共振型揺動箴框とその起動特性について* (第1報)

(昭和30年8月11日受理)

会 員 保 科 正 吉**
遠 藤 忠

→ 摘 要 ←

研 究 目 的

(1) 揺動箴框にバネを附して固有振動数をもたせ、クランク軸からの強制振動と共振させた時電動機の負荷変動を調べる。

(2) 上記のような共振型揺動箴框をもつ織機を起動せしめる時の過渡現象を明らかにし、結局如何なる条件において起動せしめればよいかを検討する。

研 究 結 果

(1) 揺動箴框にバネを附して外部からの強制振動に大体共振せしめると箴框の揺動による負荷の変動は殆んどなくなり電動機入力電流はほぼ一定になる。共振から外れた状態においても箴框の慣性が打消されて負荷変動が少くなる。

(2) バネを附した場合の起動はクランク円の前心又は後心及びそれを若干越した角度から行えば過渡状態が速かに終了し定常状態に直ちに入る。しかし反対に前心又は後心の若干手前から起動しようとする、過渡現象が大きくあらわれ、ある場合には起動し得ない場合も起るからこのような角度で起動すべきではない。

1. 緒 言

力織機における主要運動である箴框の揺動は箴框の慣性能率が相当大であるため、この揺動を行わしめるに必要な回転力は4周期毎に正負に大幅に変動しこれが織機の回転むらの原因となる。このような回転むらを軽減するため従来はクランク軸に弾み車を装着してあるが、あまり大きな弾み車を用いると起動時の過渡回転力が大になって、起動が困難になるから余り大なる弾み車は用いることができず、従ってこのような織機にあっては回転力の変動或は回転むらは避けられない。筆者等はこのような回転むらをなくするため箴框脚にバネを取付け、箴框の慣性能率をこのバネを用いて打消すことにより慣性による回転力の変動を全く除去するか或は軽減することを試みた。衆知の通り振動系においてバネの性質は慣性とは 180° の位相差を有している故慣性体とバネを組合わせれば自由振動を起し、又外部からこの系に強制振動を加える時その慣性体の質量或は慣性能率とバネの強さを適当に取れば強制振動周波数と共振せしめることができ摩擦に打勝つだけの小さい力を加えてやるだけで振動を持続でき、又回転力の変動従って回転む

らが全然なくなる。又完全に共振状態に持ち来たさない場合にもバネによって慣性力は打消されるから慣性体のみの場合よりも小さい力で駆動でき回転力の変動もずっと少くすることができる。しかしこのような事柄は定常状態においては極めて自明の事柄であるが、さてこのような織機を起動する時はどうであろうか。そこでこのような織機の起動時における過渡現象を解いて見た。その結果ある特定の角度からすればバネを附した方が過渡現象が少く、直ちに定常状態に入りその後は勿論上述のように回転力の変動が全然ないという風に理想的運転ができることがわかった。

2. 織機の起動時における過渡現象

第1図に示す如く箴框の下部にバネを取付けクランク角 θ から急に起動した時の箴框の運動を考える。一般に箴框は大きな慣性能率をもっているからこれを急に一定速度に加速するためには無限に大きな力を必要とし起動し得ない。しかし伝動機構としてベルト或はクラッチ等を用いるとこれには必ず滑りがあるから、この滑りを介して徐々に加速され駆動部の速度と被駆動部の速度が等しくなるまで加速されると滑りが止んで定常状態に入る

* On the Resonance Type Slay and Its Starting Characteristics. Part 1.

