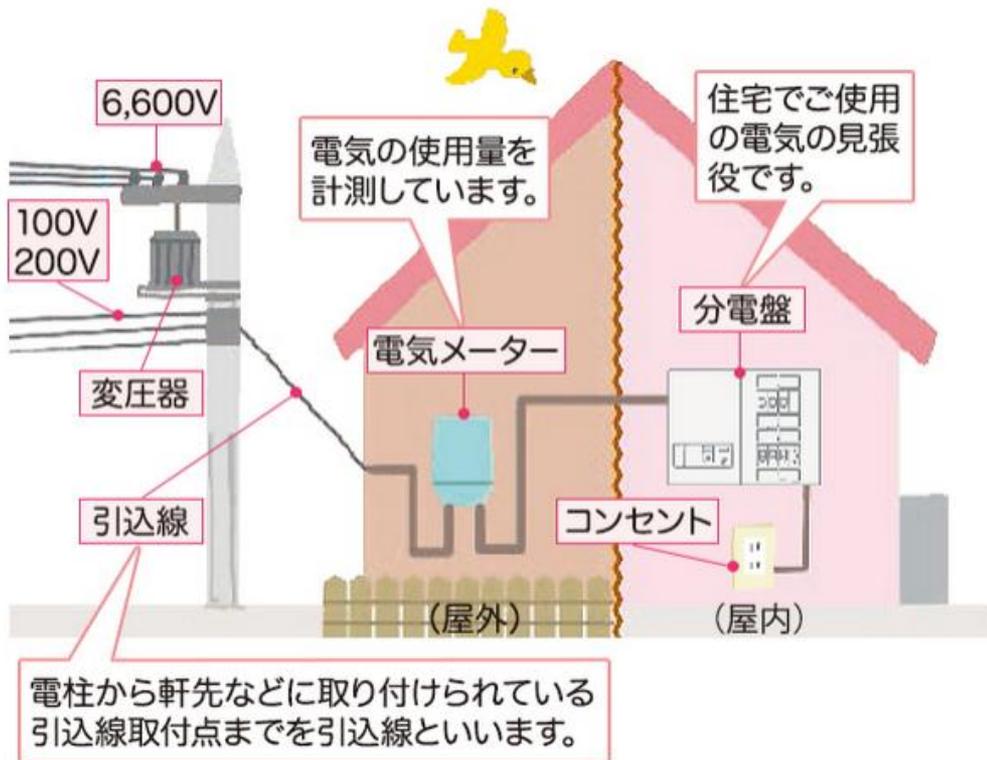
数量: 1 ▼

発電所の電圧は500kV~275kV 送電した後は変圧して、使う

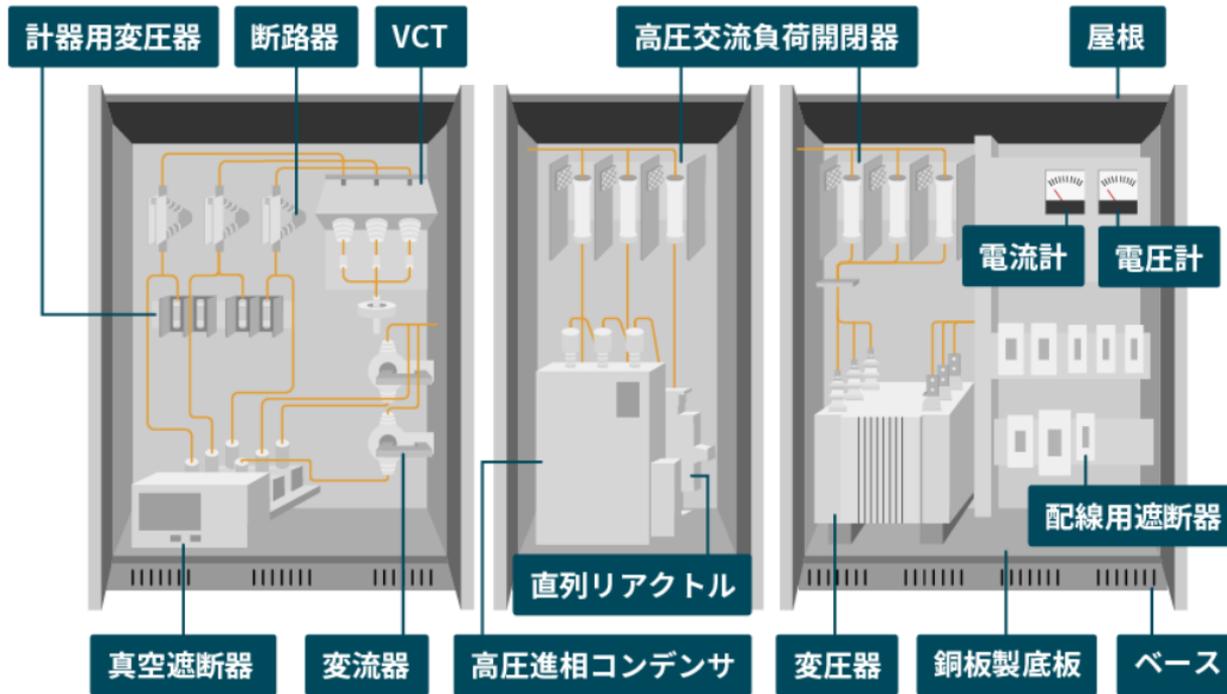


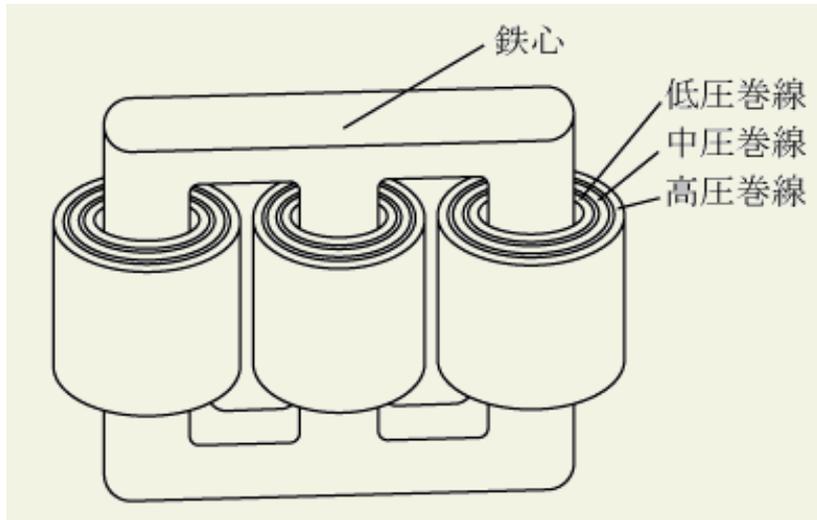


名称	釧路町トリトワシ原野太陽光発電所
所在地	北海道釧路郡釧路町字トリトワシ原野（釧路町有地）
運用期間	2017年4月～（20年間）
発電事業者	株式会社 大林クリーンエナジー
設計・施工	株式会社 大林組
着工	2015年（平成27年）5月
発電開始	2017年（平成29年）4月

