

6/27/2020

AUC サービス部

技術資料-1

マーク・オーエンズ訳

AGN 034 交流発電機リアクタンス

定義

リアクタンス周期

オルタネーターの設計の本然に内部の動的特性がオルタネーターの瞬間負荷と定常状態負荷の条件の中で性能に影響を及ぼす。これらの特性が個別化させられることによりある負荷量の変化後に特定した時間に挙動を見極め、そして集合的にリアクタンスと呼ばれています。それぞれのリアクタンス特性はオルタネーターの電磁設計の段階に影響を受けさせられます。

オルタネーターの負荷状況が急に変化された場合オルタネーターが受ける影響の性能審議を開始するに当たって下記を参考にします。

- 初期過渡リアクタンスのゼロ時反応
- 半周期の時間の経過、過渡リアクタンス
- そして最後の結果の定常状態が陽、陰、ゼロの順序の認定により特定されます。

初期過渡リアクタンス $[x''d]$ (激しい蹴りに例えられ)

急の負荷変化の最初のミリ秒の $x''d$ による特性の結果が負荷変化にかなり激しい反応を起こす。短絡故障の場合高い電流が発電され、一時的に全負荷の電流を初期過渡リアクタンスの逆数にかける値同様との電流に到達してしまいます。初期過渡リアクタンスが 12% の場合ピーク

値が定格電流の 8 倍となり対称状態と説明され、不斉状態、絶対の最大値は対称値の倍となります。

過渡リアクタンス $[X'd]$ (ザ フォロー スルー)

数ミリ秒数が過ぎ $X''d$ に影響をされている挙動、オルタネーターの性能が $X'd$ や当該の時間定数に支配されます。短絡故障状態の場合による $X''d$ の高電流量の劣化頻度が $X'd$ と他のオルタネーター時間定数に制御されます。

同期リアクタンス $[X_d]$ (押し)

現代のオルタネーターが定常状態短絡電流の持続を支援する制御システムを設けられ、定常状態三相短絡状態なら定格電流の 2 から 4 倍を通常に維持しますので X_d を三目の周期の故障電流量を定めるのに利用してはいけませんが X_d からオルタネーターの容量について大いに推測できます。

X_d は短絡特性と開路特性のテストによる励磁量の比率で定められます。

リアクタンスの影響

短絡状況でのオルタネーター性能の $X''d$ 、 $X'd$ 、強制励磁量と故障電流 (rms 単位) を時間に対し短絡減少曲線という図で表します。

ゼロ時順序リアクタンス $[X_0]$

アースに落としている中性点を持つオルタネーターが故障を起こすと位相とアースに短絡し結果の位相故障電流が同相になり：ゼロ位相角変位

陰性順序リアクタンス $[X_2]$

このリアクタンスでオルタネーターが不安定な負荷や故障状況での性能を定め、通常運転との逆回転が発生：逆送順

オルタネーターとそのリアクタンス

この部分は過負荷と故障の UCI または UCM224G に貢献する違いの質問に基づいています。下記の回答が熱定格はあるオルタネーターの設計の特性性能が変わらないことを説明します。この答は UC224G のオルタネーターに該当するが STAMFORD または AvK オルタネーターにも適合します。

UC224G オルタネーターは STAMFORD の基準製品で G が鉄心の長さの活性物質を識別する。このフレーム型 224 オルタネーターの G なら鉄線と銅線の積層構造になります。追加情報；巻線数とオルタネーターの設計が求められている電圧のための回転数を定め、これがそれぞれの巻線の回転の導体の利用可能断面積を制御し固定子巻線溝に入れるのための空間も限られるが、殆どの巻線設計にも関わらず求められている出力電圧量に達するため活性物質は完全に利用されます。これにて我々は費用対効果のオルタネーターの設計が出来ます。