** M. Hoshina, Member. 山形大学工学部 T. Endo, 山形大学工学部

と考えられる。これまでが過渡現象で箴框の速度は徐々に上昇し駆動力は無限大でなくても起動できる。このような滑りにより駆動される振動系の過渡現象は非線型の問題で取扱い難く今までこれの解は寡聞にして知らない。筆者等はこのように滑りを介して駆動される揺動箴框の運動方程式を立てこれを数値積分により解き、しかして箴框の速度がクランクの速度と等しくなるまでの解を求めそれ以後は定常状態の運動とつなぎ合わせることにした。

(第1図) バネを附した箴框脚と各部記号

第1図の運動系において前述のように滑りを介して力加わるとしこの力を F とすると

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \eta \frac{d\varphi}{dt} + Kr^2\varphi \pm R_e = \frac{FL}{\cos\theta} \quad \dots\dots\dots(1)$$

(第2図) 後心より起動した場合、時間に対する角変位、
(a) 時間 t : 箴框角 φ , (b) 時間 t : クランク角 θ

但し I : 箴框の慣性能率

η : 粘性摩擦係数

K : バネ定数

R_e : 固体摩擦係数

φ の値は小さいから $F/\cos\theta$ の力は箴框に常に直角に働くとし駆動トルクを $FL/\cos\theta$ とした。固体摩擦の性質として摩擦力は摩擦面の状態と圧力のみの函数となり摩擦物体間の相対速度には無関係として差支えないから F は一定とした。従って $FL=T$ と置くと T = 一定である。又 η 及び R_e は他の項に比べて極めて小さいのでこれを省略し更に変形すると (1) 式は (2) 式の如くなる。

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + Kr^2\varphi = \frac{aT}{\sqrt{a^2 - L^2\varphi^2}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

(2) 式において $\theta = \pi/2$, 即ち $L\varphi = a$ の時は右边 = ∞ となってこの方程式は不成立になるが数値積分の時、極限値を求めることにより困難を避けた。

(2) 式を変数分離で積分すると結局 (3) 式が得られる。

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{1}{\sqrt{2} \left\{ \frac{Ta}{L} \sin^{-1} \frac{L}{a} \varphi - \frac{1}{2} Kr^2 \varphi^2 \right\}} d\varphi = t + C_2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

但し C_1, C_2 は積分常数である。

(3) 式は普通の解析的方法では積分の遂行は不可能であるから実際には梯形法による数値積分を行った。

この数値計算に採用した諸数値は

$I = 34 \text{ kg-m}^2$, $a/L = 0.11$, $r = 0.5 \text{ m}$, $K = 0 \sim 5000 \text{ kg/m}$, $T = 5 \text{ kg-m}$ 等で K, T を除いた外は全部現用の力織機について測定した実測値である。又 K の値は $K = 0$ 即ちバネを全然用いない普通の織機の場合及び $K = 3000 \text{ kg/m}$, $K = 5000 \text{ kg/m}$ の3例について計算した。これ等のバネを附した場合の箴框の固有振動数はそれぞれ 140 c.p.m., 181 c.p.m. である。従って織機の回転数を 140 c.p.m., 181 c.p.m. として各場合の計算を行った。なお (1) 或は (2) 式の計算においてはプーリー等回転部分の慣性は考慮していないことを附言して置く。

3. 計算結果

第2図(a) 箴框角 $\varphi = -6.3^\circ$, クランク角 $\theta = -90^\circ$ 即ち後心より起動した場合時間に対する角変位を示す. 又同図(b) は同じくこの状態より起動の場合の時間に対するクランク角変位を示すものであり, 図中 $n = 140 \text{ c.p.m.}$, $n = 181 \text{ c.p.m.}$ の一定速度で回転しているとした時の時間に対する角変位を示してある. これにより明かなようにこの直線と前の曲線の傾斜が等しくなった点が一定速度に達した点でそれ以後は過渡現象が終了して定常速度で運転することになる. この角度から起動した場合は図から明かなようにバネを付した場合も附加しない場合も共に起動点において直ちに定常状態に移行することがわかる. ただバネを付した場合その加速曲線は定常運転の直線より傾斜は急であるから運動を助けるように働き回転部分の慣性による過渡現象を打消してより一層早く定常状態に入り得ることになる.