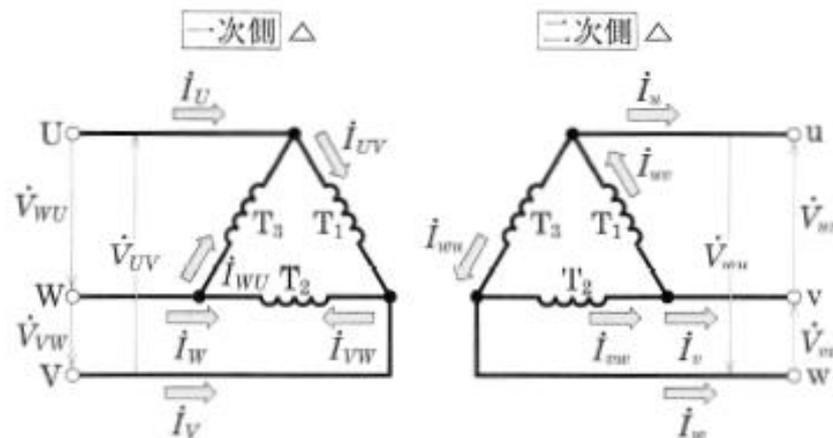
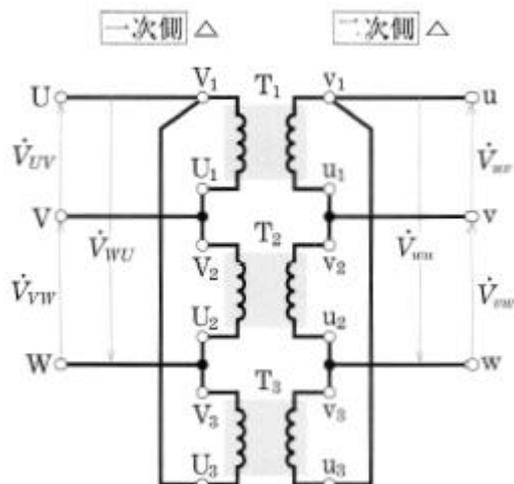


# 工場やビルは、変圧器、開閉器、リアクトルなど格納したキュービクルで受電





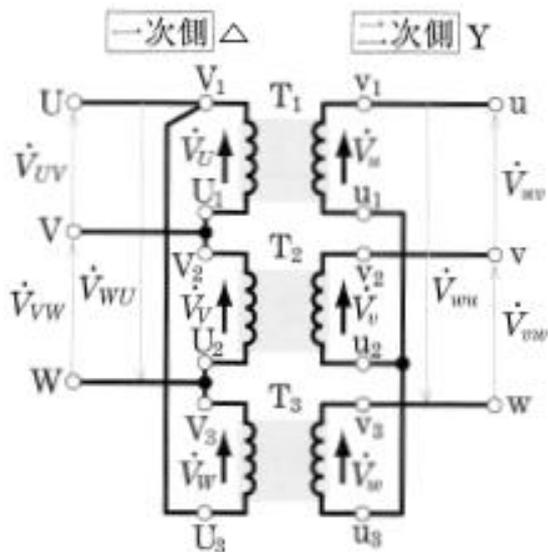
# 3相 変圧器 (Δ結線—Δ結線)



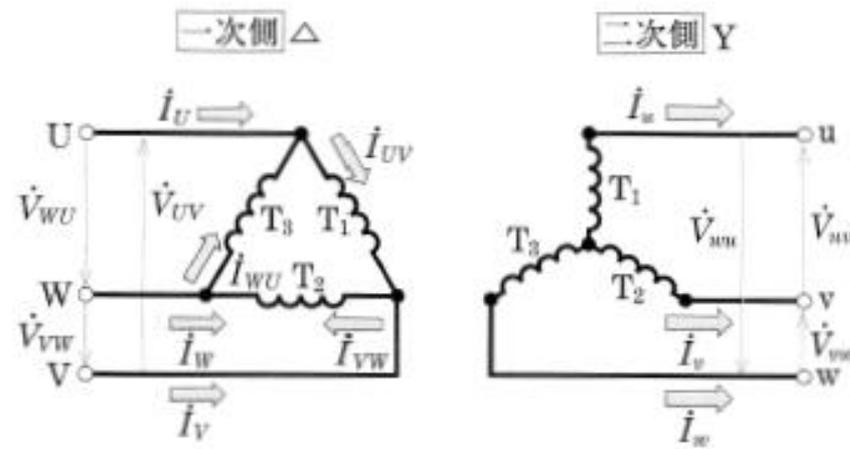
## Δ—Δ結線の特徴

- 第3高調波は循環するため外部に出ない。
- 1台故障してもV—V結線として使用できる。
- 中性点が接地できない。(接地保護が困難)

