D-2 デジタル VTR 用テープ駆動システム

正会員 鹿 庭 耕 治[†], 正会員 西 島 英 男[†], 反 橋 智 英[†]
 正会員 藤 田 浩 司[†], 稲 場 雄 二^{††}, 片 山 博^{†††}

1. ま え が き

近年のデジタル・半導体技術および高記録密度技術の急速な進歩に伴い、従来のアナログ記録の VTR に比べて、数々の優れた特長を有するデジタル記録の VTR が出現してきた。特に SMPTE においてタイプ D-2 として規格化されたコンポジット信号のデジタル記録フォーマットは、現行放送局の信号体系にマッチしたものであり、ポスト 1 インチ C-VTR のデジタル VTR 規格となる可能性を有する。

この D-2 規格 VTR の開発では、高品質の映像音声、優れたダビング性能等のデジタル記録としての基本性能はもちろんのこと、表 1 に示するような広範囲の可変速再生による操作性の向上と、高信頼性を実現するサーボ系の高性能化が重要なポイントとなる。筆者らはこのサーボ系の開発に携わっており、本報告では、テープ駆動、特にリール駆動によるテープ走行制御と可変速再生対応の再生データ伝送レート制御を中心に述べる。

2. サーボ制御系の構成

今回開発した D-2 VTR のサーボ制御系を図 1 に示す。テープ走行制御系は、ドラム面のテープテンションを一定にし、安定な記録再生を確保すると共に、広範囲な可変速再生を実現する必要がある。そのため、低速域の速度制御を行うキャプスタン制御系と高速域の速度制御およびテープテンション制御を行うリール制御系を設けている。

また、可変速再生においてもデータの検出を可能とするため、再生データの伝送レート変化を一定値以下にすると共に、データストロブ用クロック（再生データに同期したデータ抽出用クロック）を発生する PLL の中心周波数を、テープとヘッドの相対速度から補正する構成にしている。これらの制御に必要な信号処理はマイクロコンピュータを用いて行っている。以下、リール制御系と再生データ伝送レート制御について述べる。

3. リール制御系

リール制御系を開発する上で最も問題となる点は、リールの巻径がテープの走行に応じて変化することである。さらに D-2 VTR では、使用カセットテープとして L, M, S の最大テープ長の異なる 3 カセットに対応している。そのため、リールの巻径は最大で 4 倍程度変化し、モータ系を含めたイナーシャは図 2 に示すように、各カセットの巻径により最大 20 倍程(当社セット値) 変化する。そこで、リール巻径の高精度計算をもとに図 3 に示す構成のリール制御系を開発した。

3.1 リール巻径計算

リールの巻径計算は、キャプスタン駆動時とリール駆動時で異なり、例えば以下のように行われる。

まずキャプスタン駆動時は、キャプスタンによるテープ走行速度と供給および巻取りリールによるテープ供給／巻き取り速度が等しく、キャプスタン径が既知であることより(1)式により求める。

$$V = \frac{2\pi R_c}{T_c} = \frac{2\pi R_s}{T_s} = \frac{2\pi R_t}{T_t} \quad \text{より}$$

$$R_s = \frac{R_c T_s}{T_c}, \quad R_t = \frac{R_c T_t}{T_c} \quad (1)$$

ここで、 V はテープ速度、 R_c , R_s , R_t はキャプスタン、供給リール、巻取りリールの半径、そして T_c , T_s , T_t はキャプスタン、供給リール、巻取りリールの回転周期である。

[†] 株式会社日立製作所 映像メディア研究所

^{††} 株式会社日立製作所 ハイビジョン戦略開発本部

^{†††} 株式会社日立製作所 日立研究所

“Tape Driving Servo System for D-2 Digital VTR” by Koji Kaniwa, Hideo Nishijima, Tomohide Sorihashi, Koji Fujita (Image & Media System Laboratory, Hitachi Ltd., Kanagawa), Yuji Inaba (HDTV Systems Division, Hitachi Ltd., Ibaraki) and Hiroshi Katayama (Hitachi Laboratory, Hitachi Ltd., Ibaraki)

表 1 可変速再生仕様

機 能	仕 様
SHUTTLE	STILL, $\pm 2^*$ ($n: -5 \sim +5$), ± 40 , ± 50 , ± 60 $\pm 1/32 \sim \pm 4 \rightarrow$ キャプスタン駆動 $\pm 1/4 (\pm 8) \sim \pm 60 \rightarrow$ リール駆動
JOG	テープをシャトルノブの回転速度に応じた速度で走行 ($-3 \sim +3$)
VAR SLOW	0, $(\pm 1/30 \sim \pm 16/30: 1/30\text{step})$ $(\pm 18/30 \sim \pm 28/30: 2/30\text{step})$ $\pm 1, +1.2, +1.4, +1.7, +2$, $+2.3, +2.6, +3$ 倍
VAR PLAY	シャトルノブにより, 0.1%ステップでテープ速度を $\pm 15\%$ 増減
調相機能 (テープスピード オーバーライト)	シャトルノブにより, ノーマル速度の $\pm 15\%$ の範囲でテープを走行 (VAR SLOW モード)

