YOKOGAWA

Co-innovating tomorrow™



Test&Measurement

モーター評価における パワーアナライザ/高速DAQの活用

松井 駿

横河計測株式会社 脱炭素ビジネス本部技術部

2026年11月17日

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

アジェンダ

1. 横河計測のご紹介
2. モーター評価の目的と測定の重要性
3. パワーアナライザ/高速DAQの役割・機能と選定ポイント
4. モーターパラメータ評価デモ



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

横河計測のご紹介

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

横河計測について

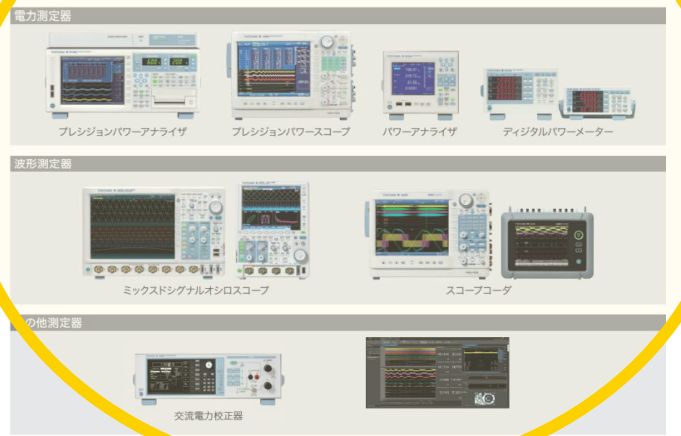
YOKOGAWAグループにおける**計測事業**の中核会社として、
産業のマザーツールである**測定器のビジネス**を展開

“脱炭素”、“通信”、“Well-Being”の分野向けの
測定器・測定ソリューションを提供



脱炭素

**電力測定器、波形測定器、
電力校正器など**



通信

**光スペクトラムアナライザ、
OTDRなど**



Well-being

**圧力測定器、
キャリブレータなど**

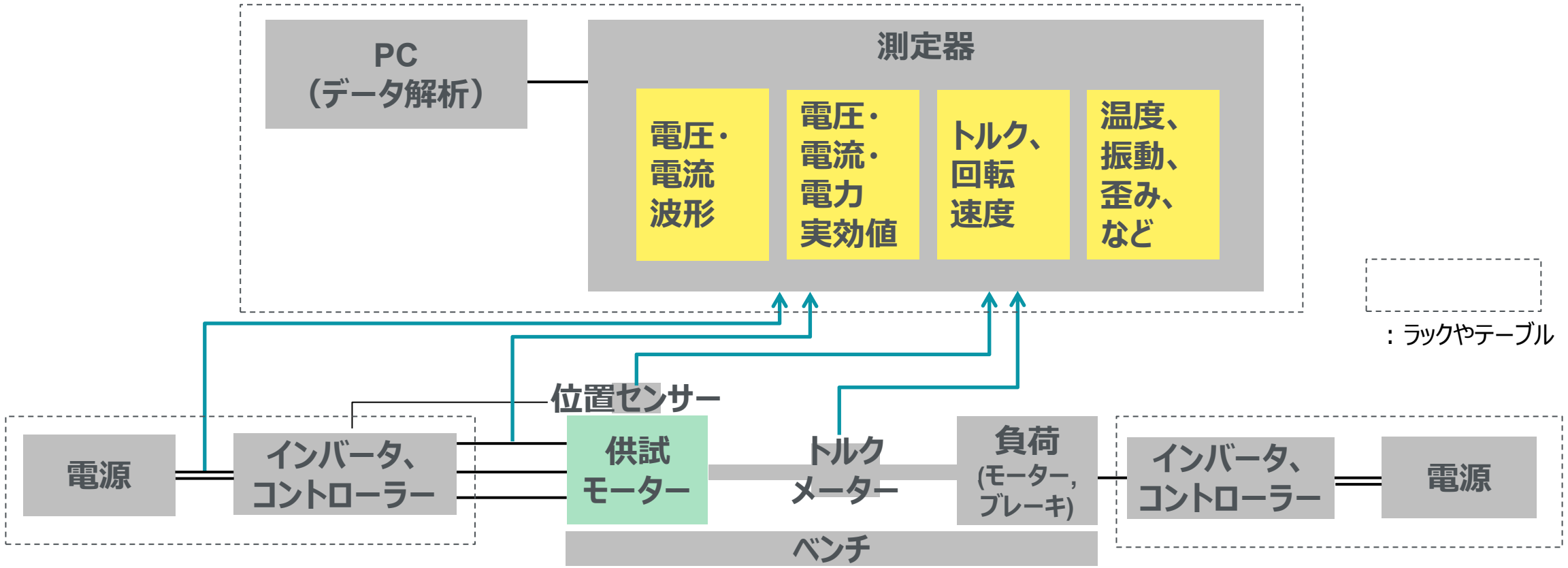


© Yokogawa Test & Measurement Corporation

モーター評価の目的と測定の重要性

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

モーター評価に用いる機器（概略）



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

モーター評価の概要

○モーター：電圧を入れて、トルク･速度･位置を制御する

制御の流れ：電圧V ⇒ 電流I ⇒ (磁束Φ) ⇒ トルクT ⇒ 速度ω･位置θ

電圧方程式、トルク方程式、運動方程式を用いてモーターを制御する

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = R_a \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \omega \Psi_a \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad ,T = P_n \left\{ \Psi_a I_{dq} cos\beta + \frac{1}{2}\left(L_q - L_d\right) {I_{dq}}^2 sin2\beta \right\} \quad ,T = J\frac{d\omega}{dt} + D\omega \quad ,\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

エネルギーの流れ：入力電力(P_{in}) ⇒ モーター出力(P_{out}), 効率$\eta = P_{out}/P_{in}$

$$P_{in} = 3V_{rms}I_{rms}\lambda, \quad T\omega = P_{out} \quad ,\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{T\omega}{3V_{rms}I_{rms}\lambda}$$

モーター評価の流れ：

- **モーターパラメータ測定** ⇒パラメータ：Pn, Ra, Ψa,Id Iq, Vd Vq, Ld Lq (,J,D)
- **モーター特性評価** ⇒速度ー電圧、電流ートルク、電流進角ートルク、速度ートルク、効率マップ 効率、損失、過渡応答、温度、振動、etc.
- **システム評価** など

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

モーター評価に用いる測定器

波形測定器や電力計で幅広い測定ニーズに対応可能

実運転でのモーター特性評価の前に、モーター制御に必要なパラメータを取得

- 巻き線抵抗 Ra　　DMMで抵抗値を測定
- 無負荷誘起電圧　Ψa　　波形測定器 or 電力計で電圧と回転位置を測定し演算
- 停止状態のLd,Lq　　発生器と波形測定器 or 電力計で電圧・電流を測定し演算
- 位置合わせ　　波形測定器 or 電力計で電圧と回転位置を測定し演算

実運転でのモーター特性評価では、dq軸の電圧・電流・インダクタンスの値などを取得

波形測定器 or 電力計で電圧・電流を測定し演算

システム評価では、上記パラメータ以外にも、電力効率、温度、振動、CAN信号なども取得

波形測定器 & 電力計で多くを測定可能

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

モーター評価の目的と用いる測定器

モーター評価の目的

電圧電流や温度振動など、**多点の過渡現象の確認**

dq電流電圧算出やモータパラメータと指令値の比較など、**制御解析**

電力効率や損失評価など、**正確な電力値の算出**

測定器

高速DAQで測定

- 正確な電圧・電流波形を捉える
- 多chで多様な物理量を捉える

電力計で測定

- 高確度な数値で捉える



パワーアナライザ
(電力計)



スコープコーダ
(絶縁 波形測定器,高速データロガー)