# 3相 変圧器 (Δ-Y結線)



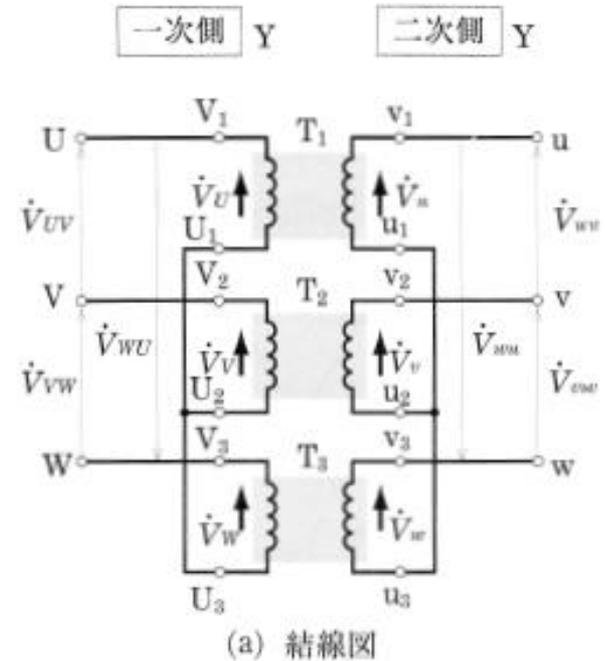
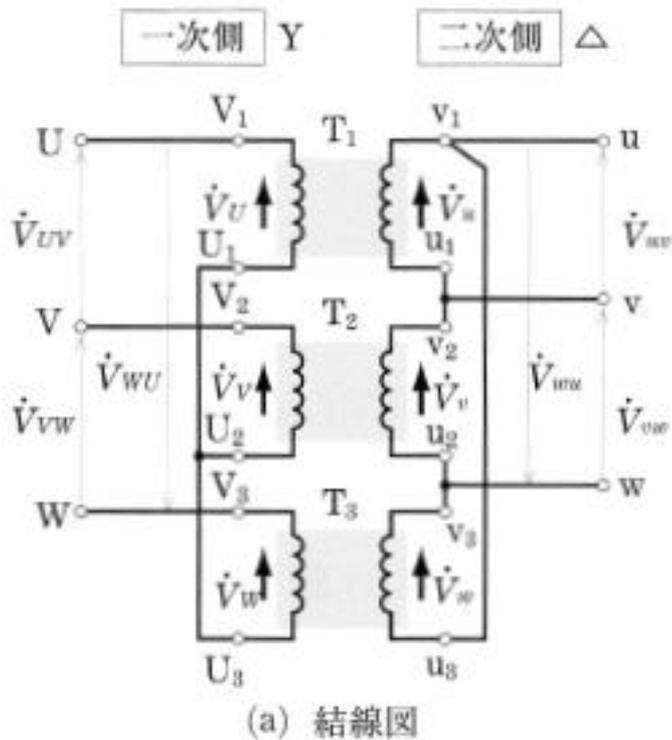
(a) 結線図



(b) 接続図

## Δ-Y結線の特徴

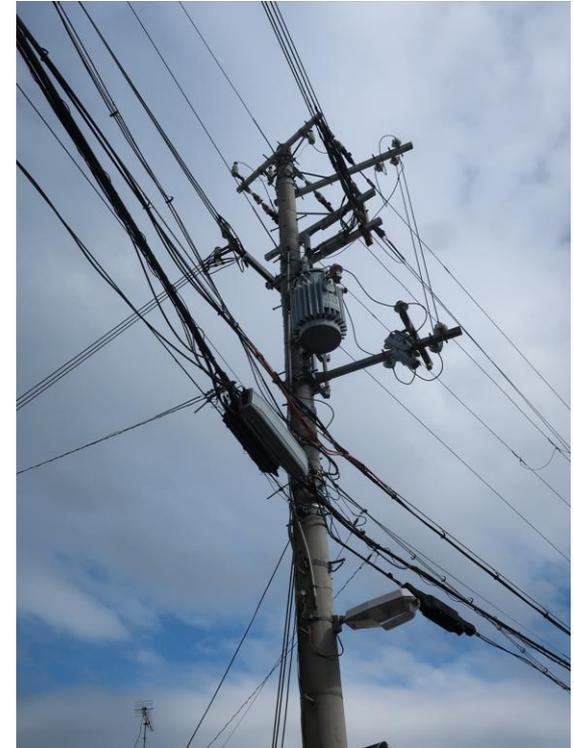
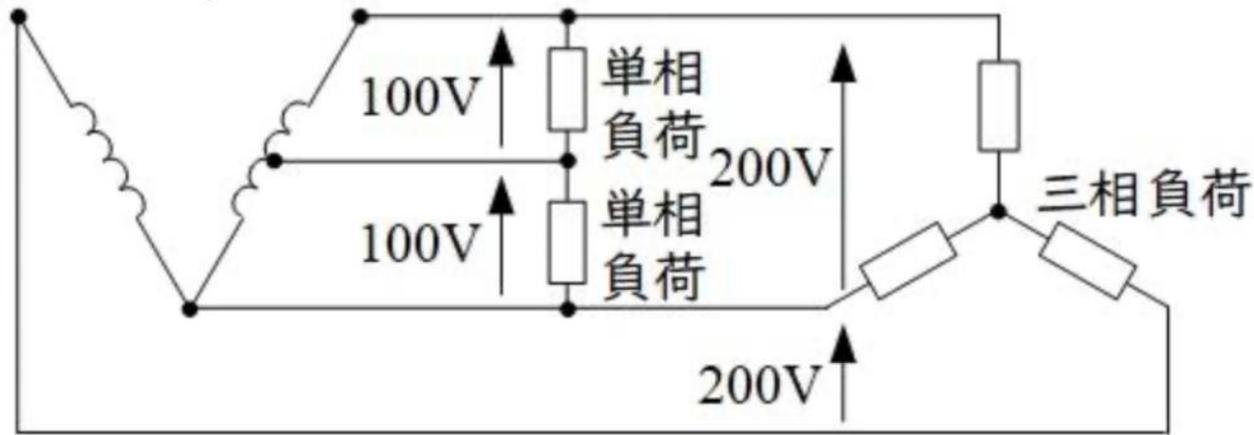
- 中性点が接地できる。(接地保護が容易)
- 一次電圧に対し二次電圧の位相が30° 進みになる。
- 発電所の昇圧用に使われる。