次に箴框角 $\varphi = -5.5^\circ$ の点即ちクランク角 $\theta = -60^\circ$ より起動した場合の時間に対する φ 及び θ の角変位を第3図(a) 及び(b) に示す. 前述同様にして定常回転速度に達する迄の時間を求めると $K = 0$ の場合 $n = 140 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.465 sec , $n = 181 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.475 sec となり, $K = 3000 \text{ kg/m}$ のバネを付した場合 $n = 140 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.085 sec , $n = 181 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.175 sec で定常状態となる. 更にバネの強さを増して $K = 5000 \text{ kg/m}$ とすれば $n = 140 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.055 sec で定常状態となり $n = 181 \text{ c.p.m.}$ に対しては 0.075 sec で定常状態となることが知られる. 従ってバネを付した場合はバネを附加しない場合に比べて著しく過渡時間が短く容易に定常状態になる.

次に $\varphi = -3.1^\circ$ 即ちクランク角 $\theta = -30^\circ$ より起動せしめた場合の加速曲線を求めて見ると第4図(a), (b) のようになる. この図において $K = 3000 \text{ kg/m}$ 及び K

(第3図) 箴框角 $\varphi = -5.5^\circ$ より起動した場合の時間に対する角変位
(a) 時間 t : 箴框角 φ , (b) 時間 t : クランク角 θ

(第4図) 箴框角 $\varphi = -3.1^\circ$ より起動した場合の時間に対する角変位
(a) 時間 t : 箴框角 φ , (b) 時間 t : クランク角 θ

$= 5000 \text{ kg/m}$ の場合は $n = 140 \text{ c.p.m.}$, $n = 181 \text{ c.p.m.}$ の直線と接する点は遂になく従ってこのようなバネを附してこの角度から起動することは不可能であることがわかる. これに対してバネを附加しない普通織機は起動し得るが過渡継続時間は長く $n = 140 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.5 sec , $n = 181 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.526 sec という比較的に長い時間を要することが知られる.

次に $\varphi = 0^\circ (\theta = 0^\circ)$, $\varphi = +3.1^\circ (\theta = +30^\circ)$, $\varphi = +5.5^\circ (\theta = +60^\circ)$ の各角度より起動した場合を考えるに $K = 3000 \text{ kg/m}$, $K = 5000 \text{ kg/m}$ のバネを付した場合は全部起動し得ず, それに対してバネを附加しない普通の織機の場合はいずれも起動し得るがその過渡時間はそれぞれ次の如くなる. $\varphi = 0$ より起動の場合 $t = 0.365 \text{ sec}$

(第5図) 箴框角 $\varphi = 0, \varphi = +3.1^\circ, \varphi = +5.5^\circ$
より起動した場合の時間に対する角変化

(第6図) 始動時におけるクランク角 θ_0 に対する過渡継続時間 (但し $n = 140$ r.p.m. の場合)

($n = 140$ c.p.m. に対し), $t = 0.38$ sec ($n = 181$), $\varphi = +3.1^\circ$ の場合 $t = 0.245$ sec ($n = 140$), $t = 0.25$ sec ($n = 181$), $\varphi = +5.5^\circ$ の場合 $t = 0.093$ sec ($n = 140$), $t = 0.095$ sec ($n = 181$) となる。これ等の関係を図に示すと第5図の如くなる。以上第2～5図の結果をまとめてクランク円の各位置より起動した時の過渡時間の長さを示すと第6図の如くなる。図より明らかに後心より起動することが最もよくそれに対して上心, 下心附近より起動することはよくない。又バネを附加した場合も後心より起動するか或はそれより若干過ぎたところより起動することが必要でそれ以外から起動し得ないことがわかる。従ってこのようなバネ付きの共振型箴框装置となした場合は停止位置を常に後心附近に止めるよう何等かの特別な装置を追加し、起動は上述のように後心及びそれより若干過ぎたところよりなす如く工夫する必要がある。そのような装置はそれ程むずかしいことはなく割合簡単な機構で済むから共振型箴框と限らず普通織機に應用してもよい結果が得られることは上の結果から明らかである。