用途に合った測定器を選ぶことが重要

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

パワーアナライザ/高速DAQの役割・機能

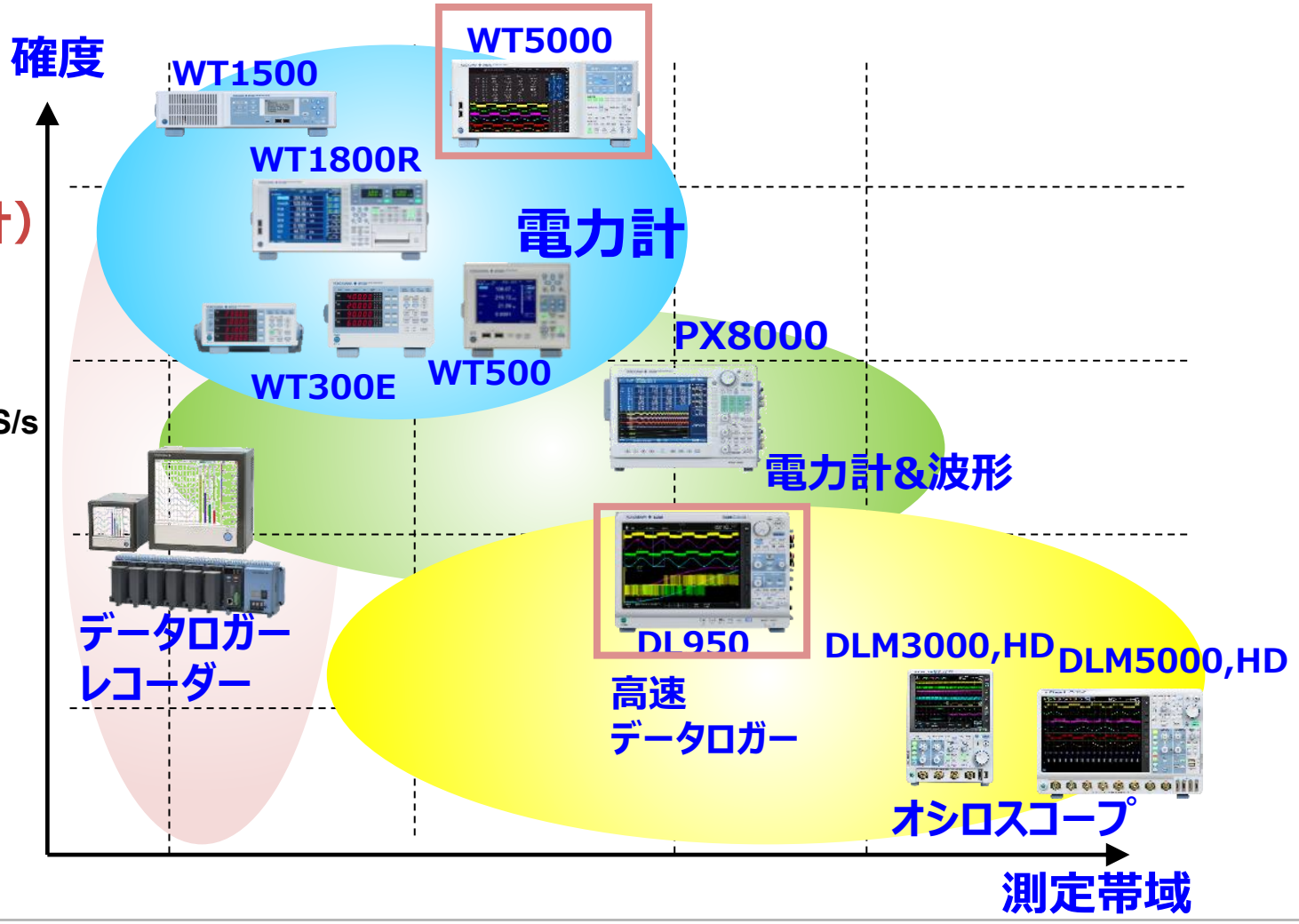
© Yokogawa Test & Measurement Corporation

パワーアナライザ/高速DAQの機能と役割

横河の電力計・波形測定器

電圧、電流、電力値などの測定で
確度が良いのがパワーアナライザ（電力計）
用途：電圧、電流、電力値

高速な信号を長時間とることができるのが
高速データロガー（スコープコーダ）~200MS/s
用途：三相電圧電流波形、他物理値



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

【電力計】 プレシジョンパワーアナライザ WT5000の特徴







大電流測定用の電流センサーと
ケーブル1本で簡潔に接続







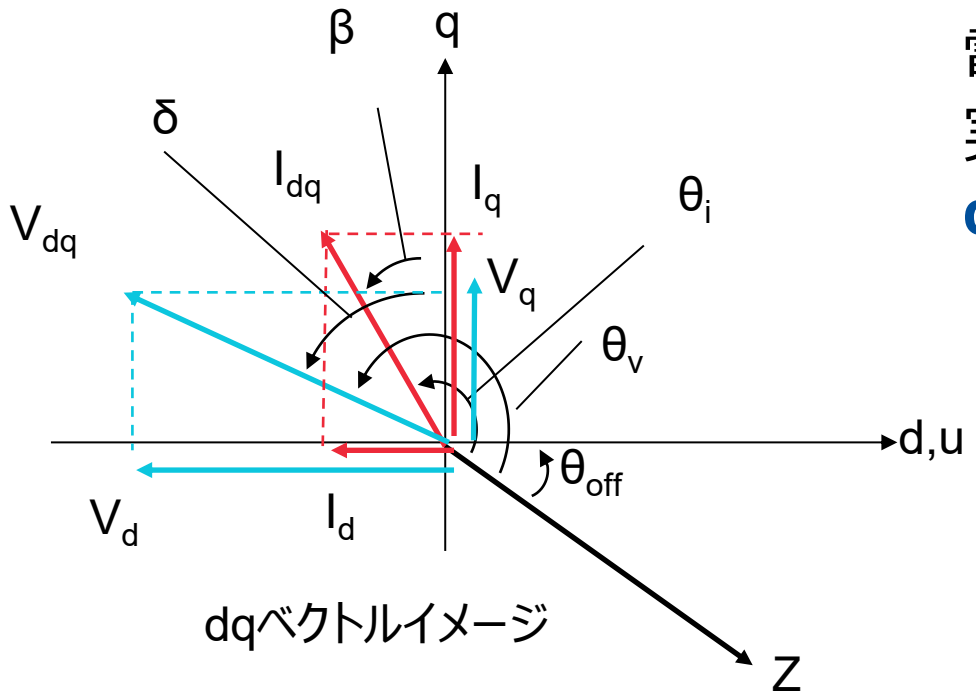
主な仕様

電力基本確度	：±0.03% of total ＜世界最高クラス＞
測定帯域	：電圧 DC~10MHz、電流 DC~5MHz、電力 DC~1MHz
電圧入力	：レンジ 1.5V～1000V（1500Vdc測定可能）
電流入力	：直接入力レンジ 500mA～30A or 5mA～5A、センサー入力可能
サンプルレート	：10MS/s
A/D分解能	：18bit
モーター評価機能	：最大4モーター同時評価
演算機能	：ユーザ定義演算

→モーター評価機能と演算機能を用いて、最大4モーター同時にパラメータ演算が可能

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

【電力計】 WT5000のモーター演算



電力計本体のユーザー定義演算を用いて
実効値基本波成分と電気角位相の**各測定値**から
dqパラメータを演算

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = R_a \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega L_q \\ \omega L_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \omega \Psi_a \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

β = θi - θoff -90 deg
δ = θv - θoff -90 ±30 deg
Ld = (Vq – Ra*Iq – ω*Ψa) / (ω*Id)
Lq = (- Vq + Ra*Id) / (ω*Iq)