そしてオルタネーターの巻線アセンブリや絶縁材料が最大利用可能な温度で運転する場合、UCI（I が産業用）となります。制限された特定した運転温度に合わせ海洋船級協会に適合する場合により低い kVA と提供され UCM（M が海洋用）となります。これらの考慮や要因がオルタネーターの連続熱定格を設定し、銘板される kVA を決めます。

覚えなければなりません：オルタネーター内の活性物質の量は同じなので衝撃負荷、過負荷、故障状況を受けたら、オルタネーターは銘板に記載されている kVA や使用（I か M）に関わらず同じ影響を受けます。急負荷変化による蓄積エネルギーはオルタネーター内の活性物質と UC224G の積ですので UCI であっても UCM であっても変わりはありません。

影響がある要因

- **運転中の磁束量。** 例え UCI と UCM が同じ電圧と周波数で働く場合磁束量は同じになります。急負荷の階段状変化によるオルタネーターの反応を表現で表すと‘リアクタンス’と‘時間定数’となります。階段状負荷によるオルタネーターの反応容量を図るのによく使用しているのはオルタネーターの初期過渡リアクタンス値 $X''d$ 。 $X''d$ の値は運転中磁束量を考慮にするので、運転中の電圧量と周波数もわかります。これが基礎定格 kVA となり、スペックシートに産業用定格 kVA に基づいています。

UC224G が 415V の 50Hz で運転を考えて下さい。

産業用のオルタネーターとしてクラス H 定格の 85kVA で出版されている初期過渡リアクタンスの値 X''_d がクラス H 温度上昇連続(基礎定格)の 85kVA で 11%となります。同じオルタネーターは産業用クラス F 温度上昇定格が 75kVA になります。クラス F 定格の X''_d が $[75/85] \times 11 = 9.7\%$ 。

同じオルタネーターの海洋用ならクラス F 温度上昇連続海洋定格が 65kVA ですので X''_d が $[65/85] \times 11 = 8.4\%$ になります。そしてクラス B 海洋定格が 60kVA なら X''_d が $[60/85] \times 11 = 7.8\%$ になります。

上記は同じオルタネーターが違う kVA 出力によって X''_d の値も違うことを説明してくれます。但し、上の産業定格でも海洋定格でも、ゼロ時故障電流を $[1/X''_d] \times \text{基礎定格電流[Amps]}$ の式で求める場合答は必ず対称の故障電流の値が同じになります。なぜなら同じ活性物質のエネルギーが故障電流を発生させます。

オルタネーターの提示されている通常の電圧以外に運転する場合リアクタンスは変わります。あるオルタネーターが基礎巻線 311/312 で提示されているリアクタンス値は 480V の 60Hz ですがオルタネーターは 380V の 60Hz で運転します。リアクタンスの値を 380V に計算するのなら簡単に $[380/480] \times 480v$ の値=380v の値。

この細部の概要は：リアクタンス調整のための統合乗数で kVA の変化（リアクタンスは kVA に比例します）とともに電圧の変化（リアクタンスは電圧の 2 乗に反比例します）を考慮されます。

この様な変化状況の場合は下記の式を利用してリアクタンスの値を再計算します：

$$X_2 = X_1 * \left(\frac{kVA_2}{kVA_1} \right) * \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2$$

- オルタネーターの励磁システム

もし、オルタネーターが定常状態短絡電流を支援する励磁システムが設けていない場合は磁気に保ったエネルギーが活性物質と共に排出させられてしまった時に、オルタネーターは出力をしなくなります。例えば、AVR が AS 型または SX 型で補助巻線に繋がっていない状態。このようなオルタネーターの $X''d$ 値に適切なゼロ時故障電流が出、初期の高い値からゼロの劣化はオルタネーターの過渡リアクタンス $X'd$ と時間定数を利用した計算で説明出来ます。追書き：オルタネーターの故障量の容量を完全に示すのに他のリアクタンスも計算に入れる必要があります。