次に上述のような起動時におけ

(第7図) 箴框始動時における過渡現象, (a) バネ無し, 始動角 $\varphi_0 = -5.5^\circ$, $n = 140$ c.p.m., (b) バネ無し, 始動角 $\varphi_0 = -5.5^\circ$, $n = 181$ c.p.m., (c) バネ付き, $K = 3000$ kg/m, $n = 140$ c.p.m. (共振) $\varphi_0 = -5.5^\circ$, (d) バネ付き, $K = 5000$ kg/m, $n = 181$ c.p.m. (共振) 始動角 $\varphi_0 = -5.5^\circ$

(第8図) 起動時における箴框角速度 (a), (b), (c), (d) は第7図の (a), (b), (c), (d) にそれぞれ対応

(第9図) 起動時にコネクティング ロッドに加わる力 (a), (b), (c), (d)は第7図の(a), (b), (c), (d)にそれぞれ対応

び $n=181$ c.p.m. に共振させ同じく $\theta = -60^\circ$ より起動した場合を同図(c), (d)に示す. この図より明かなように(a), (b)の場合は共に一定速度に達するまでには多くの時間を要するのに対し(c), (d)は殆んど直ぐに定常運転に入ることがわかる. 又このような起動時の箆框速度を時間に対して描いて見ると第8図のようになり更に又箆框を駆動する連結桿に加わる力を求めて図に示すと第9図の如くなる.

このように普通織機の場合は力は

大きく変化するが共振型の場合は起動時に短時間力を与えるだけで後は完全に力は零で振動を続けることになる. 勿論抵抗分に対する力が必要であり更に又連結桿の長さが短いと第3高調波分が出てくるのでそれに対する力が必要となるが, これらも普通織機の場合に比べると全体的に比べて比較にならぬ程小であるから駆動特性は著しく改善されることは明らかである.

4. 実 験

豊田式綿織機にバネを取付けこの織機を $\frac{1}{2}$ HP 3相誘導電動機によりVベルトを介して駆動した場合の電動機入力電流を測定することにより電動機にかかる負荷の大体の変化を観測した. 電動機の電流そのものが負荷の大きさではなく更に力率も考慮に入れる必要があることは勿論ではあるが, それでもなお電流を見ればその負荷の変動を知ることができる. それは3相誘導電動機特性上負荷が軽くなれば力率が低下し負荷が大となればその反対であり力率が電流と無関係に変わるということがないからである. このような観点から電動機に直列に計器用変流器を入れこの2次回路電流を全波整流して電磁オシログラフに入れてその振れを撮影した.

第10図は $\varphi_0 = -5.5^\circ$ 即ちクランク角 $\theta_0 = -60^\circ$ から起動した場合の電動機電流で織機の回転数 $n = 135$ c.p.m., 固有回転数 $n_s = 130$ c.p.m. で殆んど共振状態に近い場合である. このオシログラムから明かなように織機を回転せしめても電流の変化は殆んどなくその大きさは無負荷の場合と大体変りなく箆框の揺動のための電力消費は大体零であることが知られる. 次に同じ条件で $\varphi_0 = 0^\circ$ 即ち $\theta_0 = 0^\circ$ 即ち上心(或は下心)より起動し

(第10図) バネ付き箆框固有回転数 $n_s = 130$ c.p.m. のものを $n = 135$ c.p.m. で駆動した場合の電動機入力電流のオシログラム, 但し始動箆框角 $\varphi_0 = -5.5^\circ$

(第11図) バネ付き箆框固有回転数 $n_s = 130$ c.p.m. のものを始動箆框角 $\varphi_0 = 0^\circ$ から $n = 135$ c.p.m. で駆動した場合の電動機入力電流のオシログラム

(第12図) バネ無し普通織機を始動箆框角 $\varphi_0 = -6.3^\circ$ (後心) より $n = 120$ c.p.m. で駆動した場合の電動機入力電流のオシログラム

る過渡状態から定常状態に移行する経過即ち起動時の過渡現象を図に示すと第7図のようになる.