Id = - Idq*sinβ
Iq = Idq*cosβ
Vd = - Vdq*sinδ
Vq = Vdq*cosδ

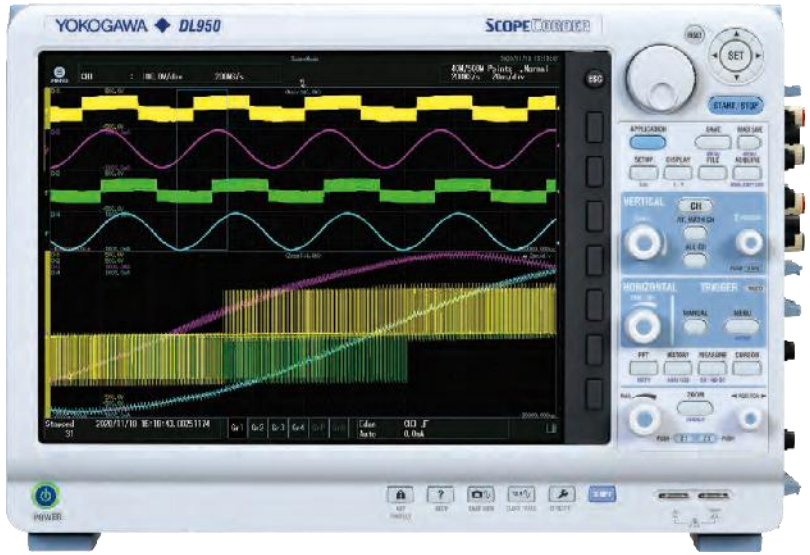
ユーザー定義演算機能で
dq演算式を設定

例)
<FUNC_NO.>,<STATE>,<NAME>,<UNIT>,<EXPRESSION>
F1,ON,"Pole/2","","ABS(4)"
F2,ON,"Ra","Ohm","ABS(0.97)"
F3,ON,"Psi_a","Wb","ABS(0.042)"
F4,ON,"Omega_e","rad/s","F1()*2*3.14159*SPEED()/60"
F5,ON,"delta","deg","EAU(E1)-90+30"
F6,ON,"beta","deg","EAI(E1)-90"
F7,ON,"vd","V","NEG(UFND(SA)*SIN(F5()))"
F8,ON,"vq","V","UFND(SA)*COS(F5())"
F9,ON,"id","A","SQRT(3)*NEG(IFND(SA)*SIN(F6()))"
F10,ON,"iq","A","SQRT(3)*(IFND(SA)*COS(F6()))"
F11,ON,"Ld","H","(F8()-F2()*F10()-F4()*F3())/(F4()*F9())"
F12,ON,"Lq","H","(F2()*F9()-F7())/(F4()*F10())"
F13,ON,"Vdq","V","SQRT(F7()*F7()+F8()*F8())"
F14,ON,"Idq","A","SQRT(F9()*F9()+F10()*F10())"

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

【高速DAQ】 スコープコーダ DL950の特徴

高速データロガー, 絶縁オシロスコープ







DL950の機能

高速 & 絶縁 iSoPRO™

2CH 200MS/s, 帯域 (-3dB) DC ～ 40 MHz, A/D**14ビット**、
最大入力電圧 1000 V (DC+AC peak, 10:1または100:1プローブ使用時)
4CH 10MS/s, 帯域 (-3dB) DC ～ 3 MHz, A/D**16ビット**、
最大入力電圧 600 V (DC+AC peak, 10:1または100:1プローブ使用時)

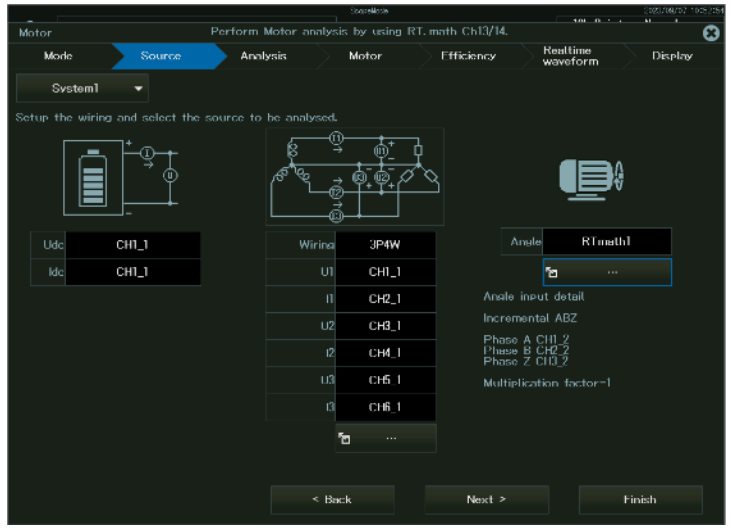
スコープコーダの優位性

- **8枚まで各種モジュールを装着、同期測定が可能。前機種と互換性あり。(電圧,熱,加速度,ひずみ,ロジック,CANFD/LIN/SENTデータ,etc.)**
- **絶縁測定 (1000V,600V 差動プローブ不要**
- **タッチパネル+物理ボタン 操作**
- **内蔵SSD(500GB)への連続記録**
- **電力演算機能、モーター解析機能**
- **時刻同期(NTP,PTP,GPS,IRIG)**
- **2カ所同時高速ズーム**
- **1G, 4G, 8 Gポイント大容量メモリー** (最大 4 Gポイント/CH)
- **デュアルキャプチャ機能 (**高速と低速サンプルを同時に計測)
- **ヒストリ機能 (**測定後に過去の波形を再表示・再解析)
- **複数台同期接続 (最大5台**のDL950の同期接続)
- **10Gbpsイーサネットによる高速PCストリーミング**

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

DL950のモーター演算

/MT1オプションを用いて
各種信号/**波形**から**dqパラメータを演算**



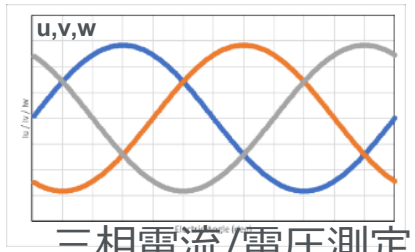
アプリケーションメニュー

- 電圧
- 電流
- 位置センサー信号
- トルク
- CAN,LIN,SENT

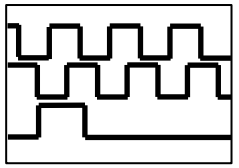


モーターdq解析の優位性

- **リアルタイム 電力演算機能とモーター解析機能**
  電力と高調波パラメータをリアルタイムにトレンドとしてモニター
- **面倒な数式設定が不要**
- **モーターベクトル制御パラメータと振動・温度などの同期計測**
- **電力モジュールを使用することで、電力解析値に確度保証を付与することが可能**
- **理論値との乖離原因を解析するためdq電流電圧の実測値を計測**



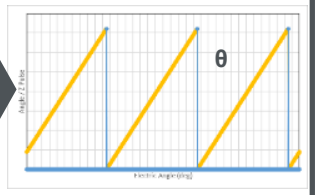
三相電流/電圧測定





位置センサー信号

内部演算

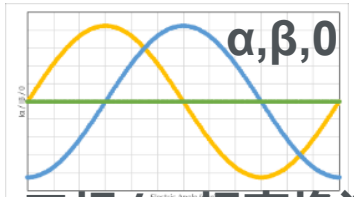


回転位置

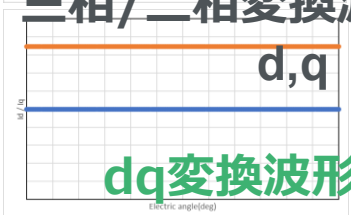
回転位置演算:/G03オプション機能

内部演算

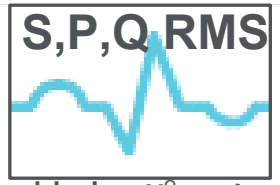
/MT1オプション機能



三相/二相変換波形



dq変換波形



電力,効率,パラメータ解析

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

仕様比較 WT5000、DL950

	波形測定器 横河計測 スコープコーダ DL950 /MT1 モーターdq解析オプション 	電力計 横河計測 電力計 WT5000、WT1800Eなど /MTR モーター評価機能オプション 
主な特徴	**・過渡応答や波形など制御性確認向け** ・START/STOP測定 **・リアルタイム波形表示** **・各種角度センサ対応** ・温度、振動、**CANデータ**などの**各種物理量との同時計測**	**・電力など高精度数値測定向け** ・常時測定 **・確度保証された高精度な数値演算**
モーター演算機能	・電力,電圧/電流実効値,出力,dqパラメータ平均値など。 **リアルタイムdq波形　(モーター解析機能)**	**・ユーザー定義演算**によるdqパラメータ平均値演算
電力,モーター効率 演算周期	**1周期毎 or データ更新周期毎 0.1ms~**	**データ更新周期毎 10ms~**
結線方式	単相2線,単相3線, 三相3線(二電力計法,3電圧3電流計法),三相4線	単相2線,単相3線, 三相3線(二電力計法,3電圧3電流計法),三相4線
回転位置センサー	**エンコーダ（インクリメント/アブソリュートタイプ）、 レゾルバ、ホールセンサ**	エンコーダ（インクリメントタイプ）
センサーゼロ位置合わせ	有り：RT.Math演算(Electric Angle)	有り：電気角測定
サンプリング,分解能	**10MS/s,16bit** (720256) 200MS/s,14bit (720212) 電力計測 1MS/s, 16bit (720301)	**10MS/s 18bit**
確度	基準入力による校正が必要 電力計測モジュールでは確度保証あり	**確度保証あり**
トルク*回転数　系統数	最大16系統	最大4系統
電力解析　系統数	最大2系統	単相 7系統, 三相 2系統
同時測定可能物理量	トルク、回転数、**温度、ひずみ、振動、音などの各種センサ**	トルク、回転数
高調波解析次数	35次	**500次**

