

平成 21 年 1 月 15 日

ARMD テクニカルニュース No. 12

はじめに

<< 明けましておめでとうございます。 >>

顧客様各位におかれましては、ますますご隆盛のこととお慶び申し上げます。また、平素から米 RBTS 社の ARMD をご愛用くださいます。誠に有難う御座います。

さて、一昨年 1 月に News No. 11 を、刊行してから、弊社一同は超多忙で、本ニュースまでフォローする余裕がありませんでした。そうこうするうちに二年経ってしまいました。遅くなりましたが、News No. 12 をここに刊行します。お蔭様で ARMD は順調に伸びています。今後とも ARMD をご愛用くださいますようお願い申し上げます。

(株)二樹エレクトロニクス 青葉事務所 蜂須賀 照憲

お知らせ No. 1

< 次の Version up >

ARMD は現在 V5.6 G2 です。これは V5.6 G1 と内容が同じです。ただ開発元でのソフトの管理上の違いがあるだけです。次の V5.7 G1 への Version up ですが、大変遅れております。これは、Windows Vista との相性に多少の問題があるためで、ほぼ究明に至っていると開発元は言っておりますので、間もなくリリースに至ると思います。その時点でまたお知らせいたします。

お知らせ No. 2

< サービス体制の変更 >

2-1. 杉村様の移住

急なことですが、協働しておりました杉村様が、昨年 11 月から一身上のご都合で海外に移住されました。技術指導やサポートサービスでは今まで大変貢献してくださいましたことは、皆様ご承知の通りで、この際厚く御礼申し上げたいと思います。

従来通り、メールでのサポートは続けていただくことになっておりますので、ご遠慮なく質問していただきたいと思います。勿論日本語でお答えいただけます。

行かれた先は下記の通りです。

Mr. Shojiro Sugimura 3638 Maginnis Avenue,
North Vancouver, B.C. V7K 2L6 CANADA

Phone : 1-604-980-8188 e-mail : sugiplanning@hotmail.co.jp

です。e-mail address はとりあえずのもので、変更されればまたお知らせいたします。

2-2. 導入セミナーなどについて

訪問を伴うコンサルティングサービスと導入セミナーにつきましては、申し訳ありませんが、即時には不可能であります。それで、先ず必要に応じ予約を取っていただいて、何ヶ月かのちに訪問することを考えております。太平洋を越える費用と時間がかかりますのである程度の費用のご負担をお願いすることになるかと考えております。欧州ではすでに行なっていますが、集合セミナー形式で行なうことも考えています。これらの方式が固まり次第、後日ご連絡申し上げます。一方、結構メールの交換で用が足せる場合があります。

ご購入時の Benchmark Test や、訪問を伴わない委託解析は、従来通り受け付けておりますので、どうぞご利用ください。

2-3. 日本語版概説マニュアルの企画

今は ARMD のマニュアルは英語で、システムに組み込まれておりますが、言葉の違いから不便であるというご意見をよく伺います。しかし数量が出ない関係で日本語版の作成はまったくペイいたしません。でも何とか ARMD の入口の部分だけでもより早く馴染んでいただくために、概説的なものを考えております。直訳ではありません。導入セミナーにはこれは必須とします。ただ、多大の労力がかかりますので有料とさせていただきます予定です。

本件は今すぐではなく、完成までまだ応分の時間を戴きたいと思えます。どうかご期待ください。またご意見ご要望もお聞かせください。

2-4. 訪問出張の減少

お蔭様で顧客様の数が増え、あり難いことなのですが、事務局から訪問出張する時間にも限度があり、さらにこのたび上述のように杉村様が海外移住されたこともあって、営業的な出張がなかなか困難になっている状況です。したがってこれから営業出張を省略させていただく場合があるかと思えます。どうかあしからずご了承くださいませ。

従来通り営業の諸連絡や手続きは、便利になったメールや Fax や電話や郵便などできめ細かく行ないますので、ご遠慮なくご用命ください。

お知らせ No. 3

< 価格改定の予告 >

間もなく RBTS は次の Version up と同時に価格改定を行います。わが国を除く全世界にはすでに実施済みだそうです。ただいま弊社と交渉中で、お客様に少しでも有利になるようにして参りたいと思っております。少なくとも、3つの subset はどれも同じ価格になる予定です（セット割引率が引き下げられる）。次の Version up のときにお知らせいたします。