## Y-Δ結線の特徴

- 中性点が接地できる。(接地保護が容易)
- 一次電圧に対し二次電圧の位相が $30^\circ$  遅れになる。
- 発電所の降圧用に使われる。
- 中性点が接地できる。(接地保護が容易)
- 第3高調波が発生するため誘導障害(通信障害)を起こす
- そのためほとんど使用されない。使用する場合は、Δ結線を加えたY-Y-Δ結線が使われる。

# 3相 変圧器 (V結線)



巻き数に比例して電圧が変わる  
 巻き数に逆比例して電流が変わる

$$V_2 = N_2/N_1 \cdot V_1$$

$$I_2 = N_1/N_2 \cdot I_1$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi_M}{dt}$$

$N_1$ : ターン数

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi_M}{dt}$$

$N_2$ : ターン数

$V_1 = \sqrt{2} V_1 \text{COS}\omega t$  ( $V_1$ は実効値)  
 $= -e_1$  (電磁誘導はかけた電圧の逆向き)  
 鉄心中の磁束の最大値を $\phi_M$ とすると  
 $\sqrt{2} V_1 \text{COS}\omega t = N_1 \frac{d\phi_M}{dt}$

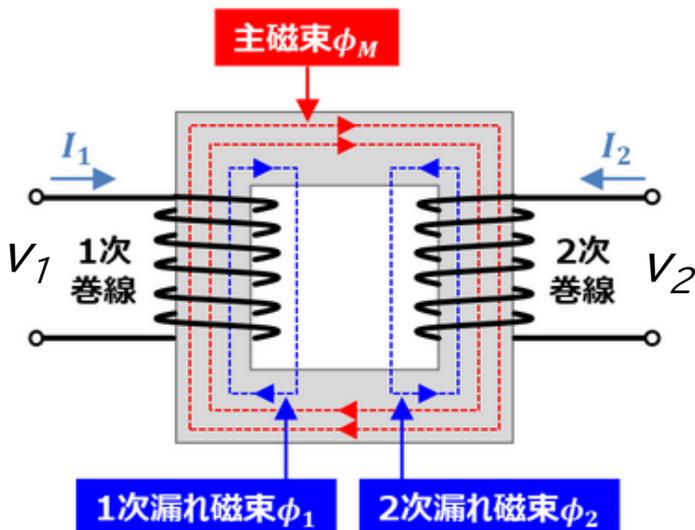
$$\Phi_M = \sqrt{2} V_1 \cdot \sin\omega t / (\omega N_1)$$

$$= \sqrt{2} / (2\pi f \cdot N_1) V_1$$

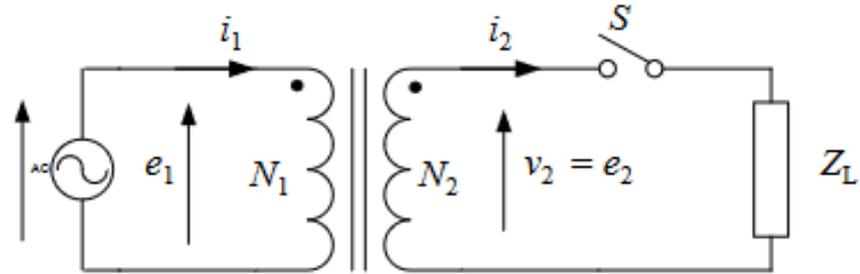
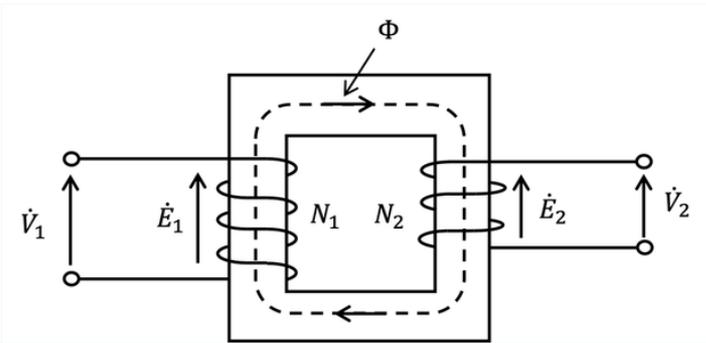
$$= V_1 / (4.44 f N_1)$$

$$V_1 (\text{実効値}) / f = 4.44 N_1 \Phi_M$$

電圧を周波数で割ると、  
 最大磁束×ターン数の4.44倍の値になる  
 (関東と関西で磁束量が違う)



# 変圧された先の負荷は1次側からどうみえるか？（理想変圧器の場合）

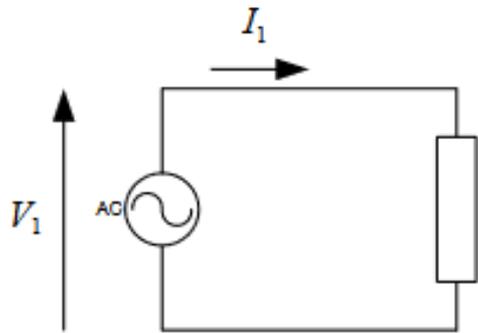


$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

$$V_2 = N_2/N_1 \cdot V_1$$

$$I_2 = N_1/N_2 \cdot I_1$$

2次側負荷は巻数比の2乗で換算した値に見える



$$Z'_L = a^2 Z_L$$

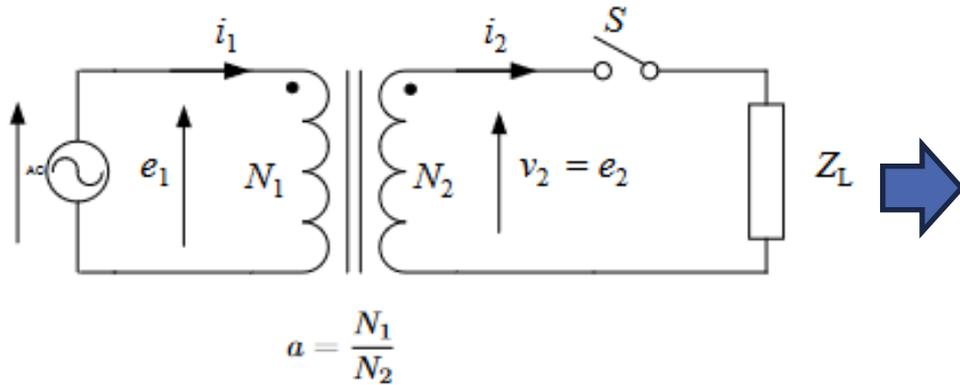
$$Z'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L$$