図 2 リール巻径とイナーシャ

図 1 D-2 VTR サーボ制御系

一方, リール駆動時の巻径計算は, 供給リールと巻取リールの回転周期から, キャプスタン駆動時にあらかじめ計算しておいたテープ巻面積 S を用いて (2) 式により求める. $S = \pi R_s^2 + \pi R_t^2$: 一定 より,

$$R_s = \sqrt{\frac{S}{\pi[1 + (T_s/T_t)^2]}}$$

$$R_t = \sqrt{\frac{S}{\pi[1 + (T_s/T_t)^2]}} \quad (2)$$

3.2 フィードフォワード制御系

本システムにおけるリール系の運動方程式は (3) 式で表される.

$$\frac{J}{R} \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{BV}{R} + Q = \tau \quad (3)$$

図 3 リール制御系の基本構成

ここで, J : 回転体のイナーシャ

R : リール巻半径, V : テープ速度

B : 粘性摩擦係数, Q : 負荷トルク

τ : 駆動トルク ($= K\tau \cdot I$)

I : 駆動電流, $K\tau$: トルク定数

これにより定常時に, 各リールで所定のテープエンション F を発生させるために必要な駆動電流は, (4) 式で表される. $dV/dt=0$, $Q=F \cdot R$ より,

$$I = \frac{B \cdot V}{K\tau \cdot R} + \frac{F \cdot R}{K\tau} \quad (4)$$

一方, 加速/減速を行う過渡時のフィードフォワード速度制御は, 先の (3) 式と (4) 式の差分である (5) 式がリールモータの制御電流となる.

$$I = \frac{J}{K\tau \cdot R} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (5)$$

ここでイナーシャ J は, (6) 式で表される.

$$J = J_m + J_h + J_r + J_t \quad (6)$$

J_m : モータイナーシャ, J_h : リールサブイナーシャ

J_r : リール台イナーシャ, J_t : テープサブイナーシャ

また, テープイナーシャ J_t はテープの巻量により

(7)式で表される.

$$J_t = \pi b \rho (R^2 - R_h^2) / 2 \quad (7)$$

ここで, R : リール巻半径, R_h : ハブ半径

b : テープ幅, ρ : テープ比重

以上のことより, 必要とする加速度およびテンション値から, 各リールモータへ印加すべき電流をリール巻半径 R に応じて決定すれば, 両リールはカセットやリール巻半径に依存せず同じ加速度を発生するので, 相互干渉せずに一定の加速あるいは減速することが可能となり, 不要なテープテンション変動はなくなる. ただし, このフィードフォワード制御系だけでは, テープの摩擦係数のバラツキ等の影響により, 安定なテープ走行制御を行うことは難しい. そこで, 以下のフィードバック制御系を設けている.

3.3 フィードバック制御系

本システムのフィードバック制御系は, 速度制御を巻取りリールで行い, テンション制御を供給リールで行う構成としている. 速度制御は, 巻径計算により得られた巻取りリール半径と巻取りリール回転周期からテープ速度を検出し, 目標速度との差分を巻取りリールモータへフィードバックして行う. テンション制御は, ドラムと供給リール間に設置したテンションセンサにより検出し, 目標テンションとの差分を供給リールモータへフィードバックして行う. これにより, 巻取りリールが所定の速度でテープを巻き取り, 供給リールが一定のテンションになるようにテープを供給するので, 速度およびテンションは一定に保たれる.

以上述べてきたリール巻径計算, フィードフォワード制御系, フィードバック制御系の構成を図4のブロック図に, その動作を図5のフローチャートに示す. 図4において, 破線内に示す部分がサーボマイコン内の処理である. また, フローチャートにおける速度制御の定常状態と過渡状態の判断は, 速度誤差によるフィードバック電流と先の(5)式から求めたフィードフォワード加減速電流の大小比較により, フィードバック速度誤差電流が大きい場合を過渡状態とし, 各リールの巻径およびイナーシャに応じた加減速電流を両リールモータに供給するようにしている.