お知らせ No. 4

< 本ニュースの刊行方法 >

前 No. 11 にて、以後は Home Page から Download して、本ニュースをご覧いただく方法を提案しましたが、もうしばらくは、メールにて配布すること続けたいと思います。より多くの方々にお読みいただきたいと思うからです。

何かの折には Home Page もご覧頂きたいと思います。また過去の News は Home Page からご覧いただくようにされますと便利かと思えます。

どうぞよろしくお願い申し上げます。

以下に技術ニュースを掲載します。通例通り、杉村様に執筆頂いたものです。「ねじり振動過渡応答」についてお願い致しました。これらが顧客様のお役に立ちましたら幸せです。

ねじり振動過渡応答について (TORRSP Module)

ARMD のねじり振動解析には固有値解析と過渡応答解析、定常応答解析の機能があります。今回は過渡応答解析について述べたいと思います。

過渡応答解析は使うチャンスが少なく、なじみがすくないのですぐに使おうとすると、やや戸惑うことがあります。ねじり振動の中でも比較的使うチャンスが少ない電動機の短絡時の挙動を述べてみたいと思います。

電動機や発電機は 3 相の電源の内 2 相が短絡事故を起す場合あるいは 3 相が短絡を起す場合等にねじりの交番トルクが働きます。2 相短絡と 3 相短絡では発生周波数が違ってあります。一般的には次のような式で与えられます。電動機または発電機メーカーから与えられます。

(1) 3 相短絡時発生トルク

$$T_m = Ae^{\alpha t} \sin \omega t + Be^{\beta t} + C \quad (1)$$

(2) 2 相短絡時発生トルク

$$T_m = Ae^{\alpha t} \sin \omega t + Be^{\beta t} \sin 2\omega t + Ce^{\gamma t} + D \quad (2)$$

の様に表されます。

ここで、 T_m : 発生短絡トルク (Nm)

$A, B, C, D, \alpha, \beta, \gamma$: 全て定数

ω : 電源周波数 (rad/sec)

t : 短絡発生時の経過時間 (sec)

あるいはこれらの式ではなく時間推移のグラフで与えられることもあります。

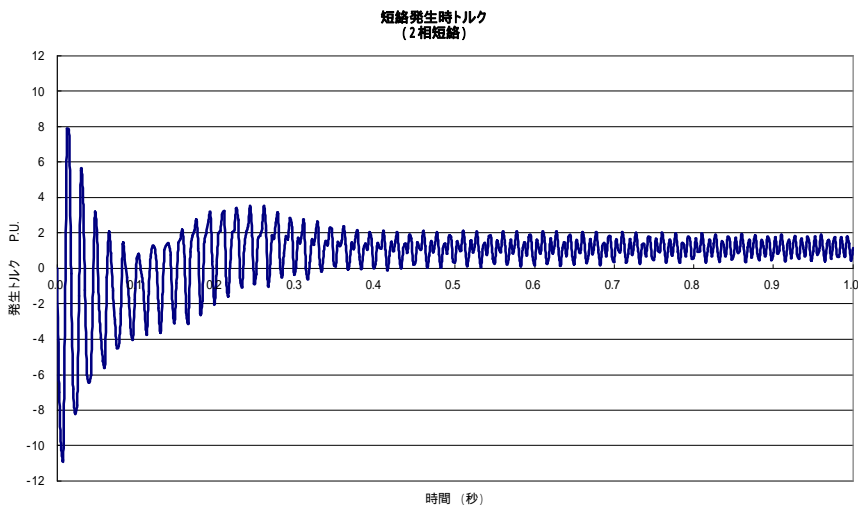
例えば、2 相短絡時のグラフの例を図 1 に示します。

メーカーから与えられるトルクとしては p.u. で与えられることが多いと思います。

これは定格トルクとの比率です。

図 1 の例では短絡事故発生直後 0.01 秒付近で定格トルクの 8 倍から -11 倍の大きなトルクが発生しています。このトルクは比較的早く減衰して 0.5 秒くらいには定格トルク程度に収まっています。

図 1 2相短絡時の発生トルク



ARMD ではねじりの Section data の入力はすんでいるものとして
軸系 System にはこのトルクは外力トルクとして External torque で入力されます。
ARMD への入力は次の式で行われます。(Torsion manual から input map より)