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} V_2 = \frac{N_1}{N_2} Z_L I_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L I_1 = Z'_L I_1$$

ただし、 $Z'_L = a^2 Z_L$

$$I_2 = \left| \frac{\dot{V}_2}{\dot{Z}_L} \right| = \frac{V_2}{Z_L}$$

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1$$

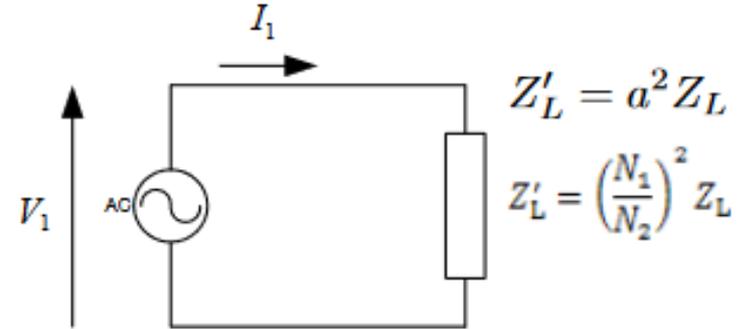


10ターン

1ターン

$$\alpha = 10$$

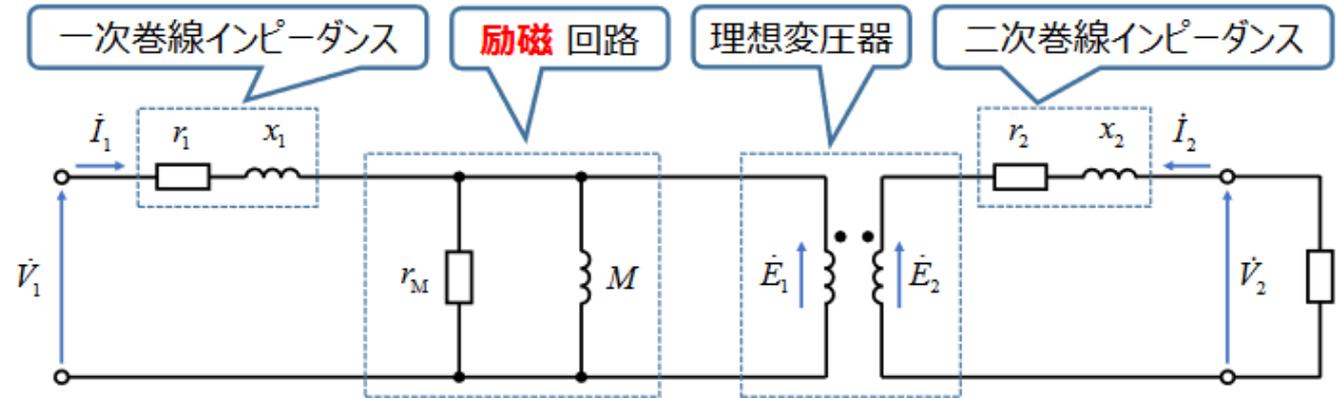
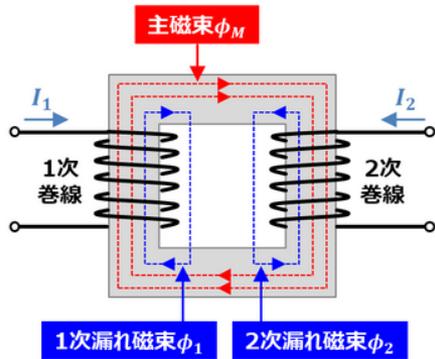
$$\begin{aligned} V_2 &= 1\text{V} \\ Z_L &= 1\Omega \\ I_2 &= 1\text{A} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} V_1 &= 10\text{V} \\ I_1 &= 0.1\text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z'_L &= 100\Omega \text{にみえる} \\ &= \alpha^2 \times Z_L \end{aligned}$$

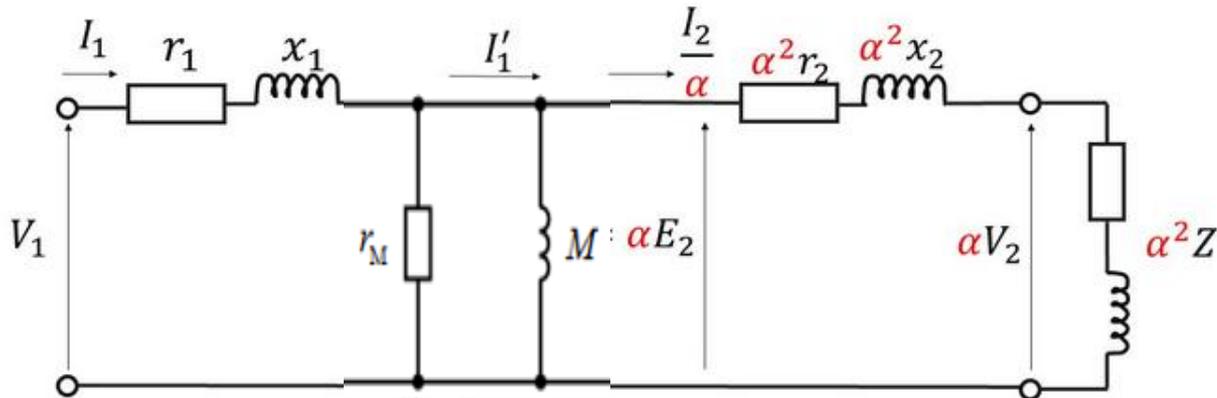
# 実際の変圧器の等価回路(鉄損, 抵抗, 漏れ磁束考慮)