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

パワーアナライザ/高速DAQどちらを選定するか

高速DAQ（DL950）



強み

・リアルタイムに波形で確認でき、視覚的にわかりやすい
・アプリケーションメニューから直感的に設定が可能
・温度や振動などの物理量も同時間軸で測定可能

弱み

・パワーアナライザと比較して確度が劣る

パワーアナライザ（WT5000）



強み

・電力・モーター評価で一般的に使用される測定器
・世界最高クラスの確度で評価可能

弱み

・電圧電流以外は数値でしか確認できない

視覚的なわかりやすさ、他の物理量も同時に測定したいのであれば高速DAQ、
高い確度で正確に値を測定したいならパワーアナライザを選定することをオススメ

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

モーターパラメータ評価デモ

- デモ概要
- 測定準備
- 基本パラメータ測定
- 無負荷運転時のパラメータ測定
- 実運転時のパラメータ測定

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

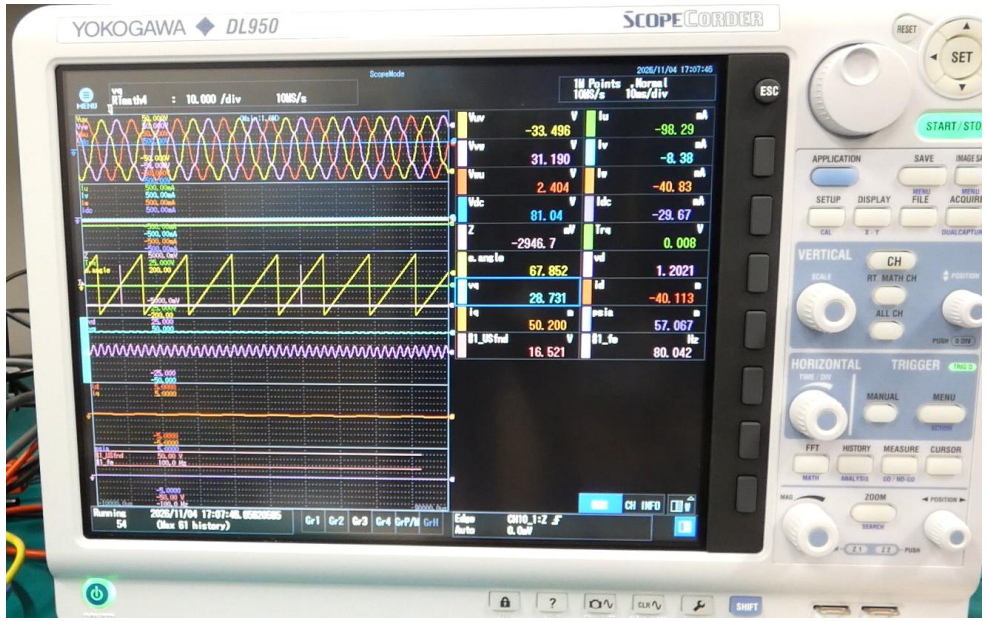
- **デモ概要**
- 測定準備
- 基本パラメータ測定
- 無負荷運転時のパラメータ測定
- 実運転時のパラメータ測定

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

デモ概要 ー 本日のゴール

最終的に得られるパラメータ

- 電気角：θe
- 電気角オフセット：θoffset
- 極対数：p
- dq軸電圧電流：Vd,Vq,Id,Iq
- 電機子鎖交磁束：Ψa（UΣfnd, fe)
- d,q軸インダクタンス：Ld,Lq
- 効率：η



測定準備からパラメータ取得まで、一連の流れを紹介

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

デモ概要 ー 評価フロー

算出するパラメータ	測定する信号と使用するパラメータ
θe、p	エンコーダー信号、線間誘起電圧
θoffset	θe、線間誘起電圧
Vd,Vq,Id,Iq	線間電圧、相電流、θe
ψa	線間誘起電圧、θe
Ld,Lq	Vd,Vq,Id,Iq,ψa,θe
効率	線間電圧、相電流、トルク、θe、p

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

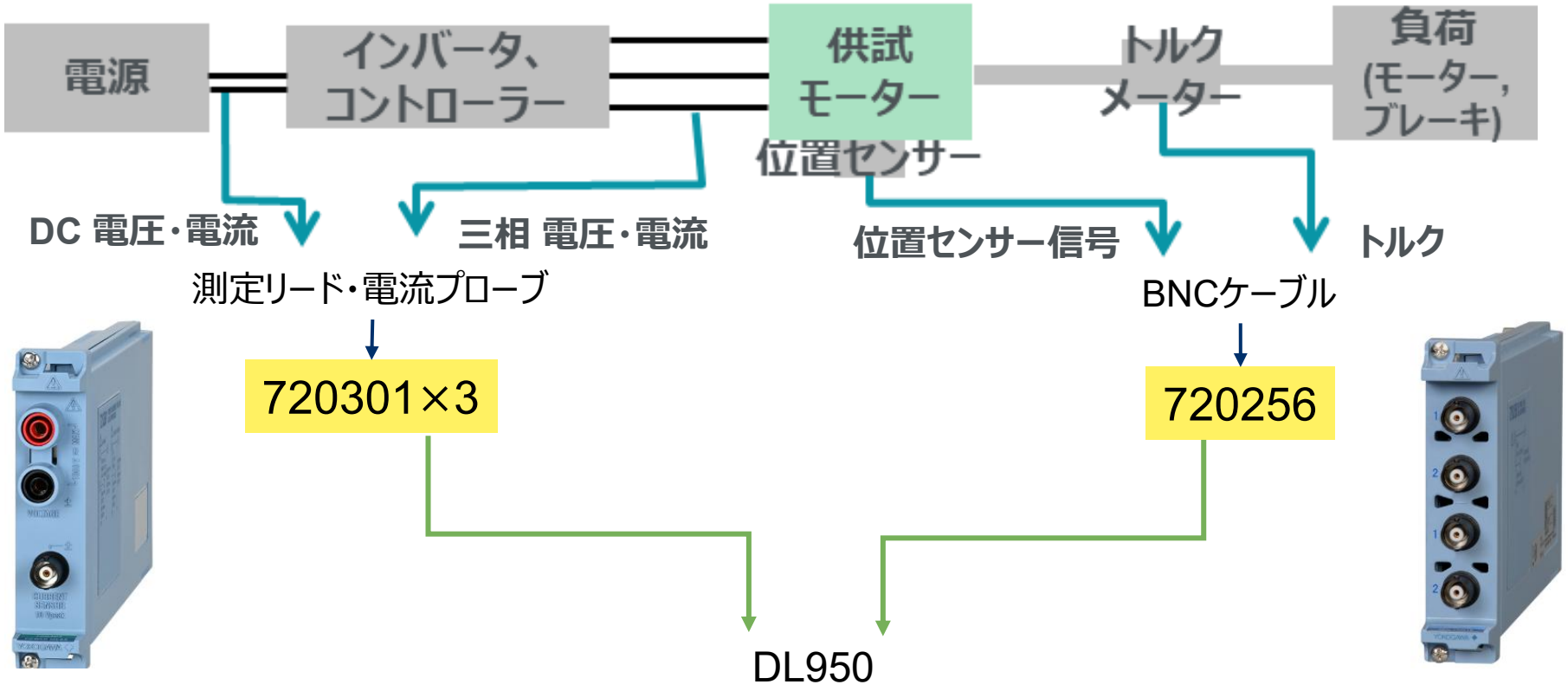
・デモ概要
・測定準備
・測定系の準備
・接続
・基本パラメータ測定
・無負荷運転時のパラメータ測定
・実運転時のパラメータ測定