表 1

INPUT MAP		
Repeat line 12 >>> IEXTF <<< times		
12		The External Torque in the program is in the following form (only if INTERP = 0): Where: $F = FEXT * \cos(W * \pi / 30 * T + ANG)$ F = Torque at any time step (in-lb. or N-m). FEXT = External torque magnitude (in-lb or N-m). W = External torque frequency (CPM). PI = 3.14159265 T = Time in the time loop (SEC.). ANG = Phase angle (degree).
	INCODE	Station/Node number at which the external torque is applied. Note - Station number is the system/global node number not local branch node number.
	IBRCH	Branch number of the station where torque is applied.
	INTERP	Number of torque curve data points for interpolation. (Max. = 50 points).
	FEXT	External torque magnitude (in-lb. or N-m).
	W	Frequency of the external torque (CPM).
	ANG	Phase angle of external torque (Degrees).
	TIMES	TIME at which the external torque is applied (SEC).
	TIMEE	TIME at which the external torque is removed (SEC).

この input についての詳細は書き直すと下式のようにになっています。

$$F = F_{EXT} \cos\left(N \times \frac{\pi}{30} t + \phi\right) \quad (3)$$

ただし、

N： 外力トルク周波数 (rpm)

$\left(N \times \frac{\pi}{30}\right)$ で角速度 rad/s に直されます。

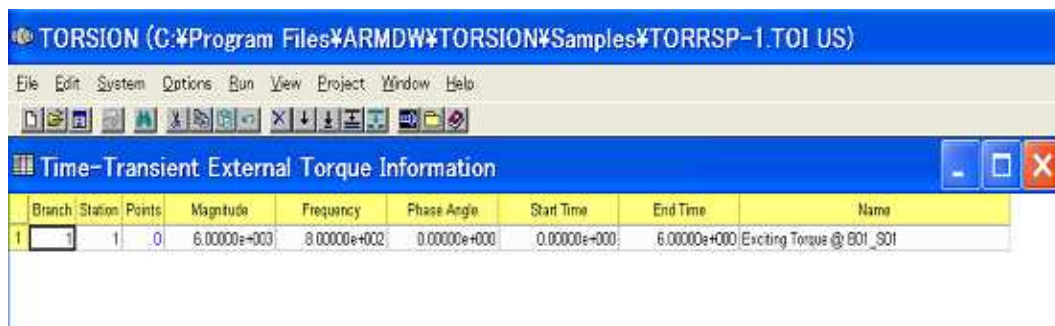
： 位相角度 degree で入力 +記号で入力します。

プログラム上では $\left(\phi \times \frac{\pi}{180}\right)$ で rad/s に変換されて解析されます。

Input map では外力周波数は $\left(\omega \times \frac{\pi}{180}\right)$ の項で とかかれています。この は cpm(rpm) 単位で入力しますので回転数の記号 N で考えた方が誤解がありません。上式では N と書き直してあります。

実際の入力画面は Options menu から Time Transient Response Time Transient External Torque Information 画面で入力します。

図 2



Branch, Station はトルクが掛かる point の Branch、Station 番号を入力します。
(Points は起動時の起動時間の解析時に負荷トルクをグラフで入力する場合に使用します。今の場合は定常運転中の外乱トルクの解析ですから使いません。) Start Time、End Time で外部トルクの掛かる時間を指定します。

次に外部トルクの値の実際の入力は上式の cos 函数で行いますので、外部トルクを cos 函数で表現する必要があります。

そのためには Fourier 級数展開を利用します。

Fourier 級数展開の詳細は省略します。数学の教科書・参考書を参照ください。

例えば

応用数学講座第 7 巻 数値計算 赤坂 隆著 コロナ社

3・5 フーリエ近似

等を参照されると良いでしょう。

Fourier 級数展開時には COS 関数と SIN 関数が一対になって現れてきますので ARMD は COS 関数のみで入力しますから、COS 関数にまとめる必要があります。