$r_M$ : 鉄損抵抗

磁束に比例して発生する鉄損を 抵抗値で代替して表現した値

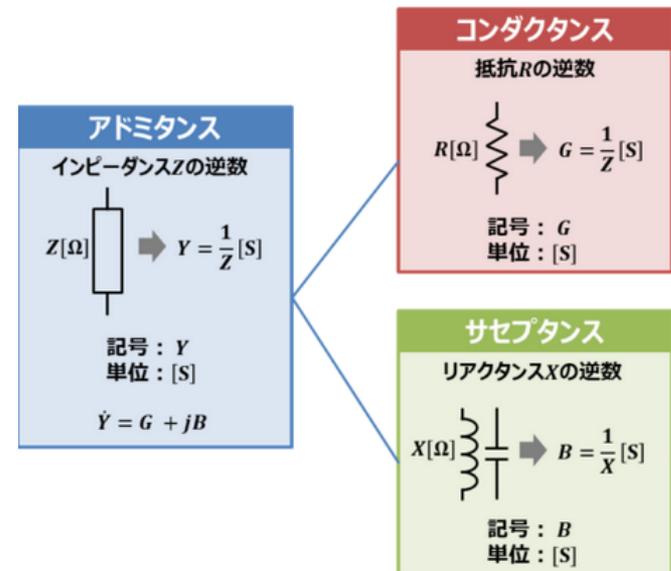
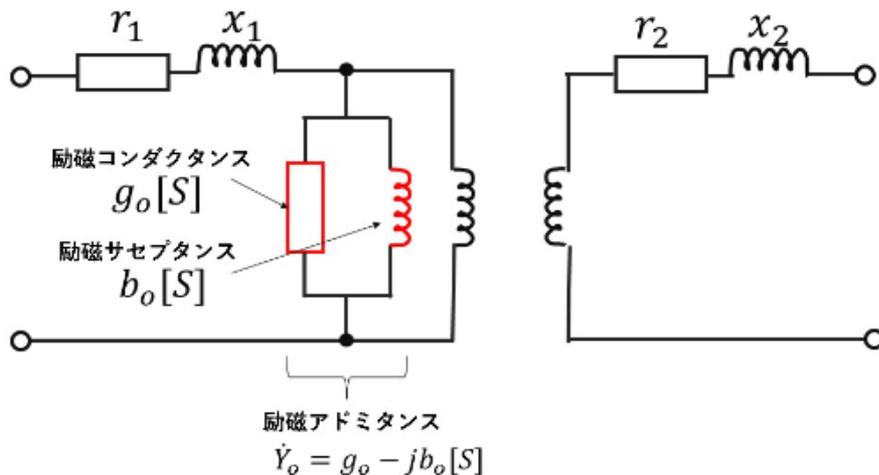
Mは漏れ磁束を引いた後の, 理想変圧器の磁束に相当する相互インダクタンス





$r_M$ : 鉄損抵抗の逆数を励磁コンダクタンス  
 $M$ : 理想変圧器の磁束に相当する相互インダクタンスの逆数を励磁サセプタンス  
 合成したインピーダンスを励磁アドミタンスと呼び, 電流の流れやすさを表します  
 単位はS:シーメンス

電圧から電流を出すにあたり  $I=V/Z$  でインピーダンスで割る代わりに  
 $I=V \cdot Y$  でアドミタンスを掛けて電流を求めることができるのでよく使われる  
 (電験などではこちらがでてくるので, 言葉くらいは覚えておいてください)

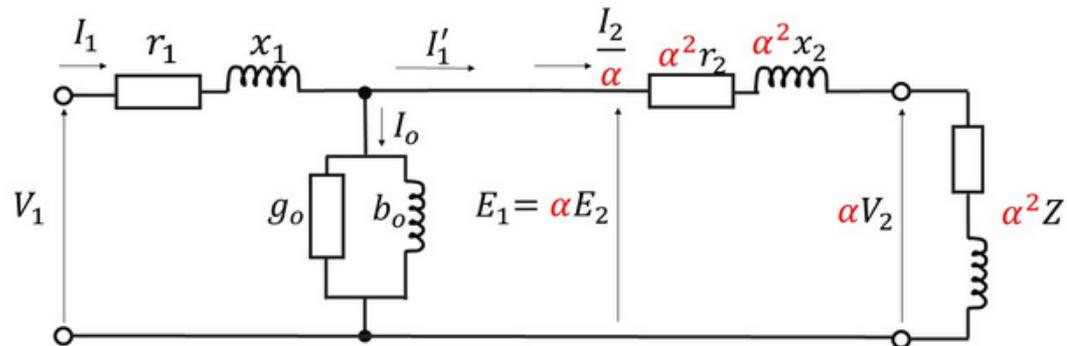


T型等価回路が現実に近いが、計算の簡易化のために励磁回路を一次抵抗、漏れインダクタンスの左に置いたL型等価回路がよく使われ、電験でもこちらで設問される

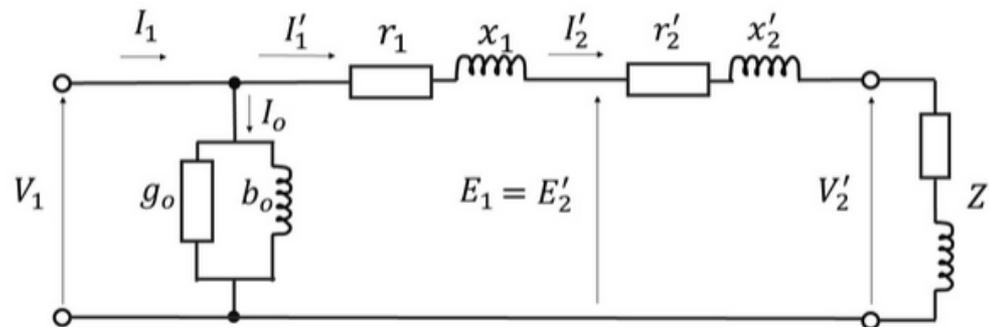
T型では回路測定の際に $X_1$ と $b_0$ が直列につながると分離できないのでL型にしてしまう。