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

測定準備 ー 測定系の構成（モジュール）

デモ構成

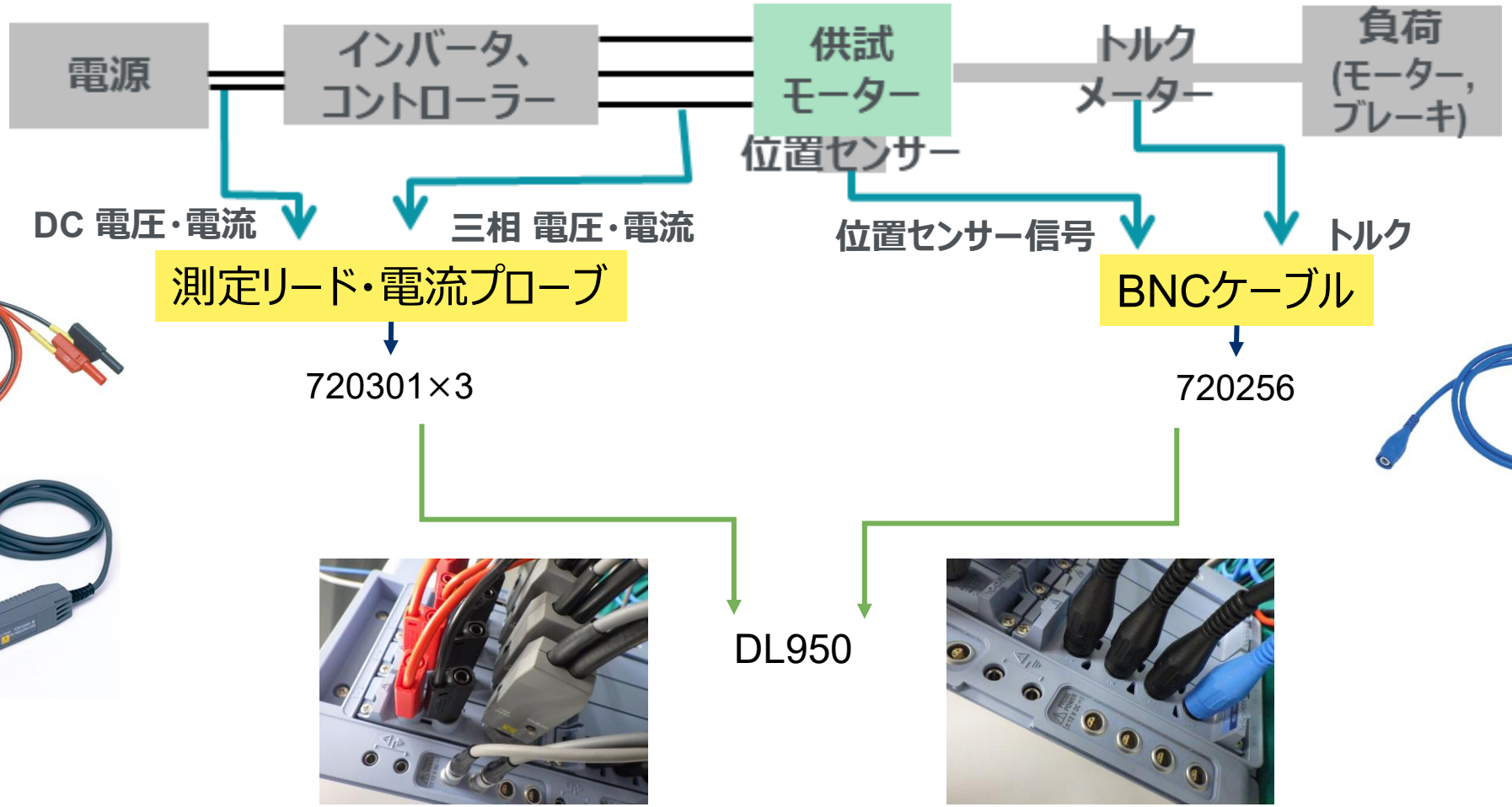


必要に応じて温度測定モジュールやひずみモジュールを使用して同時に測定することも可能

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

測定準備 – 測定系の構成（モジュール）

デモ構成



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

・デモ概要
・**測定準備**
　　・測定系の準備
　　・**接続**
・基本パラメータ測定
・無負荷運転時のパラメータ測定
・実運転時のパラメータ測定



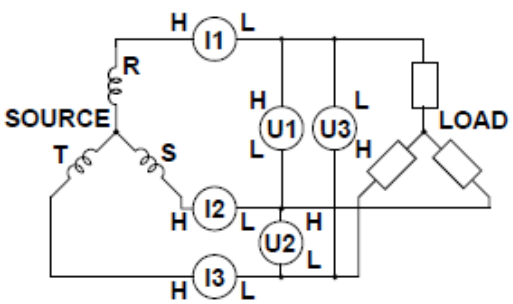
© Yokogawa Test & Measurement Corporation

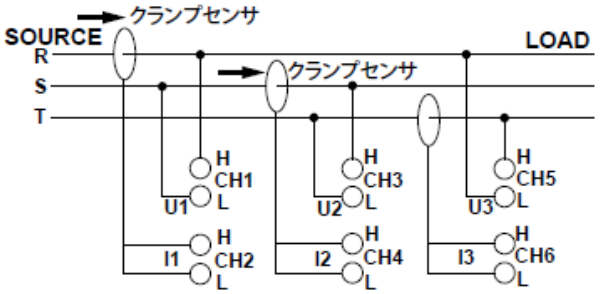
測定準備 – 接続

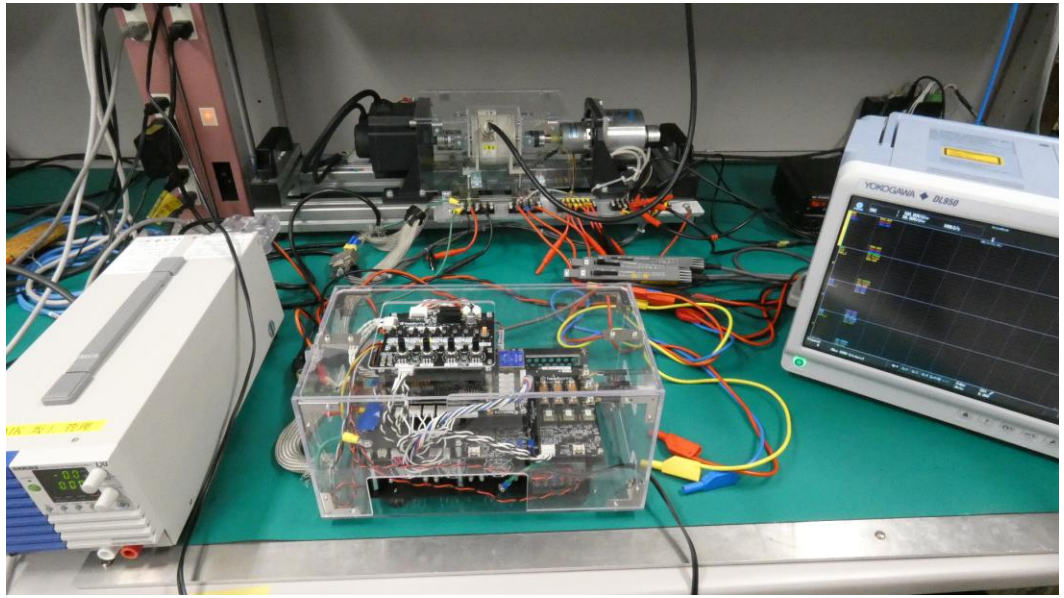
接続先

- モータの三相電圧電流
- 直流電源
- エンコーダー
- トルクメーター

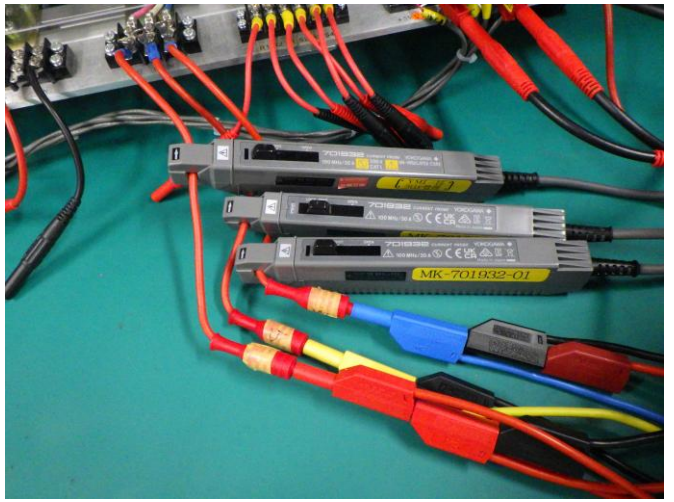
結線方式：3P3W(3V3AS)







3P3W(3V3AS)結線図
(uw,vw,uv線間電圧,u,v,w相電流を測定)