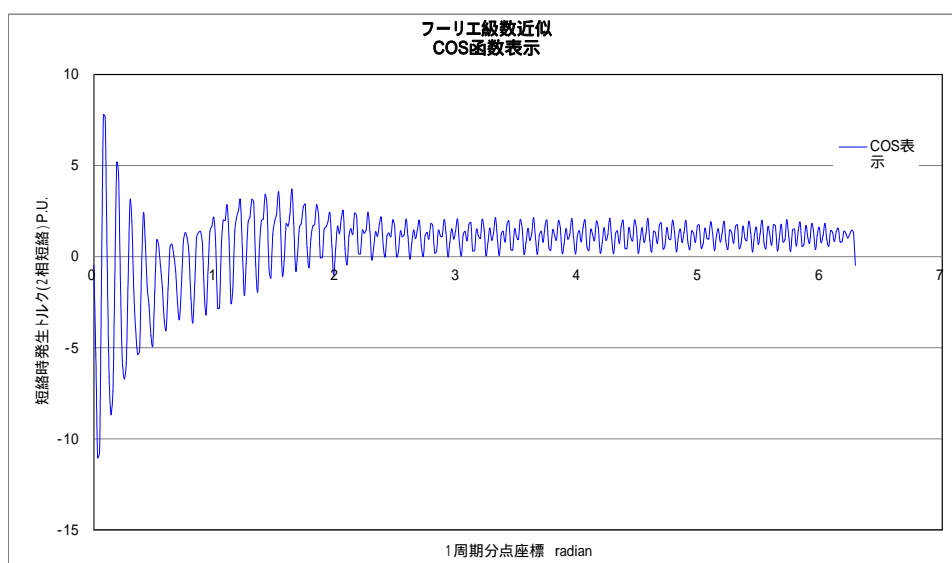
$$A \cos n\omega t + B \sin n\omega t = \sqrt{A^2 + B^2} \cos(n\omega t - \delta) \quad (4)$$
$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$$

の公式を使うと良いでしょう。ただし位相角度は - で表現されているのでご注意ください。過渡応答トルクは 1 秒前後の間掛かりますので振動波形は最小限 60 個くらいは含まれますので、級数展開する場合は(4)式の n は 40 個ぎりぎりまで多くとった方が良い近似が出来ます。

ARMD で入力できる cos の個数は 40 個が最大です。実際は級数展開で定数項もありますので n は最大 39 としておく必要があります。

図 1 の 2 相短絡時のフーリエ級数近似では cos 関数 40 個(定数項含めて)で 図 3 のような近似が行われます。ほぼ満足する結果が得られます。

図 3

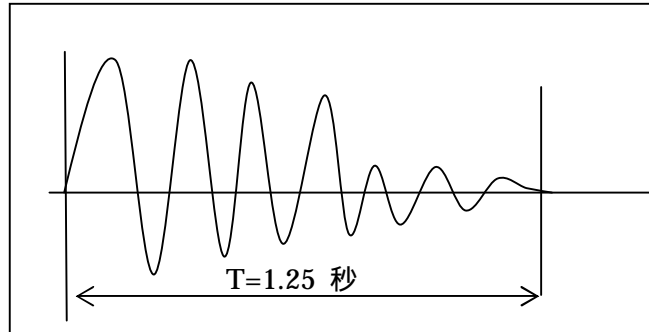


図は 1 周期分 (2 radian) を表示しています。これを外部トルクとして入力します。ここで外部トルクの入力時の cos 関数の周波数 ((1) 式の N の値) は次の考えから決定して

ください。

フーリエ級数近似したときの1周期から選定されます。電源周波数は関係ありませんのでご注意ください。

図4



例えば図のように考慮すべき外部トルクが $T=1.25$ 秒の周期で与えられた場合は、この時間を一周期分と考えたと、

この間の周波数 f は

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.25} = 0.8\text{Hz} \quad (5)$$

角速度では

$$\omega = 2\pi f = 5.026\text{rad/sec} \quad (6)$$

回転数で表せば

$$N = 60 \times f = 48\text{rpm} \quad (7)$$

となります。

つまりこの外部トルクは 1.25 秒の周期を持った 0.8Hz の基本周波数の波であることが分かります。この周期で繰り返される波形と判断されます。ただし実際に入力する波形は 1 周期分だけで良いわけです。

実際にフーリエ近似された \cos 関数の表示の結果が次式で表されるときは 上記の基本周波数を用います。

$$Tm = A_0 + A_1 \cos(\omega t - \phi_1) + A_2 \cos(2\omega t - \phi_2) + A_3 \cos(3\omega t - \phi_3) + \dots \quad (8)$$