同図(a), (b)はバネを全然附加していない普通織機の起動を $\varphi = -5.5^\circ$ 即ち $\theta = -60^\circ$ より行った場合で(a)は $n = 140$ c.p.m., (b)は $n = 181$ c.p.m. の場合を示す. これに対してバネを附加して $n = 140$ c.p.m. 及

た場合の測定結果を第11図に示す。この場合過渡時間は非常に長く起動が容易でないことが示されてある。上述の計算の結果においては起動不可能の領域に属するが実験を行ったのはVベルトであるため摩擦力が割合大きく、従ってこのような角度からもとに角起動できたものと思われる。第12図は上の実験と比較のためバネを附加しない普通の織機を用いた場合の電動機電流を測定した結果である。起動時のクランク角 $\theta_0 = -90^\circ$ 即ち後心からの起動の場合であって、計算の結果によればこの場合過渡現象はないことになるが測定の結果は明らかにあらわれている。それは前にも断つてある通り計算においては回転部の慣性による影響を考慮していないからで、この点実験のものと合わないことになる。その点多少の修正が必要であるが、しかし起動特性の大体を知る上において計算結果は割合有効であることはいうまでもない。このバネを附加しない場合にあっては過渡現象終了後定常状態に入った後も電流の変化は大幅にあらわれ、クランク軸にかかる力の変化或は電動機負荷の変動が非常に大きいことが知られる。

なお以上の実験はすべて投杼機構並びに開口装置を取外して行ったから実際の製織状態の織機においては負荷変動はこれより大きいことになる。

5. 結 言

揺動機構脚にバネを取付けそれ自身固有振動数を持たせ、これを駆動回転数と一致させるようにすると、電動機負荷の変動がなくなり、従って全体の効率も向上し又織機の起動もある特定の角度からではあるが、極めて円滑且つ速に行われることを知った。なお上の共振という条件はそれ程厳格な条件ではなくかなり共振から離れたところにおいても相当有効である。

最後に本研究に御鞭撻或は御指導を賜った本学前学長森博士、繊維工学科田中博士、種々有益な御助言を賜った同科松田、堀越両氏並びに実験を熱心に行った学生奥山英男君に深甚の謝意を表し、更に本研究に多大の補助を賜った山形県当局に対して深謝する次第である。

繊維機械学会誌別刷・研究資料在庫一覧表

題 目	著 者	定 価 円
ポット精紡機の研究 (第1報, 第2報)	藤 井 澄 二 外	4 0 円 8 円
服地としてのビニロン混紡	左 納 源 一 郎	3 0 円 8 円
最近の樹脂加工の二, 三の問題	斉 藤 檜 夫	3 0 円 8 円
針布基体の製作研究について	三 上 豊 三 郎	3 0 円 8 円
特許より見たる化学繊維機械 (1)	横 内 豊 彦	2 0 円 8 円
加熱機構に関する最近の研究について	藤 野 清 久 外	3 0 円 8 円
OS梳綿機について	大 西 弘 外	4 0 円 8 円
化繊工場におけるヒート ポンプと温湿度調整	柳 町 政 之 助	4 0 円 8 円
ザウラ 100W 型自動織機機構の解説	原 田 利 一	3 0 円 8 円
カレンダロール, サンフォライジング仕上赤外線乾燥について	(研究資料 No. 2)	1 2 0 円 8 円
自動制御論 (特に染色工業を例として)	(研究資料 No. 3)	5 0 円 8 円
化 繊 総 表	(研究資料 No. 5)	1 0 0 円 8 円
スピニング ポットの研究	(研究資料 No. 6)	1 0 0 円 8 円
繊維工場におけるカラー コンディショニングについて	(研究資料 No. 7)	7 0 円 8 円
オートマチック カード ストリップの研究	(研究資料 No. 8)	1 2 0 円 8 円