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

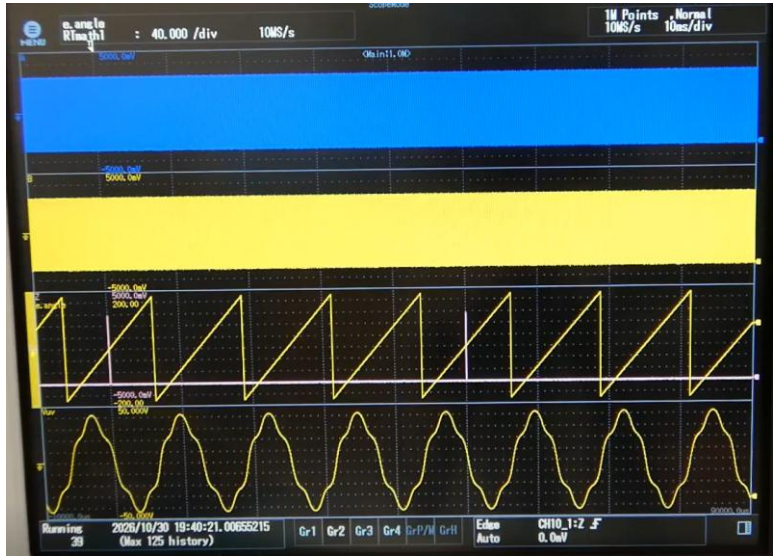
・デモ概要
・測定準備
・**基本パラメータ測定**
　　・**θe,p算出**
　　・θoffset算出
・無負荷運転時のパラメータ測定
・実運転時のパラメータ測定