実際の ARMD への入力 は上記の input map のように Norm でおこない、位相角度は - degree で入力することになります。

このときに全体で 40 外力トルクまでですから、定数項 A_0 があるので は 39 の項まで取れることとなります。

参考に入力例を図5に示します。

図 5

Branch	Station	Phase	Magnitude	Frequency	Phase Angle	Start Time	End Time	Name
1	1	28	0	7.3000e+001	0.0000e+000	0.0000e+000	9.0000e+001	Constant
2	1	28	C	4.7860e+004	6.0000e+001	1.5700e+002	9.0000e+001	1N
3	1	28	C	4.4936e+004	1.2000e+002	1.3400e+002	9.0000e+001	2N
4	1	28	C	3.4574e+004	1.8000e+002	1.0600e+002	9.0000e+001	3N
5	1	20	C	2.1790e+004	2.4000e+002	0.6600e+001	9.0000e+001	4N
6	1	20	C	1.2710e+004	3.0000e+002	8.5500e+001	9.0000e+001	5N
7	1	28	C	9.3303e+003	3.6000e+002	9.9700e+001	9.0000e+001	6N
8	1	28	C	9.2364e+003	4.2000e+002	1.0500e+002	9.0000e+001	7N
9	1	28	C	8.9569e+003	2.6400e+003	1.4600e+002	9.0000e+001	48N
10	1	28	C	1.0156e+004	2.7500e+003	1.4200e+002	9.0000e+001	45N
11	1	20	C	9.8100e+003	2.7600e+003	1.2700e+002	9.0000e+001	46N
12	1	20	C	9.9512e+003	2.6200e+003	1.4400e+002	9.0000e+001	47N
13	1	28	C	1.2032e+004	2.9800e+003	1.4400e+002	9.0000e+001	48N
14	1	28	C	1.2647e+004	2.9400e+003	1.3600e+002	9.0000e+001	49N
15	1	28	C	1.2598e+004	3.0000e+003	1.4100e+002	9.0000e+001	50N

入力例では Branch 1 の Station 28 にトルクが作用するものとして解析しています。全体で 40 個の外力トルクを入力しています。基本周波数は 60rpm の例です。したがって 1 周期は 1 秒の波形ですが、波形が決まるとその波形を何秒間作用させるかは自由に選べます。図 5 の例では外力トルクは 0~0.9 秒間作用するように入力されています。例では 1 番に constant (Fourier 解析の定数項) が来ています。

2 番には 1N 成分がきます。そのほか 2N、3N、・・・と入力しています。

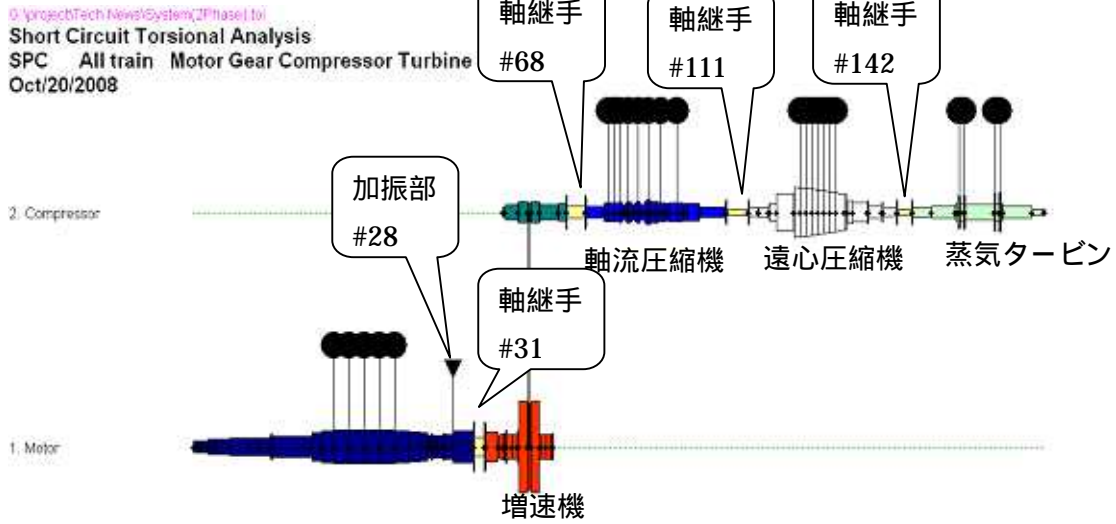
Fourier 解析結果 8N から 43N までは値が大きくないので省略しています。値の大きいものを順に 40 個とれば良いわけです。ただしそれで十分に外力が近似表現できることが必要です。