大電流の時にL型は誤差が大きくなるのが欠点

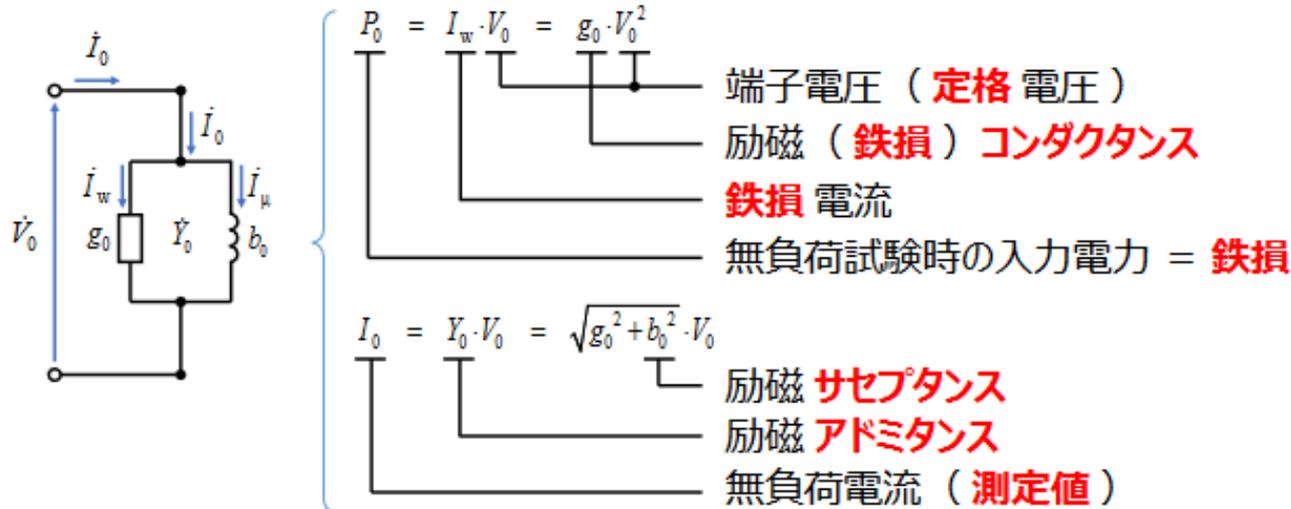
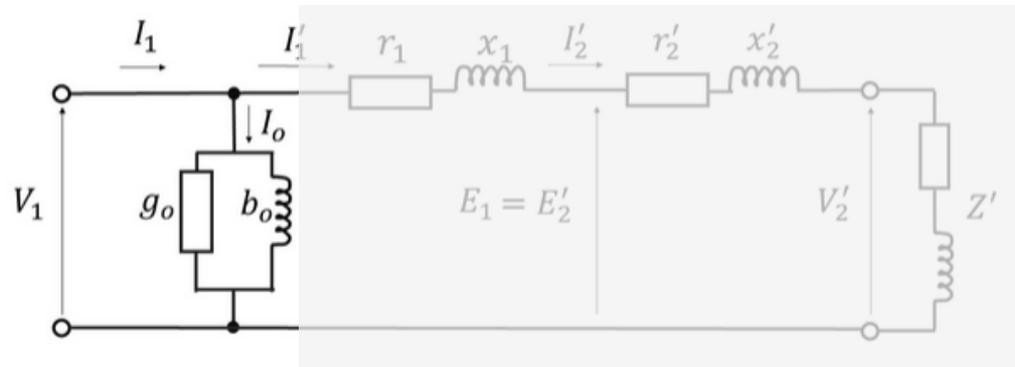
T型等価回路



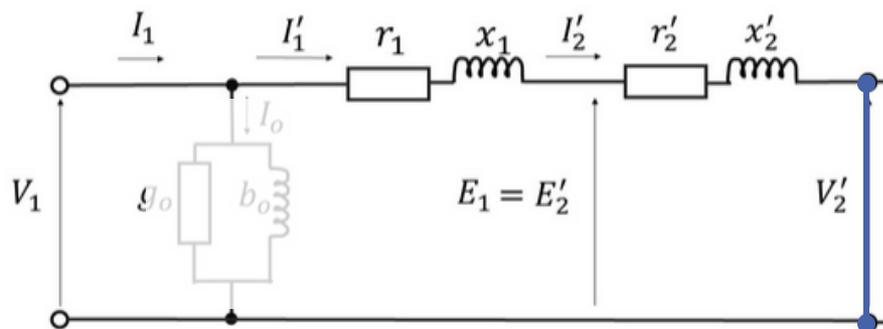
L型等価回路



2次側開放で無負荷にして電圧V, 電流I, 電力Pを測定



抵抗 $r_1$ ,  $r_2$ は測定しておく



2次側で短絡にして電圧 $V$ , 電流 $I$ , 電力 $P$ を測定  
 $V = I \cdot \{ (r_1 + x_1) + (r_2' + x_2') \}$

$$P = I^2(r_1 + r_2') \quad \therefore (r_1 + r_2') = P/I^2$$

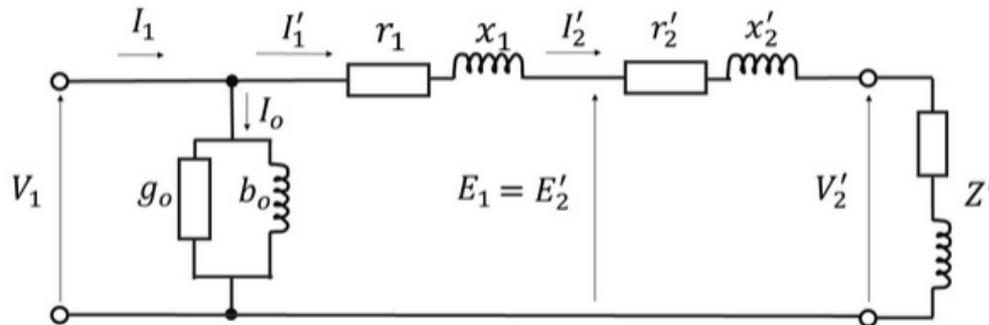
$$V/I = Z \quad \text{と} \quad Z^2 = (r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2 \quad \text{より}$$

$$(x_1 + x_2') = \sqrt{\{(V/I)^2 - (P/I^2)^2\}}$$

定格容量100kVA, 定格一次電圧6.6kV, 定格二次電圧210V, 定格周波数60Hzの単相変圧器がある.