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

基本パラメータ測定 ー θe,p算出 ー 概要

初期状態から、DL950のリアルタイム演算という機能を用いて電気角を波形として表示させるところまでを紹介



線間電圧
エンコーダ信号
取得

サンプリングレート
設定

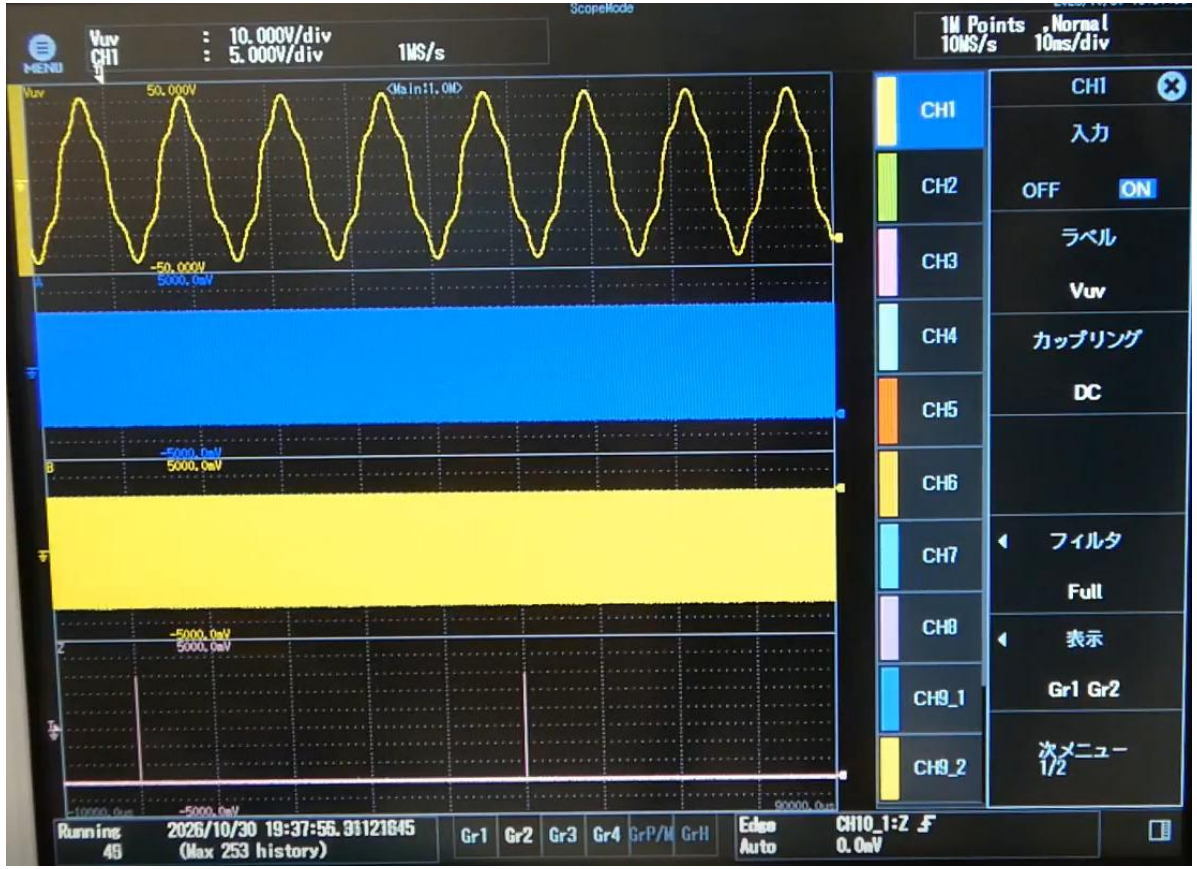
パルス数
極対数
算出

電気角演算

保存

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

基本パラメータ測定 ー θe,p算出 ー 線間電圧、エンコーダ信号取得

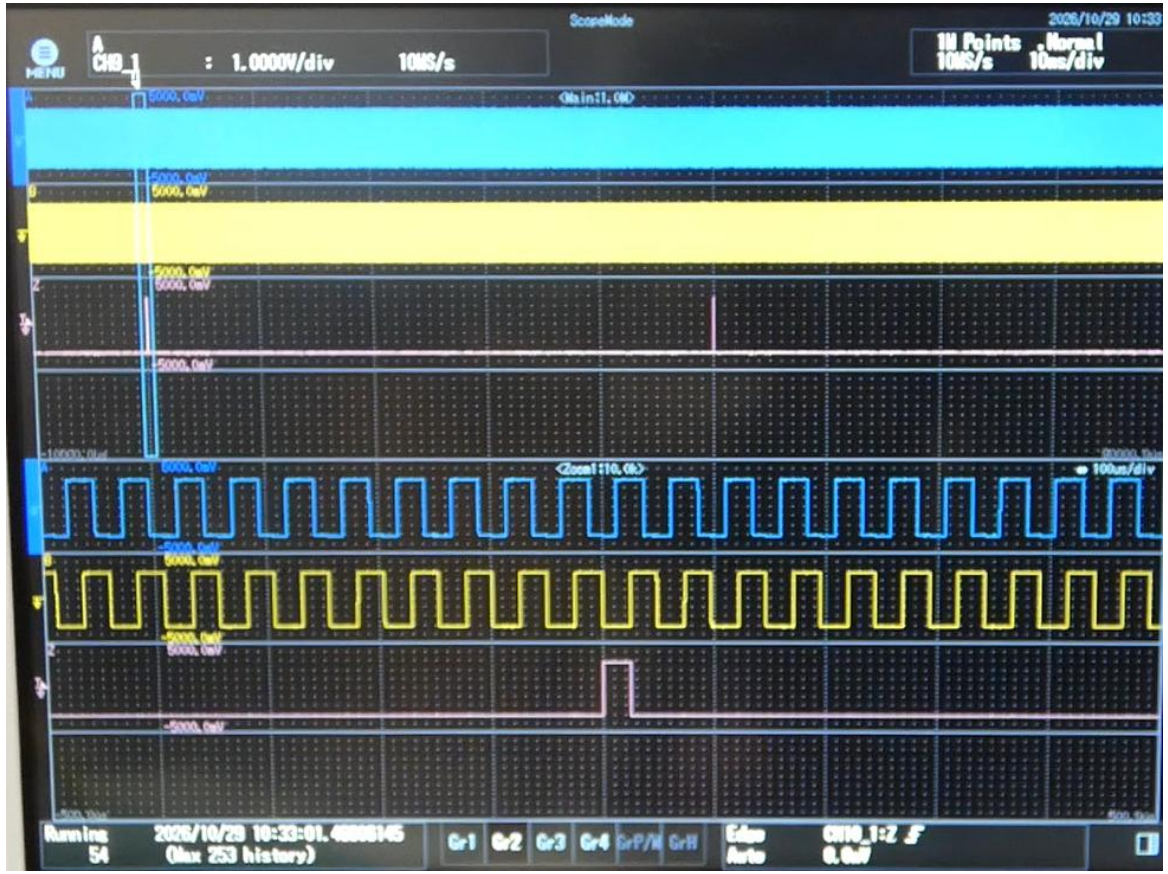


ポイント

- ラベル設定
- Zパルスをトリガに設定
- VuvとA,B,Zパルスを表示

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

基本パラメータ測定 ー θe,p算出 ー サンプリングレート設定

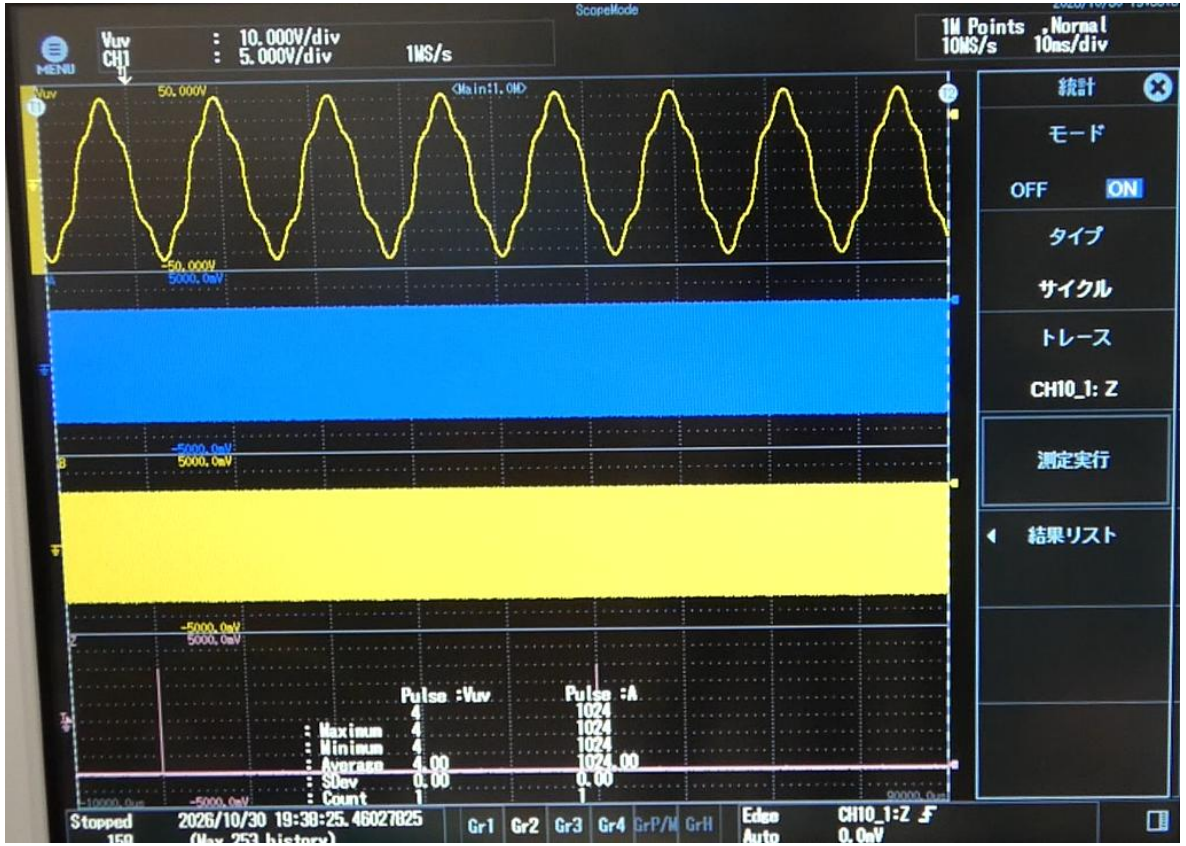


ポイント

- レコード長設定
- エッジ形状確認
- 測定精度に影響

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

基本パラメータ測定 ー θe,p算出 ー パルス数・極対数算出

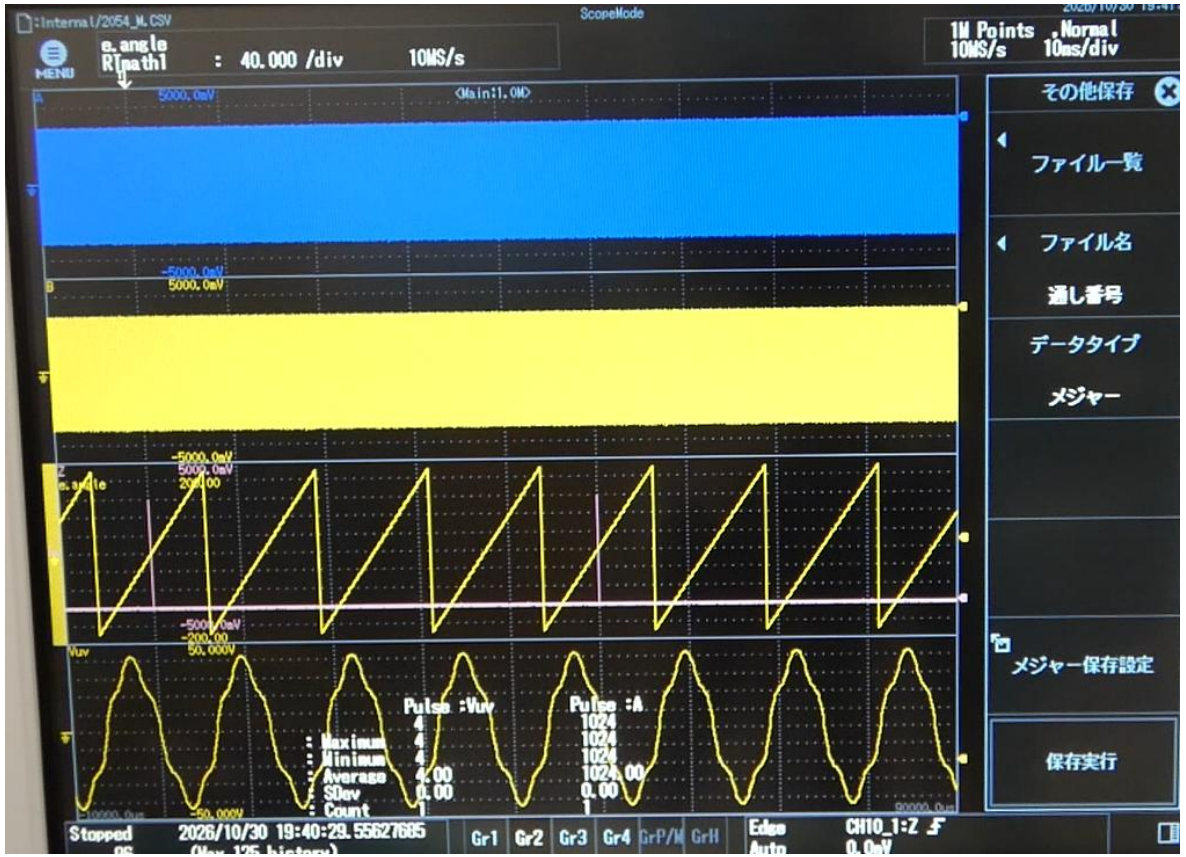


結果

- パルス数：1024
- 極対数(p)：4

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

基本パラメータ測定 ー θe,p算出 ー 電気角演算



演算式

$$電気角(°) = 逓倍率 \times \frac{現在のカウント値}{カウント条件 \times パルス数} \times 360°$$

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

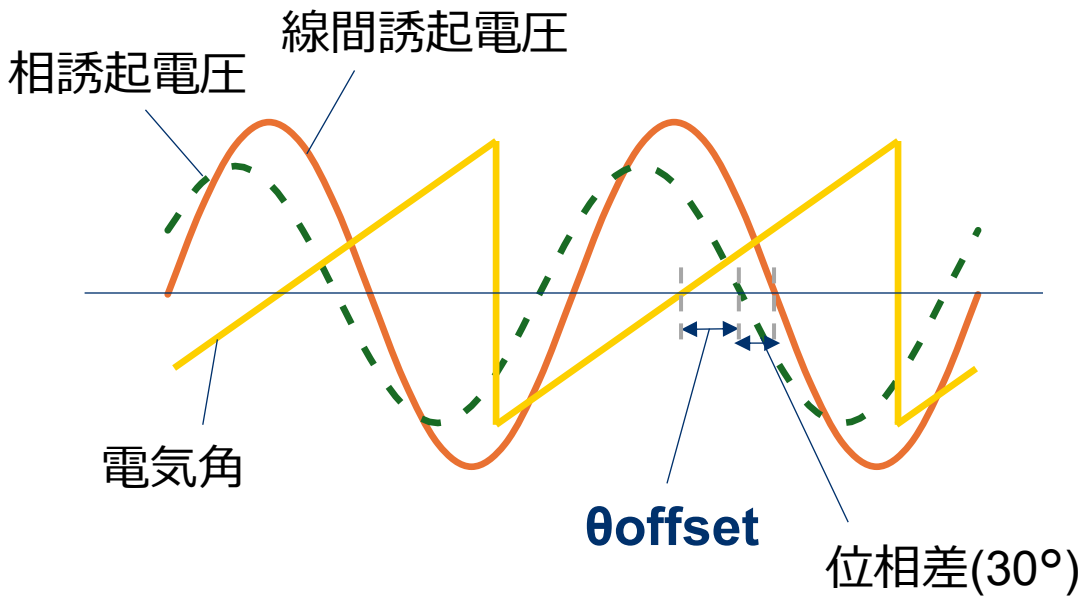
・デモ概要
・測定準備
・**基本パラメータ測定**
　　・θe,p算出
　　・**θoffset算出**
・無負荷運転時のパラメータ測定
・実運転時のパラメータ測定