軸系の形状は図 6 のようなものです。この系の最低次のねじり固有振動数は 449Hz と計算されています。

モータの短絡時に発生する外乱トルクはモータの回転子のどの部分から発生するかという詮索は置いておきまして、分かりやすくモータのカップリング端 (Section #28) にかかるものとして解析進めた例で示します。

このトルクを入力して解析した結果は参考に出力しますと以下ようになります。出力はこの軸系の各軸継手の位置で出力しています。

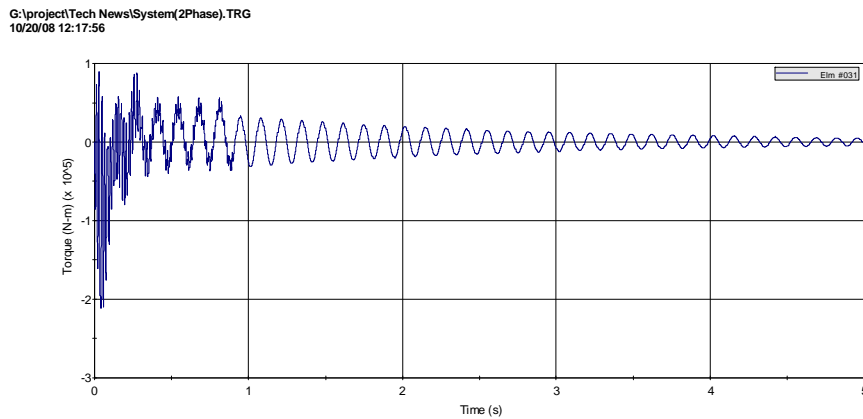
図 6



部位別トルク出力例を以下に各継手部で示します。

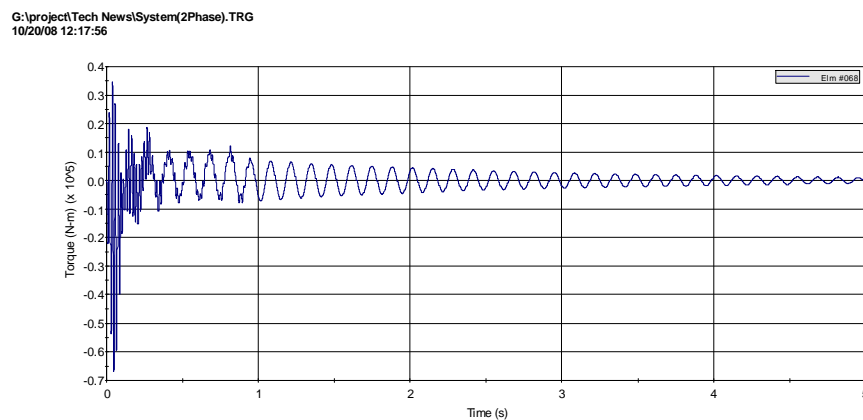
(1) #31 軸継手部

図 7



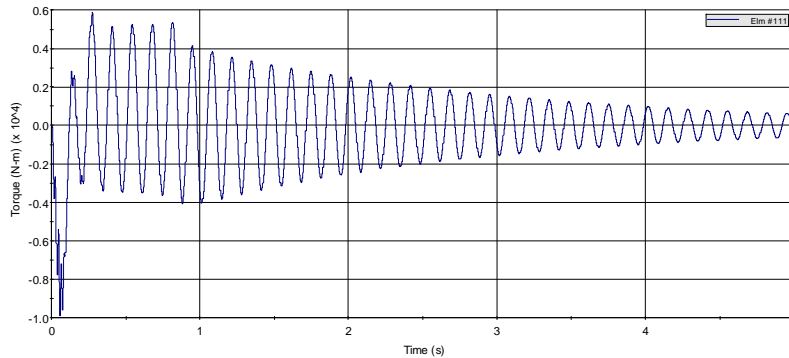
(2) 軸継手 #68 部

図 8



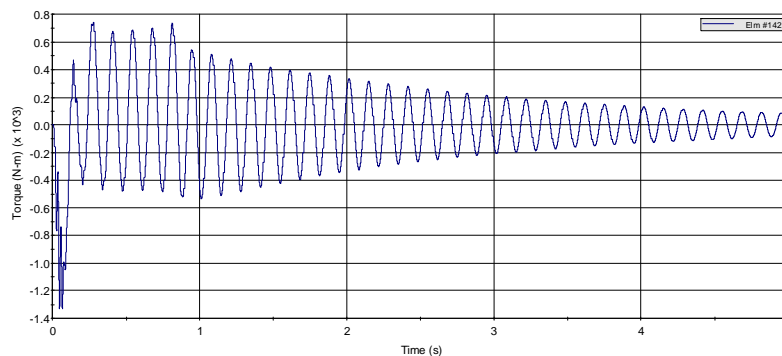
(3) 軸継手 #111 部

図 9 G:\project\Tech News\System(2Phase).TRG
10/20/08 12:17:56



(4) 軸継手 #142 部

図 10 G:\project\Tech News\System(2Phase).TRG
10/20/08 12:17:56



上記 4 つの部位のねじりトルク応答はモータから離れるにつれて下表のように小さくなっています。

表 2

部位	ねじりトルク応答最大トルク振幅 Nm
#31	300000
#68	100000
#111	17000