もし、励磁システムが AS 型 AVR と補助巻線または MX 型 AVR(永久磁石)か変圧器制御を備え、すなわち統合されたシステムなら強制維持短絡電流を発電させる励磁システムとなります。

例えば UC224G 巻線 311 を 50Hz での運転なら、オルタネーターの技術データシートの短絡減少曲線図を調べ適切な AVR を確認します。

リアクタンス値を変化

リアクタンスの値はオルタネーターの「磁気の剛性」を計り数学的モデルとして様々な故障状況の各段階でのオルタネーターの性能を説明します。リアクタンスはオルタネーターの電気設計で固定されオルタネーター内の活性物質質量の積で決まります。普段なら主の設計目的が費用の効率化で最低キロ数の活性物質で最大の kVA を提供すると共に最低可能リアクタンス値に合わせることで現代の電気制御されている非線形負荷に対して元もよい性能を得られます。

上記にも拘らず高いリアクタンス値を指定される場合は配電の関連でよく理解されています。

残念ながら、現在の費用対効果設計のオルタネーターのリアクタンスを高めることは出来ません。リアクタンスを低めるのにより大きいオルタネーターを利用します。

全ての海洋機関の条件に対応するオルタネーターを提供するのに指定短絡電流性能、モータ起動時過渡電圧制限やすべての制限を満たすのに低いリアクタンスが必要となります。

並列オルタネーターのリアクタンス値

並列運転のオルタネーター性能は興味深い内容です。基本的に並列運転の発電機の定常状負荷状況なら必ずオルタネーターの定格に比例して負荷を分け合う。例えば 500kVA と 1000kVA の並列運転なら両機を定格 kVA の 50% で運転して全負荷の 750kVA を賄えます。

指摘すべき：エンジンは kW を共有、励磁システムは kVAr を共有、すなわち発電機は kVA を共有します。

階段状の負荷変化または故障状況の中である場合この過渡負荷は平等に分けません。原因のインピーダンスから PCC（共通接続点）まで大きな影響があります。同じ大きさのオルタネーターの場合でも与えられた階段状負荷を平等に分けません。実は分け合いが 45% と 55% になります。

並列運転の発電機の「電気システム」を考える場合、段取りは抵抗体の並列と似、オルタネーターのリアクタンス値をシステム全体の基礎定格電流に修正して因子の逆数を利用します。例えば、二台の発電機 G1 と G2

G1：1000kVA 出力 415V の 50Hz で $X''d$ が 14%

G2: 500kVA 出力 415V の 50Hz で $X''d$ が 12%

G1 と G2 が並列運転で基礎電流が 1500kVA

となると

G1 の $X''d$ が 21% (0.21pu) に変わる

G2 の $X''d$ が 36% (0.36pu) に変わる

すなわち、上の発電機の統合容量が

$1500kVa = (0.21^{-1} + 0.36^{-1})^{-1} = 0.133pu = 13.2\%$ になります。

飽和リアクタンスと不飽和リアクタンス

下の表は各リアクタンスの飽和値から不飽和値を変換する倍数の因子を提示しています。

リアクタンス 飽和値		不飽和値 倍数の因子		
		S0-S7	P80	AvK
直接軸同期リアクタンス	X_d	1.2	1.15	1.11111
直接軸過渡リアクタンス	X'_d	1.15	1.235	1
直接軸初期過渡リアクタンス	X''_d	1.17	1.22	1.11111
直交軸リアクタンス	X_q	1.03	1.03	1.03
直交軸過渡リアクタンス	X'_q	1.03	1.03	1.03
直交軸初期過渡リアクタンス	X''_q	1.2	$\frac{X_2(\text{unsat}) \times X_2(\text{sat})}{X''_d(\text{sat})}$	1
漏電リアクタンス	X_L	1.13	1.13	N/A
陰性順序リアクタンス	X_2	1.2	1.165	1.11111
ゼロ時順序リアクタンス	X_0	1.17	1.15	1.11111