4. 再生データ伝送レート制御

ヘリカル走査におけるテープとヘッドの相対速度 V_r は(8)式で表される.

$$V_r = \sqrt{V_t^2 + V_h^2 + 2V_t V_h \cos \theta} \quad (8)$$

ここで, V_t : テープ速度, V_h : ヘッド速度

θ : 停止時のトラック傾斜角

したがって, シャトル再生時に, ただ単にテープ速度

図4 リール制御系ブロック図

図5 リール制御系動作フロー

を変化させるとテープとヘッドの相対速度は, ± 60 倍速で約 $\pm 30\%$ 変化する. この相対速度の変化は再生データの伝送レートの変化となり, 再生信号波形等化回路の設計およびデータ抽出用クロックの発生が難しくなる. この改善策として, ドラム回転数をテープ速度にあわせて可変にすることが考えられるが, ドラムの高速回転に伴う安定なヘッドタッチの確保と騒音等の問題が生じる.

そこで, 今回開発したシャトル再生システムは, 図6に示す構成とし, 両者を組合せてそれぞれ約 15% ずつ補正するようにした. すなわち, テープ速度が ± 32 倍速まではドラム速度を一定に保ち, テープ速度に応じてクロック発生用 PLL の中心周波数を最大 $\pm 15\%$ 補正する. そして, ± 32 倍速を超える場合に対しては, テープ速度検出手段よりドラムの速度指令を出力し, ドラム回転速度をテープ速度に応じて制御し, 再

図 6 シャトル再生システム

図 7 テープ速度対データ伝送レート

図 8 テープ速度対ドラム速度

生データの伝送レート変位を±15%以内に収める。以上のシャトル再生における、テープ速度対データ伝送レートおよびテープ速度対ドラム回転速度の関係を図7と図8に示す。なおこの場合、テープ速度系とヘッ

ド速度系の応答時間の違いにより生ずる過渡状態においても再生データを正確に検出できるように、テープ速度検出手段とドラム速度検出手段からの出力により相対速度を検出し、実際の再生データ伝送レートに応じてPLLの中心周波数を補正するようにしている。

5. む す び

D-2 デジタル VTR 用テープ駆動制御システムとして、サーボ専用マイコンを使用し、以下の特長を有したソフトウェア制御システムを開発した。

- ① リールの巻径変化およびイナーシャ変化を検出・演算処理することにより、高精度のテープテンション制御と、加速／減速度を一定に制御したリール駆動高速シャトル再生を実現。
- ② 再生データの伝送レート変化を常に一定値以下に制御すると共に、テープ・ヘッド間相対速度に応じてデータ抽出クロック発生用 PLL の中心周波数を補正することにより高速シャトル再生時の確実なデータ検出を実現。

最後に、本研究に関し御助言、御協力頂いた日立電子株式会社および当社関係事業所の方々に感謝致します。

(1990 年 11 月 16 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 鹿庭ほか：“コンポジットデジタル VTR (D2) 用テープ駆動制御システム”，テレビ学技報，**14**, 41 (1990)
- 2) 稲垣ほか：“D-2 コンポジットデジタル VTR”，テレビ誌，**42**, 5 (1988)
- 3) “Proposed American National Standards”，SMPTE 244M, 255M, 246M, 247M, 248M
“SMPTE Engineering Guide Line”，EG20, 21, 22
SMPTE J., **99**, 7, pp. 586-607 (July 1990)
- 4) 柴田：“D-2 デジタル VTR VL-D500”，放送技術，pp. 85-90 (July 1989)

かにかわ こうじ
鹿庭 耕治 昭和 57 年，静岡大学工学部電気工学科卒業。同年，(株)日立製作所に入社。同社映像メディア研究所に勤務し，現在に至る。ビデオ・オーディオ機器の研究・開発に従事。正会員。

ふじた こうじ
藤田 浩司 昭和 59 年，津山工業高等専門学校電気工学科卒業。同年，(株)日立製作所に入社。同社映像メディア研究所に勤務し，現在に至る。ビデオ・オーディオ機器の研究・開発に従事。正会員。

にしじま ひでお
西島 英男 昭和 48 年，旭川工業高等専門学校電気工学科卒業。同年，(株)日立製作所に入社。現在，同社映像メディア研究所にてビデオ機器の研究・開発に従事。正会員。

いなば ゆうじ
稲場 雄二 昭和 53 年，北海道大学電気工学科卒業。同年，(株)日立製作所に入社。同社ハイビジョン戦略開発本部に勤務。VHS のサーボシステムの設計開発を経て，現在，業務用 VTR の開発設計に従事。

そりはし ともひで
反橋 智英 昭和 58 年，慶應義塾大学大学院工学研究科修士課程修了。同年，(株)日立製作所に入社。同社映像メディア研究所に勤務し，現在に至る。ビデオ・オーディオ機器の研究開発に従事。

かたやま ひろし
片山 博 昭和 58 年，熊本県立熊本工業高校卒業。同年，(株)日立製作所に入社。同社日立研究所に勤務し，現在に至る。回転電気機械，およびその制御に関する研究に従事。