#142	2000

以上のトルク応答は(1) 部位#31 では過渡応答解析の外力は 0.9 秒間作用するように入力していますので、0.9 秒間を境にして波形が違ってきます。

出力は初めの 0.9 秒付近までは加振周波数の 60Hz に近い周波数とその 2 倍の高調波の 120Hz 付近の周波数が出ておりますが、その後ほとんどが系のねじり固有振動数(自然振動数)で 1 次の固有振動数 449rpm (= 7.48Hz) で振動しており、5 秒程度でゆっくりと減衰していることが分かります。

(2) 図 8、(3) 図 9、(4) 図 10 と加振部から離れるにしたがって加振外力の影響は小

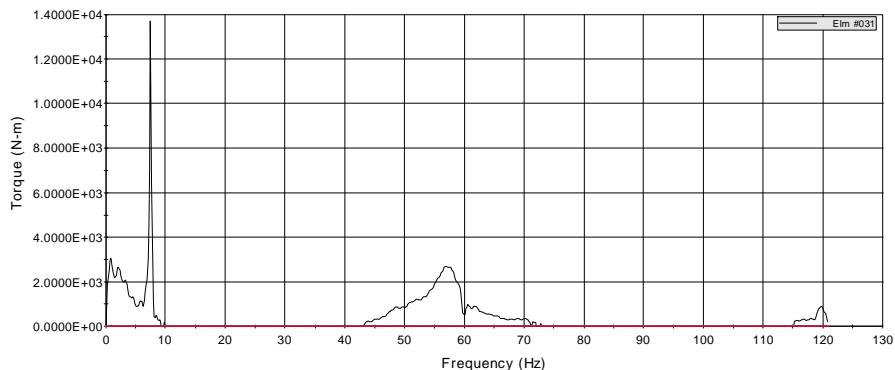
さくなっていることが分かります。

出力トルク波形の周波数を ARMD の FFT 機能を使ってしらべると次の様になっています。

(1) 軸継手 #31 部の FFT 解析(周波数分析)

図 1 1

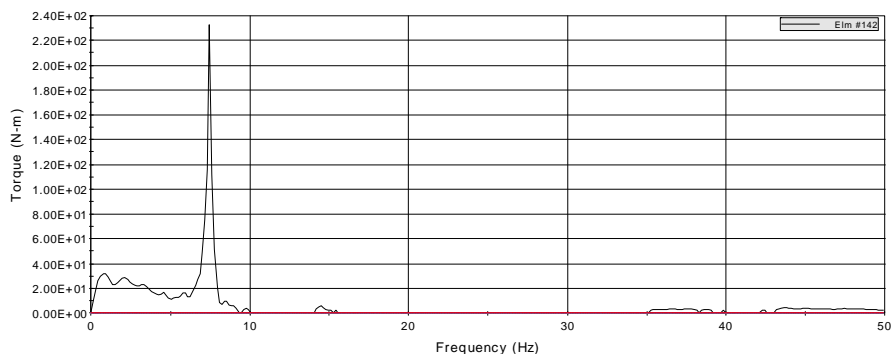
G:\project\Tech News\System(2Phase).TRG
10/20/08 12:17:56



(2) 軸継手部#142 部の FFT

図 1 2

G:\project\Tech News\System(2Phase).TRG
10/20/08 12:17:56



#142 では外力による加振はほとんど減衰して軸系の 1 次固有振動数 449Hz(=7.4Hz) で自然振動していることが分かります。

以上で 2 相短絡の場合のねじり過渡応答解析の例を紹介しました。

以上