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

基本パラメータ測定 – θoffset算出



θoffsetとは



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

・デモ概要
・測定準備
・基本パラメータ測定
・無負荷運転時のパラメータ測定
　　・Vd,Vq,Id,Iq測定
　　・ψa算出
・実運転時のパラメータ測定

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

負荷側から運転時のパラメータ測定 ー Vd,Vq,Id,Iq測定



ポイント

無負荷時

- Id≒0
- Iq≒0
- VdよりもVqが支配的

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

・デモ概要
・測定準備
・基本パラメータ測定
・無負荷運転時のパラメータ測定
　　・Vd,Vq,Id,Iq測定
　　・ψa算出
・実運転時のパラメータ測定



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

負荷側から運転時のパラメータ測定 ー φa算出



算出式

$$\Psi a = \frac{\sqrt{3}U\Sigma_{fnd}}{2\pi f_e}$$

ポイント

使用先は

- 制御
- シミュレーション
- Ld.Lq演算

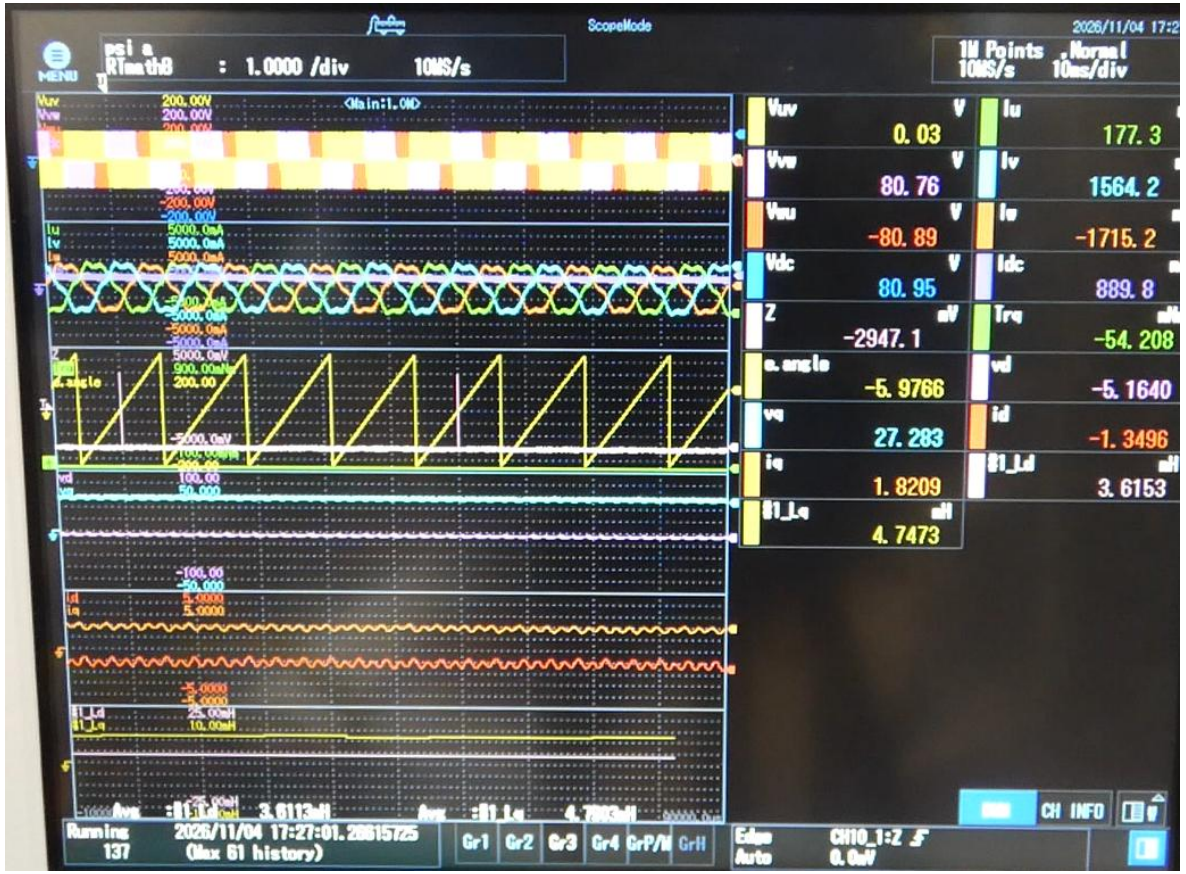
| November 17, 2026 |
© Yokogawa Test & Measurement Corporation

- デモ概要
- 測定準備
- 基本パラメータ測定
- 無負荷運転時のパラメータ測定
- **実運転時のパラメータ測定**
    - **Ld,Lq測定**
    - 効率測定



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

実運転時のパラメータ測定 ー Ld,Lq測定

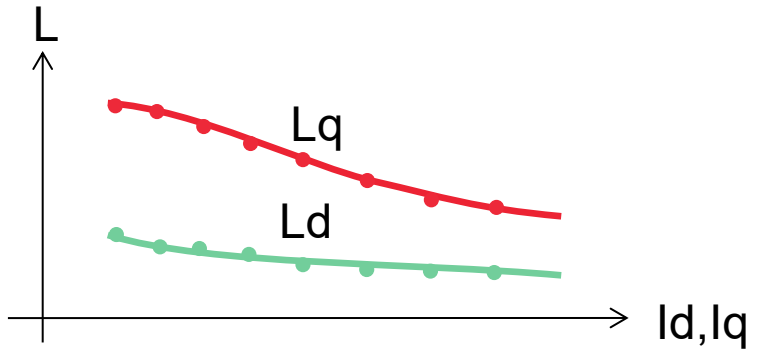


算出式

$$L_q = \frac{v_d - R * i_d}{-\omega_e * i_q}$$

$$L_d = \frac{v_q - R * i_q - \omega_e * \Psi_a}{\omega_e * i_d}$$

電流-インダクタンスグラフのイメージ



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

・デモ概要
・測定準備
・基本パラメータ測定
・無負荷運転時のパラメータ測定
・実運転時のパラメータ測定
    ・Ld,Lq測定
    ・効率測定



© Yokogawa Test & Measurement Corporation

実運転時のパラメータ測定 – 効率測定



算出式

$$\eta = \frac{\mathrm{Pm}}{\mathrm{P\Sigma}}$$

$$\mathrm{Pm} = \mathrm{Trq} \cdot p \cdot \omega_e$$

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

まとめ

- モーター評価の目的と測定の重要性
  ⇒制御解析や効率向上のためには、適切に測定することが重要

- パワーアナライザ/高速DAQの役割・機能
  ⇒ ・確度を求める場合はパワーアナライザ
  ・視覚的に変化を捉えたい場合は高速DAQ（波形測定器）

- モーターパラメータ評価デモ
  ⇒モーター評価の一連の流れを弊社の測定器を用いて紹介

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

ご清聴ありがとうございました

モーター評価に関わる測定をご検討の際は
横河計測にお問い合わせください

<お問合せ先>
横河計測株式会社
T&M CS（カスタマサポート）センター
TEL：0120-137-046
E-mail ：tmi-cs@csv.yokogawa.co.jp

製品に関する仕様、機種の御紹介、使用上の問題点などのお問合せにお答えいたします。



https://www.yokogawa.com/jp-ymi/

■本社（東日本エリア）
東京都八王子市明神町4-9-8
TEL:042-690-8811

■中部エリア
愛知県名古屋市熱田区一番3-5-19
TEL：052-684-2012

■関西・四国エリア
大阪府吹田市江坂町1-23-101　大同生命江坂ビル14階
TEL：06-6385-9431

■九州エリア
福岡県福岡市博多区御供所町3-21　大博通りビジネスセンター7階
TEL：092-262-5740

© Yokogawa Test & Measurement Corporation

YOKOGAWA

Co-innovating tomorrow™

Test&Measurement

The names of corporations, organizations, products and logos herein are either registered trademarks or trademarks of Yokogawa Test & Measurement Corporation and their respective holders.