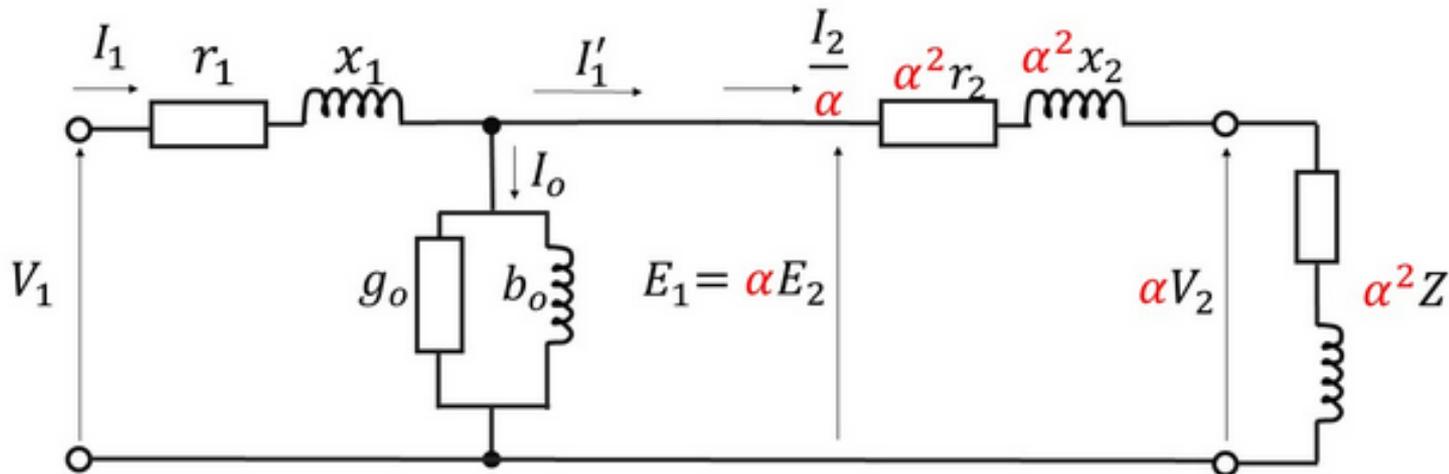
無負荷試験で6600V印加し, 電流が0.062A, 電力60W  
 短絡試験で $V=130V$ ,  $I=2.01A$ ,  $P=170W$

下記の等価回路 $X_1 + X_2'$ ,  $R_1 + R_2'$ ,  $g_0$ ,  $b_0$ を求めよ



- 一次巻線の巻き数が $N_1 = 600$ , 二次巻線の巻き数が $N_2 = 300$ の単相変圧器で
- 1次側を $V_1 = 200\text{V}$ ,  $f = 50\text{Hz}$ , 2次側を負荷を接続したところ一次巻線に $5\text{A}$ の電流が流れた. このときの二次電圧 $E_2$ , 二次電流 $I_2$ , 鉄心を通る磁束の最大値はいくつか

- 1次側100ターン, 2次側10ターン  
 $r_1 = 10\Omega$ ,  $r_2 = 1\Omega$ ,  $X_1 = 5\Omega$ ,  $X_2 = 1\Omega$   $g_0$ は無視,  $b_0$ が $100\Omega$   
 周波数50Hzとする
- この時に2次側を開放,  $10\Omega$ (抵抗成分のみ),  $5\Omega$ ,  $0\Omega$ , を接続したときの  
 各々の一次側電流を求めよ  
 (SCILABで求めることを推奨)



- **電気主任技術者:**
- 設備の点検・保守ができる資格
- 原則として、一定規模以上の自家用電気工作物を設置する事業所に常駐で設置することが求められています, 合格率が低く, 後継者不足でもあり, 引く手あまた
- 所定の科目を履修し, 実務経験3年をもつと申請で所得できる認定所得制度もある

区分	内容
一種	すべての電気工作物
二種	電圧170,000V未満の電気工作物
三種	電圧50,000V未満の電気工作物(出力5,000kW以上の発電所を除く)

年度	受験申込者 (人)	受験者 (人)	合格者 (人)	合格率
令和5年度下期	33,832	24,567	5,211	21.2%
令和5年度上期	36,978	28,168	4,683	16.6%
令和4年度下期	40,234	28,785	4,514	15.7%
令和4年度上期	45,695	33,786	2,793	8.3%
令和3年度	53,685	37,765	4,357	11.5%
令和2年度	55,406	39,010	3,836	9.8%
令和元年度	59,234	41,543	3,879	9.3%
平成30年度	61,941	42,976	3,918	9.1%

- 電気工事士
- ビル、工場、商店、一般住宅などの電気設備の安全を守るために工事の内容によって、一定の資格のある人でなければ、電気工事を行ってはならないことが、法令で決められています。その資格のある人を電気工事士といいます
- 電気主任技術者の資格があれば、学科を免除できます・実技試験もしくは経験が必要

第一種 第二種の範囲と最大電力500キロワット未満の工場、ビルなどの工事に従事できます。  
第二種 一般住宅や店舗などの600ボルト以下で受電する設備の工事に従事できます。

- 規則
- 電気事業法(電力会社は設備の規定)

[https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=407M50000400077\\_20240401\\_506M60000400009](https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=407M50000400077_20240401_506M60000400009)

電気工事士法(電気工事をするにあたっての規定)

[https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335M50000400097\\_20231228\\_505M60000400063](https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335M50000400097_20231228_505M60000400063)

IEC(国際規格)

製品固有の規格(エアコンのフロン, 自動車の安全)